



Харків,  
2024

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ В АПК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА  
АДМІНІСТРАЦІЯ

Державний біотехнологічний університет  
Національний технічний університет «ХПІ»  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
Національний науковий центр «Інститут механізації  
та електрифікації сільського господарства»  
University Maryland (USA)  
University of British Columbia (Canada)  
Lublin University of Technology (Poland)  
Israel Electric Corporation (Israel)



Матеріали  
Міжнародної науково-практичної конференції  
**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА  
ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

6 листопада 2024 р.

м. Харків

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА ОБЛАСНА ВІЙСЬКОВА АДМІНІСТРАЦІЯ  
Державний біотехнологічний університет  
Національний технічний університет «ХПІ»  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації  
сільського господарства»  
University Maryland (USA)  
University of British Columbia (Canada)  
Lublin University of Technology (Poland)  
Israel Electric Corporation (Israel)

# **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

Матеріали Міжнародної науково-практичної  
конференції

6 листопада 2024 р.

Харків  
ДБТУ  
2024

## Організаційний комітет:

Голова комітету: **Михайлов В.М.**, д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ДБТУ;

Заступник голови: **Сорокін М.С.**, к.т.н., доц., декан факультету енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій ДБТУ;

Вчений секретар оргкомітету конференції: **Лисиченко М.Л.**, д.т.н., проф., професор кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ;

Члени оргкомітету: **Адамчук В.В.**, д.т.н., проф., академік НААН України, директор Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України; **Каплун В.В.**, д.т.н., проф., директор навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП; **Гапон Д.А.**, д.т.н., доц., завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки НТУ ХПІ; **Щур І.З.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханіки і комп'ютерних електромеханічних систем Національного університету «Львівська політехніка»; **Головко В.М.**, д.т.н., проф., професор кафедри відновлювальних джерел енергії, КПІ ім. І.Сікорського; **Кіпенський А.В.**, д.т.н., проф., директор навчально-наукового інституту соціально-гуманітарних технологій; **Мірошник О.О.**, д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ДБТУ; **Хандола Ю.М.**, к.т.н., доц., завідувач кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ; **Петренко О.В.**, к.т.н., доц., завідувач кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування ДБТУ; **Мороз О.М.**, д.т.н., проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ДБТУ; **Косуліна Н.Г.**, д.т.н., проф., професор кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ; **Потапов В.О.**, д.т.н., проф., професор кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування ДБТУ; **Vasily Krivtsov**, Ph.D., R.Eng., Professor, University of Maryland (USA); **Juri Jatskevich**, Ph.D., P.Eng., Professor, IEE Fellow Electrical and Computer (Canada); **Pawel Komada**, Ph.D., D.Sc., Associate Professor Lublin University of Technology (Poland); **Vladimir Gurevich**, Honorary Professor, Senior Specialist, Israel Electric Corporation (Israel).

*Конференцію включено до Переліку міжнародних, всеукраїнських науково-практичних конференцій здобувачів вищої освіти і молодих учених у 2024 році згідно з листом ІМЗО МОН України від 12.01.2024 № 21/08-57*

Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс]: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2024. – 312 с. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>

У збірнику подано теоретичні та практичні результати досліджень і розробок учених спільно з молодими науковцями, аспірантами, співробітниками організацій та підприємств.

Розраховано для викладачів, студентів, наукових співробітників, фахівців у галузі енергетики, електромеханіки, робототехніки, автоматики, інформаційних технологій, енергетичного машинобудування, біомедичної інженерії.

# СЕКЦІЯ 1. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 621.3:658.5.011

## МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІД ЧАС ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Боровик Н. В., викладачка, e-mail: [nata\\_borovik777@ukr.net](mailto:nata_borovik777@ukr.net)

Державний навчальний заклад «Лісоводський професійний аграрний ліцей»

Боровик Д. О., студент ЕМ-23, e-mail: [denisbor044@gmail.com](mailto:denisbor044@gmail.com)

Хмельницький національний університет

**Актуальність дослідження.** Проблема забезпечення стабільної та якісної електроенергії є однією з найактуальніших у сучасному світі. Зростання споживання електроенергії, пов'язане з розвитком технологій, урбанізацією та індустріалізацією, ставить все вищі вимоги до енергетичних систем. Одночасно, перехід до відновлюваних джерел енергії та децентралізованої генерації ускладнюють управління енергетичними мережами. Зважаючи на складну зупинку в енергетичному секторі України, пов'язану з бойовими діями та пошкодженням критичної інфраструктури, особливо актуальним стає використання методів прийняття рішень для оперативної оцінки та підвищення якості електропостачання.

**Метою дослідження** є розробка ефективних методів прийняття рішень при оцінці якості електропостачання, які дозволять:

- Об'єктивно оцінювати якість електроенергії за різними параметрами.
- Виявляти проблеми та відхилення від нормативів на ранніх стадіях.
- Розробляти заходи для підвищення якості електропостачання.
- Оптимізувати роботу енергетичних систем.

**Основні матеріали дослідження.** Для оцінки якості електроенергії використовуються різноманітні методи, які можна розділити на такі групи: *Статистичні методи:* Аналіз історичних даних про якість електроенергії для виявлення трендів, сезонних коливань та аномалій. *Математичне моделювання:* Створення математичних моделей для прогнозування якості електроенергії та оцінки впливу різних факторів. *Штучний інтелект:* Застосування методів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних та виявлення закономірностей. *Експертні оцінки:* Залучення експертів для оцінки якості електроенергії на основі їхнього досвіду та знань. Системи підтримки прийняття рішень (СППР) є потужним інструментом для аналізу даних про якість електроенергії та розробки оптимальних рішень.

Вони дозволяють: Візуалізувати дані: Представити великі обсяги даних в зручному для сприйняття вигляді. Ідентифікувати проблеми: Виявити відхилення від нормальних значень показників якості. Прогнозувати розвиток ситуації: Оцінити можливі наслідки різних рішень. Розробити рекомендації: Запропонувати оптимальні дії для покращення якості електроенергії.

*Переваги використання систем підтримки прийняття рішень:*

- Швидкість аналізу даних: Автоматизований аналіз великих обсягів даних дозволяє швидко виявляти проблеми та приймати рішення.
- Точність прогнозів: Застосування методів машинного навчання підвищує точність прогнозування якості електроенергії.
- Оптимізація ресурсів: Ефективне використання ресурсів енергосистеми завдяки обґрунтованим рішенням.
- Підвищення надійності: Своєчасне виявлення та усунення потенційних проблем знижує ризик аварій.

*Прямі витрати:*

- Витрати на ремонт та заміну обладнання: Низька якість електроенергії може призводити до передчасного виходу з ладу електроприладів, промислового обладнання тощо.
- Витрати на енергозбереження: Пошук та впровадження заходів для зменшення впливу низької якості електроенергії на енергоспоживання.
- Штрафи за порушення якості електроенергії: Енергетичні компанії можуть нести відповідальність за невідповідність якості електроенергії встановленим нормам.



### *Непрямі витрати:*

- Втрати виробництва: Перебої в електропостачанні призводять до простоїв виробництва, зниження продуктивності та втрати прибутку.
- Зменшення конкурентоспроможності: Низька якість електроенергії може відштовхнути інвесторів та споживачів.
- Соціальні витрати: Погіршення якості життя населення внаслідок перебоїв з електроенергією.

### *Економічні методи оцінки:*

Розрахунок економічних збитків: Оцінка прямих і непрямих витрат, пов'язаних з низькою якістю електроенергії. Аналіз витрат та вигод: Порівняння витрат на підвищення якості електроенергії з очікуваними економічними ефектами. Коефіцієнт використання устаткування: Оцінка ефективності використання обладнання за умов низької якості електроенергії. Розрахунок втрат електроенергії: Оцінка енергетичних втрат внаслідок низької якості електроенергії.

### *Фактори, що впливають на економічні розрахунки:*

Тип споживача: Побутові споживачі, промислові підприємства, комерційні організації мають різні рівні чутливості до перебоїв в електропостачанні.

Характер виробництва: Енергоємні виробництва зазнають більших збитків від низької якості електроенергії.

Вартість електроенергії: Висока вартість електроенергії посилює негативний вплив низької якості на економіку підприємства.

В умовах триваючої війни енергетичний сектор України у 2024 році демонструє важливі зміни та виклики, пов'язані з імпортом енергоресурсів, зростанням заборгованості на енергоринку та проведенням реформ для забезпечення стабільності.

У червні–серпні 2024 року Україна імпортувала понад 2,1 млн МВт/год електроенергії, що втричі перевищило показники попереднього року. Пік імпорту припав на червень, коли ввезено понад 858 тис. МВт/год. Водночас, високі ціни на електроенергію в Європі обмежували можливості для комерційного імпорту в Україну, а військові дії завдали шкоди імпортним операціям.

**Висновок.** Оцінка якості електропостачання є складним завданням, яке вимагає застосування сучасних методів і технологій. Використання систем підтримки прийняття рішень дозволяє автоматизувати багато рутинних операцій, підвищити точність прогнозів та ефективність управління енергетичними системами.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мірошник О.О. Моделі та методи підтримки прийняття рішень в системі керування якістю процесу розподілу електричної енергії. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. (2015) URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/352bf5d1-5a72-49e1-afde-39336d268e46/content>
2. Оцінка ризиків при інтеграції відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання/ В.А. Степаненко, А.І. Замулко, Ю.А. Веремійчук, В.Ф. Находов // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022.No 2. 2 (2022): с. 64-74 URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261372>
3. Карєєва Н.В., Войтно С.В., Сорокіна Л.В. Ризик-менеджмент сталого розвитку енергетики: інформаційна підтримка прийняття рішень: навчальний посібник/ Н.В. Карєєва, С.В. Войтно, Л.В. Сорокіна. – К.: Альфа Реклама, 2013. – 308 с.
4. Мірошник О. О. Аналіз методів оцінки якості електричної енергії в розподільних мережах в умовах невизначеності. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». 2016. С. 14-16.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ РЕГІОНАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ПОТУЖНОСТЕЙ

Войтенко В. В., аспірант, e-mail: [v.voytenko@nubip.edu.ua](mailto:v.voytenko@nubip.edu.ua)

Національний університет біоресурсів та природокористування України

В умовах неконтрольованого дефіциту потужностей, що виникає внаслідок непередбачуваного виходу з ладу енергетичної інфраструктури є актуальним підвищення живучості регіональних енергосистем. У зв'язку з цим, необхідно розробити ефективні стратегії диверсифікації та відновлення енергопостачання, спрямовані на підвищення стійкості електромережі.

Питання функціонування регіональних енергосистем в умовах дефіциту потужностей розглядаються в ряді наукових досліджень [1, 3-5], в яких вони розкриті в певному об'ємі.

У роботі [1] проаналізовано методи розподілу потоків потужності в модельній регіональній електроенергетичній системі. Запропоновано алгоритм та програма для розв'язання задачі адресності потоків, використовуючи сучасні програмні засоби для моделювання енергетичних процесів, описані в роботі [2]. Даний підхід може бути використаний як додатковий інструментарій системи прийняття рішень при оперативному диспетчерському управлінні регіональних енергосистем. Подальші дослідження в цьому напрямку потрібно спрямувати на створення алгоритму диспетчаризації, який враховуватиме наявні розподілені джерела мікрогенерації, що може зменшити дефіцит потужності, розробку стандартів та протоколів для забезпечення ефективної комунікації між мікрогенераторами, вузлами постачання та навантаження.

Авторами [3] досліджено реалізація плану відновлення, що поєднує принципи «знизу вгору» та «поступовий підхід». Запропонований план передбачає розробку алгоритму для визначення зв'язувальних ліній між сусідніми операторами та знаходження найкоротшого шляху для кожної невідновленої одиниці, включаючи оцінку ризиків та наслідків. Подальші дослідження реалізації плану відновлення можуть включати створення комунікаційних протоколів та механізмів взаємодії між сусідніми операторами енергетичних островів для покращення співпраці в умовах відновлення.

Розроблена схема [4] планування для регіональної енергетичної системи, яка враховує систему віртуального накопичення енергії (VES). Ця система може переносити енергетичні навантаження через періоди часу, що є особливо актуальним у контексті зростання частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) та їхньої нестабільності у виробництві. Актуальним у подальшій роботі є дослідження можливостей інтеграції VES з реальними децентралізованими мікроенергетичними системами та наявної інфраструктурою, включаючи обчислювальні платформи для управління мережею.

У роботі [5] запропоновано та обґрунтовано стратегію раціонального використання дистанційно керованих комутаційних апаратів, що дозволяє реалізувати динамічну реконфігурацію контурів розподільної мережі з метою мінімізації втрат електроенергії за циклічної зміни навантаження або вихідної потужності розосереджених джерел генерації енергії та засобів її акумуляування. Важливим напрямком подальших досліджень може бути розробка сценаріїв використання комутаційних апаратів в умовах різних навантажень та ситуацій (наприклад, пікові навантаження, аварійні ситуації).

У рамках подальшого дослідження передбачається розробка стратегії "розумної" диспетчеризації регіональних енергомереж в умовах децентралізованої генерації з метою підвищення їх живучості та стійкості до зовнішніх впливів. Це передбачає виконання ряду задач, наведених в табл. 1.

**Таблиця 1. Алгоритм задач для впровадження інтелектуальних систем управління в мікромережах та енергоостровах**

Завдання	Опис	Кроки
Впровадження інтелектуальних систем управління	Інтеграція систем для контролю генерацій та енергетичних вузлів.	1. Аналіз існуючих мікромереж та енергоостровів.
		2. Визначення вимог до систем управління.
		3. Розробка та впровадження програмного забезпечення.
Розробка алгоритмів маршрутизації	Встановлення зв'язків між вузлами постачання та навантаження.	1. Аналіз топології мережі, включаючи генератори на базі ВДЕ
		2. Розробка математичної моделі маршрутизації.
		3. Визначення частки споживання енергії для кожного вузла.
Конфігурування схем системи розподілу	Балансування мікроенергосистем з урахуванням потреб споживачів.	1. Ідентифікація кінцевих споживачів та їх потреб.
		2. Розробка конфігурацій системи розподілу.
		3. Тестування та оптимізація системи.

Розосередження джерел генерації є критично важливим аспектом підвищення живучості енергосистеми, оскільки воно дозволяє зменшити залежність від централізованих джерел енергії та знижує ризики, пов'язані з аваріями на великих електростанціях. Ефективна диспетчеризація в умовах змінюваної енергетичної архітектури дозволить адаптуватися до динамічних викликів, забезпечуючи оптимальне управління ресурсами, збільшення диверсифікації енергопостачання та зниження ризиків блекауту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Каплун В., Гай О., Стецюк П., Івлічев А. Забезпечення оптимальних сценаріїв диспетчеризації для регіональних енергетичних систем в умовах неконтрольованих дефіцитів потужності. *Machinery & Energetics*. 2023. Т. 14, № 2. С. 23–33.
2. Біла Г.Д., Корчинський О.О., Стецюк П.І., Хом'як О.М., Шеховцов С.Б. Використання NEOS-сервера для розв'язання двох класів оптимізаційних задач. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2022.
3. Фотіс Г., Віта В., Маріс Т. І. Ризики в європейській transmission-системі та нова стратегія відновлення енергетичної системи після великого блекауту. *Applied Sciences (Швейцарія)*. 2023. Т. 13, № 1. DOI: [10.3390/app13010083](https://doi.org/10.3390/app13010083).
4. Ч Zhu, X., Ян Дж., Лі Г., Донг Х., Лю С. Оптимальна стратегія диспетчеризації регіональної інтегрованої енергетичної системи з урахуванням віртуальної системи накопичення енергії. *Dianli Jianshe/Electric Power Construction*. 2020. Т. 41, № 8. С. 99–110. DOI: [10.12204/j.issn.1000-7229.2020.08.012](https://doi.org/10.12204/j.issn.1000-7229.2020.08.012).
5. Жаркін, А. Ф., Новський, В. О., Попов, В. А., & Ярмолюк, О. С. (2021). Поліпшення ефективності управління розподільчими мережами в умовах застосування розподілених джерел генерації електричної енергії та засобів її накопичення. *Технічна електродинаміка*, 2021(3), 37–43. doi:[10.15407/TECHNED2021.03.037](https://doi.org/10.15407/TECHNED2021.03.037)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОСТИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБУ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ MICROGRID В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Гарасимчук І. Д., к.т.н., доцент, e-mail: [igorgarasymchuk@gmail.com](mailto:igorgarasymchuk@gmail.com)

Потапський П. В., к.т.н., доцент, e-mail: [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

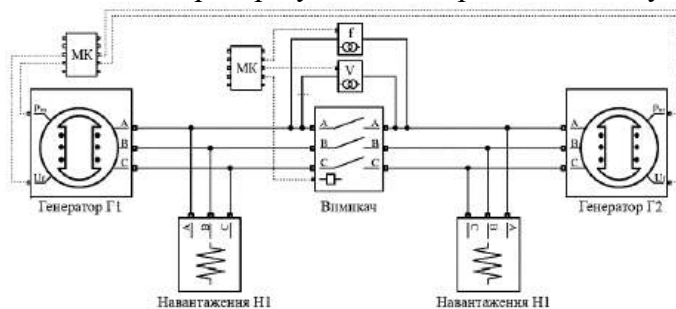
**Актуальність дослідження** Одним з важливих завдань забезпечення нормального функціонування об'єктів з малою генерацією, у тому числі MicroGrid, є синхронізація з іншими об'єктами з малою генерацією або з мережею великої потужності після аварійного поділу та подальша їхня паралельна робота для досягнення максимального системного ефекту, у тому числі високої надійності електропостачання споживачів.

У задачі синхронізації слід розрізняти на синхронізацію генераторів із шинами електричної станції та синхронізацію частин енергосистем. З появою інтелектуальних енергосистем малої потужності, зокрема MicroGrid, постало завдання їх ефективної синхронізації з мережами зовнішнього централізованого енергопостачання.

MicroGrid мають можливість переходити із ізольованого режиму на паралельну роботу та обмінюватися електроенергією із зовнішньою енергосистемою.

**Метою роботи** є дослідження особливостей та можливості реалізації способу децентралізованої синхронізації MicroGrid на простих мікроконтролерах.

**Основні матеріали досліджень.** Схема експериментальної установки наведено на рисунку 1. Вона містить дві фізичні моделі MicroGrid, представлених генератором з власним навантаженням (Г1, Н1 і Г2, Н2) та електрично віддалений вимикач. Як генератори використовувалися модельні генератори у складі енергоблоків потужністю 3 і 5 кВА.



**Рисунок 1 - Схема експериментальної установки на фізичній моделі енергосистем**

Управління реалізовано на двох мікроконтролерах (МК).

Як керуючі контролери використані широко найпоширеніші мікроконтролери сімейства ATmega (Arduino). Arduino - це

платформа з відкритим кодом на основі вбудованого мікроконтролера ATmega та середовища розробки Arduino IDE з програмним інтерфейсом (рис. 2).



**Рисунок 2 - Мікроконтролер ATmega**

Один з них виконує функції ідентифікації поділу мережі на частини, нормалізації напруги та частоти в кожній із MicroGrid після поділу, подачі періодичних (скануючих) сигналів управління потужністю та збудженням на кожен з генераторів, ідентифікацію віддаленого включення генераторів на паралельну роботу з припинення режиму сканування. Другий МК контролює виконання умов на віддаленому вимикачі (нормальність напруги, допустимість різниці частот, модулів і фази напруги) і видає команду на його включення.



до нормальності модулів напруг і частот, допустимості різниці частот і допустимості модуля різниці напруг по кінцях вимикача.

На рисунках 3, 4 представлені характерні осцилограми процесів при децентралізованому включенні моделей MicroGrid на паралельну роботу.

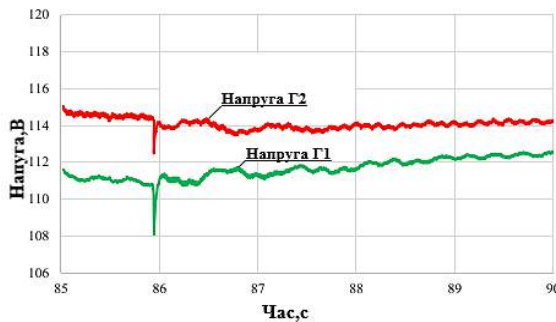


Рисунок 3 - Осцилограма напруг генераторів

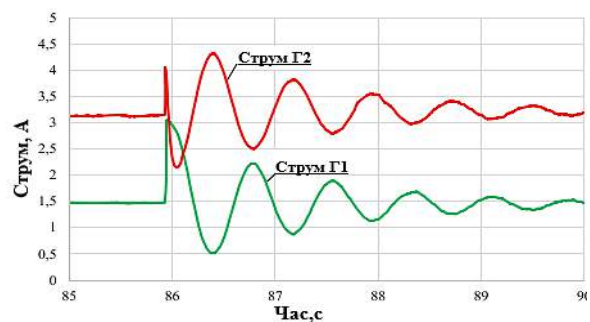


Рисунок 4 - Осцилограма струмів генераторів

Як ми бачимо з осцилограм, включення на паралельну роботу відбувається з великими кидками струмів лише на рівні вихідних робочих струмів Minigrd.

Для оцінки помилки, визначимо розрахунковим шляхом максимальну допустиму та максимальну величину зрівняльного струму при включенні на паралельну роботу двох генераторів (при допустимому та протифазному включенні генераторів). Схема заміщення аналізованої схеми їхнього оцінки наведено на рисунку 5.

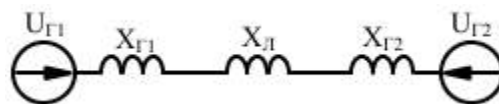


Рисунок 5 - Схема заміщення двох генераторів, з'єднаних лінією зв'язку

Опір елементів:

$$X_{Г1} = X'_d \cdot \frac{U_{Г1}^2}{S_{Г1}} = 0,171 \cdot \frac{220^2}{3000} = 2,750 \text{ Ом}; \quad X_{Г2} = X'_d \cdot \frac{U_{Г2}^2}{S_{Г2}} = 0,134 \cdot \frac{220^2}{5000} = 1,290 \text{ Ом}; \quad X_{Л} = 160 \text{ мОм}.$$

$$X_{\Sigma} = X_{Г1} + X_{Л} + X_{Г2} = 2,75 + 16 + 1,29 = 20,040 \text{ мОм}.$$

Розрахунковий струм при допустимих значеннях параметрів синхронізації, а саме при різницях напруги  $\Delta U = 11,1 \text{ В}$  (відповідає різниці кутів напруги  $\delta = 5^\circ$ ):

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\Delta U}{X_{\Sigma}} = \frac{11,1}{20,04} = 0,55 \text{ А}$$

Розрахунковий струм при протифазних напругах включення, а саме при різницях напруг  $\Delta U = 254 \text{ В}$  (при  $\delta = 180^\circ$ ):

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\Delta U}{X_{\Sigma}} = \frac{254}{20,04} = 12,45 \text{ А}$$

**Висновок.** Аналізуючи ряд отриманих осцилограм струмів і порівнюючи значення струмів при включенні з допустимими можна відзначити, що вони в деяких випадках значно перевищують допустимі, що зумовлено недостатньою продуктивністю мікроконтролера, що призводила до запізнення при зчитуванні коду, проте функціональність управління забезпечується, тобто забезпечується "груба" синхронізація.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua).
2. Вусатий М. В., Гарасимчук І. Д., Потапський П. В. Баланси електроенергії в електричних мережах. «CURRENT CHALLENGES OF SCIENS AND EDUCATION» for being an active participant in VIII International Scientific and Practical Conference, 08-10 April 2024.- BERLIN,- с.101.
3. Вусатий М. В., Панцир Ю. І., Гарасимчук І. Д., Потапський П. В. Підвищення надійності розподільчих електричних мереж. «SCIENCE AND TECHNOLOGY: PROBLEMS, PROSPECTS INNOVATIONS»: for being an active participant in IX International Scientific and Practical Conference, 19-21 October 2022.- OSAKA, Japan - с.64.

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС КОРИСТУВАННЯ КОНДИТЕРСЬКИМ УСТАТКУВАННЯМ

Гурна І. І., викладач, e-mail: [aaaa222288g@gmail.com](mailto:aaaa222288g@gmail.com)

Мірошник О. О. д.т.н., проф., e-mail: [pazziy@ukr.net](mailto:pazziy@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На сьогоднішній день питання впровадження енергозберігаючих практик у кондитерській галузі набуває дедалі більшої актуальності. Відтак, серед підприємств громадського харчування наразі гостро постає питання щодо енергозбереження та, відповідно, економії енергоресурсів, у тому числі споживання електроенергії. Адже це не лише економічна вигода для підприємства та зменшення навантаження на електричні мережі, а також збереження довкілля для наших нащадків.

**Мета дослідження.** В Україні, як і в інших країнах, стан впровадження заходів з енергозбереження є вкрай недостатнім, а в підприємств громадського харчування – критичним. Тому практичні кроки у напрямі енергозбереження скоріше є підтвердження культури та високого рівня свідомості суспільства. У той час, коли кількість побутових електроприладів на підприємствах громадського харчування невпинно збільшується питання впровадження енергозберігаючих заходів є актуальним. Існують декілька простих порад, слідування яким дозволить використовувати електроенергію більш ефективно і, відповідно, заощаджувати кошти. Ці правила не складні, але слід пам'ятати, що для ефективності вимагають щоденного застосування. По різних оцінках до 40% усіх енергоносіїв, що використовуються в країні, витрачається нераціонально. На дотацію населенню, а також оплату енергоносіїв організацій бюджетної сфери (школи, лікарні), витрачається близько 42% місцевих бюджетів.

Як ми бачимо, зараз у людей немає великої потреби економити електроенергію, хоча вона й не безкоштовна. Якщо ж тенденція до постійного збільшення тарифів збережеться, то в недалекому майбутньому населення також буде економити електроенергію. Окрім цього, енергозбереження - це й ще екологічна проблема, як ми переконалися. Як же зберегти електроенергію?

Потреба в енергії постійно збільшується. Електростанції працюють з повним навантаженням, особливо в зимовий період в години найбільшого споживання електроенергії: з 8.00 до 10.00 і з 17.00 до 21.00 години. І в цей напружений час десь в приміщенні горить світло, працюють техніка, яку ніхто раціонально не використовує. З'ясовано, що 15-20% електроенергії, що використовується на підприємствах громадського харчування витрачається недоцільно.

Що треба зробити для раціонального використання електроенергії? Раціональне освітлення приміщень: в приміщеннях, що виходять на північ і частково на захід, стіни і стелю бажано зробити світлими, регулярно мити вікна, бо брудне скло поглинає до 30% світла. в осіннє-зимовий період в квартирах та офісах використовується штучне освітлення. Економію електроенергії при використанні традиційних ламп розжарювання може дати: застосування криптонових ламп розжарювання, що мають світлову віддачу на 10% вищу, ніж у ламп розжарювання з аргонним наповненням; заміна двох ламп меншої потужності на одну трохи більшої потужності. зниження рівня освітлення в коридорах, туалеті, ванній кімнаті; Економія електроенергії під час приготування їжі. Річне споживання електроенергії електроплитами становить 1200-1400 кВт. Як же раціонально користуватися електроплитами?

Рекомендації: та їжа, що повинна варитися довго, повинна варитися на маленькій конфорці і обов'язково під закритою кришкою, своєчасна заміна конфорок, що вийшли з ладу треба застосовувати спеціальну посуду з товстим дном з діаметром, що дорівнює, або трошки більший за діаметр конфорки, якщо готується невелика кількість їжі, то бажано поставити каструлю на малу конфорку, при цьому втратиться лише декілька хвилин, бо максимальна потужність потрібна тільки при закипанні, при кип'ятінні, води слід налити рівно стільки, скільки потрібно для даного випадку.

Ще один резерв економії - це застосування спеціальних приладів для приготування окремих видів блюд (електросковорода, електрогриль, електрочайник і таке інше.). Використовуйте енергоефективну побутову техніку: побутові електроприлади мають спеціальне маркування від класу А до G; клас «А ++» – найбільш енергоощадний; «А +», «А», «В», «С», «D», «G» – менш енергоощадні; придбавши побутову техніку класу «А» або «А+», на 30-50% зменшиться споживання електроенергії навіть у порівнянні з приладами класу «В». Економія на освітленні: встановивши у своєму помешканні енергозберігаючі лампи, ви зменшите споживання електричної енергії. Енергоощадні лампи служать у 5-8 разів довше ніж звичайні лампи розжарювання при споживанні електроенергії в 10 разів менше; встановивши світлорегулятори і датчики, які автоматично вмикають та вимикають освітлення при появі людини, зменшиться споживання електричної енергії;

Правильно експлуатуйте холодильник: не встановлюйте холодильник біля газової плити або опалювальних приладів; не встановлюйте холодильник там, де є пряме сонячне проміння; не ставьте в холодильник гарячу їжу; дотримуйтесь оптимального температурного режиму в приміщенні – 18-20 градусів (у приміщенні, де температура досягає 30 градусів тепла, холодильник споживає удвічі більше електроенергії).

Вимикайте електроприлади, якими не користуєтесь: вимикайте світло, коли виходите з приміщення; не залишайте електроприлади «в режимі сну». правильно розрахуйте, скільки гарячої води вам необхідно для власних потреб. Для того, щоб 12 годин щодня протягом року горіла одна лампа потужністю 100 Вт, необхідно спалити 180 кг вугілля, внаслідок чого в атмосферу буде викинуто 425 кг CO<sup>2</sup>. Не допускайте потрапляння на холодильник прямих сонячних променів і не розміщуйте його біля плити або батареї опалення. Також для економії електроенергії необхідно своєчасно розморожувати холодильник і ніколи не ставити в нього гарячі страви. Підбирайте посуд правильного розміру. Каструлі і сковорідки повинні відповідати діаметру конфорки вашої електроплити. Рационально використовуйте тепло конфорок, привчіть себе до того, що електроплита може готувати і тоді, коли вже вимкнена. Обов'язково вимикати усі прилади. Рекомендовано навіть виймати штекер із розетки чи відключати блок живлення. Крім економії, це дозволить попередити пристрої від пошкоджень під час перепадів електроенергії. Можна використовувати пристрої безперебійного живлення (UPS) чи автоматичні вимикачі.

Сучасна техніка для приготування їжі, такі як мультиварки, скороварки, дозволяють одночасно виконувати декілька процесів, що дозволяють економити як газ, так і електроенергію; Для приготування їжі рекомендуємо придбати НВЧ- чи МХ-печі, а також користуватися індукційними плитами. Вони мають більшу швидкодію, до того ж сприяють енергозбереженню. Використовувати у побуті прилади із позначками «А» або «А+». Для прикладу, холодильник із таким маркуванням допоможе заощадити до 30-50% електроенергії в порівнянні із холодильником із маркуванням «В»; Морозильні камери та холодильник потрібно регулярно очищати від льоду та розморожувати. А також стежити за дверцятами – вони мають бути щільно зачиненими.

Забезпечити оптимальну відстань між побутовими пристроями, так як вони мають здатність накопичувати газ та електроенергію. Візьміть до уваги, що холодильник не повинен близько стояти біля плити, колонки, бойлера для нагрівання води, нагрівача чи батареї. А також на нього не мають попадати прямі сонячні промені.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ольга Гайдук, Тетяна Герлянд, Ірина Дрозіч, Наталія Кулаєва, Ганна Романова «Сучасні технології кондитерського виробництва» -К.: ПТТО НАПН Підручник., Київ 2020. 441с.
2. Н. П. Саєнко, Т. Д. Волошенко «Устаткування підприємств громадського харчування» Київ «ЛДЛ» 2005. 314с.
3. Циганов О. М., Руденко А. Ю., Мардзявко В. А. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання» Миколаїв 2022.

## АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Дудніков С.М., к.т.н., доц., e-mail: [ivanenkovv@ukr.net](mailto:ivanenkovv@ukr.net)  
 Пазій В. Г., магістр, ст. викл., e-mail: [pazziy@btu.kharkov.ua](mailto:pazziy@btu.kharkov.ua)  
 Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Відповідно до резолюції Генеральної Асамблеї ООН, економічний прогрес, який нині веде до швидкого накопичення матеріальних і людських ресурсів, відбувається за рахунок надмірного виснаження та деградації природних ресурсів. Сучасні джерела енергії поділяються на традиційні та відновлювані. Традиційний, такі як нафта, газ, і вугілля, мають серйозний недолік: вони не підлягають оновленню, а продукти їх згорання призводять до парникових газів і як наслідок мають негативний вплив на навколишнє середовище та клімат [1]. На сучасний стан суттєвий вплив на енергетику України принесла агресія російської федерації. Через руйнування та окупацію енергосистема України тимчасово втратила 43% атомної, 78% теплової генерації, щонайменше 73% потужності ТЕС, близько 80% вітрової та понад 20% сонячної генерації. Відповідні пошкодження та усунення подальшої небезпеки працездатності енергосистеми вимагає будувати нову переважно розподілену систему енергогенерації. Відповідність сучасним вимогам відповідає відновлювана енергетика, але сонячні та вітрові електростанції можуть створювати небаланс між попитом і виробництвом електричної енергії.

**Мета досліджень.** Аналіз напрямків розвитку відновлюваної енергетики в складі об'єднаної енергетичної системи України.

**Основні матеріали досліджень.** Існує багато інноваційних рішень для відновлюваних джерел енергії, спрямованих на вирішення проблем з небалансом генерації та споживання електричної енергії [2, 3]. Виконаємо аналіз деяких з них. «Power-to-X» (PtX) — технології, які використовуються для перетворення надлишкової електричної енергії (потужності) в інші види енергії або цінні продукти. Основна мета технологій Power-to-X — зберігати та використовувати надлишок енергії з відновлюваних джерел, зокрема електроенергії з таких джерел, як вітер і сонце, коли її є в надлишку. Цю надлишкову енергію можна перетворити в різні форми для задоволення енергетичних потреб у різних секторах економіки та сприяння інтеграції ВДЕ в більш широку енергетичну систему.

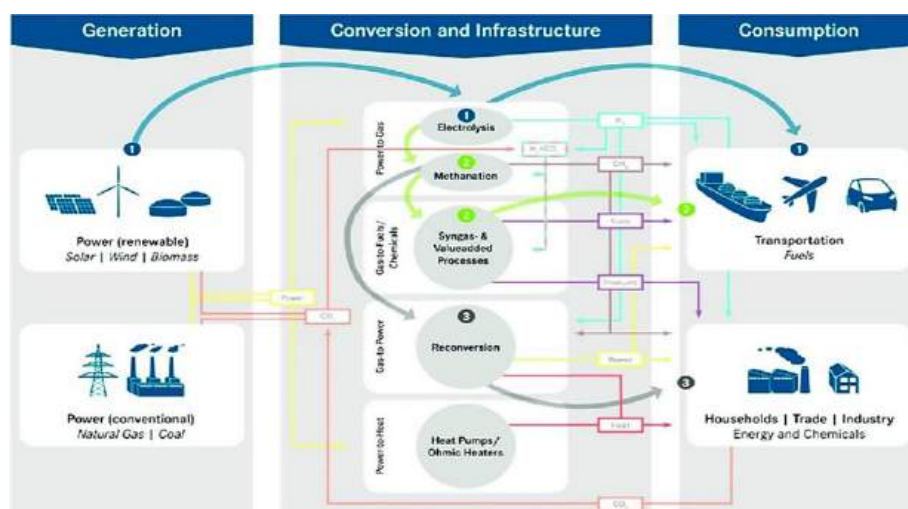


Рисунок 1 – Варіанти напрямків застосування технологій Power-to-X

Україна має значний потенціал для відновлюваних та альтернативних джерел енергії, а використання технологій Power-to-X може допомогти диверсифікувати енергетичний баланс,



одночасно зменшуючи викиди парникових газів. Однак для успішного впровадження цих технологій потрібна допоміжна політика, інвестиції та нормативно-правова база для заохочення розвитку та інтеграції в енергетичну систему.

Нижче наведено деякі основні технології P2X і X2P, які можна застосовувати в Україні. *Перетворення електроенергії на водень (PtH<sub>2</sub>):* У цьому процесі надлишок електроенергії використовується для електролізу води (H<sub>2</sub>O) у водень (H<sub>2</sub>) і кисень (O<sub>2</sub>). Водень можна зберігати та використовувати як чистий носій енергії для різних застосувань, включаючи транспорт, промислові процеси та зберігання енергії. З невеликими модифікаціями суміш водню та природного газу можна транспортувати в рамках існуючої газової інфраструктури. Проте для транспортування водню на 100% знадобиться нова або модернізована інфраструктура трубопроводів. Спалювання водню на місці виробництва може вирішити цю проблему на початковій фазі переходу.

Технологія *Power-to-Methane* передбачає перетворення надлишку електроенергії та вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) на метан (CH<sub>4</sub>) за допомогою хімічних реакцій. Метан можна використовувати як відновлюваний природний газ для опалення, виробництва електроенергії або транспорту.

*Синтез-газ* — це суміш водню (H<sub>2</sub>) і монооксиду вуглецю (CO), що утворюється шляхом газифікації вуглецевмісної сировини, наприклад біомаси або відходів. Технології *Power-to-Syngas* використовують відновлювану електроенергію для виробництва синтез-газу, який можна використовувати в різних промислових процесах або як паливо.

*Аміак (NH<sub>3</sub>)* — це сполука, яку можна отримати з водню (H<sub>2</sub>) і азоту (N<sub>2</sub>) і в основному використовується в промисловості добрив. *Power-to-Ammonia* передбачає використання відновлюваної електроенергії для виробництва водню, а потім поєднання його з азотом для виробництва аміаку.

Технології *Power-to-Liquid* спрямовані на виробництво синтетичного рідкого палива (наприклад, синтетичного бензину, дизельного або реактивного палива) з відновлюваних джерел енергії. Ці палива можна використовувати в існуючих двигунах внутрішнього згорання та літаках.

*Power-to-Heat* передбачає перетворення надлишку електроенергії в теплову енергію, як правило, за допомогою електричних нагрівальних елементів або теплових насосів. Його можна використовувати для централізованого опалення або опалення приміщень, а також для промислових процесів.

**Висновки.** Беручи до уваги амбітні плани та зобов'язання, взяті Україною щодо європейської інтеграції, великий потенціал ВДЕ та, існуючу газову інфраструктуру для експорту, зелений водень та його похідні пропонують дуже багатообіцяючий потенціал для України для досягнення амбітних цілей у власному постачанні, а також експорт і до ЄС «зеленої» альтернативи природному газу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Development of Algorithm for the Operation of a Combined Power Supply System with Renewable Sources [Electronic resource] / M. Qawaqzeh, S. Dudnikov, O. Miroshnyk, O. Moroz, O. Savchenko, I. Trunova, V. Pazyi, D. Danylchenko, O. Iegorov, S. Halko, R. Buinyi // IEEE, KhPI Week 2022 : Conference Proceedings 3rd KhPI Week on Advanced Technology, Kharkiv, 03-07 October 2022. - Kharkiv, 2022. - Ст. 22186808. - DOI [10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372](https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372).

2. Analysis of the energy balance of the local energy supply system based on the bioenergy complex [Electronic resource] / Q. Mohamed, A. Lazurenko, O. Miroshnyk, S. Dydnikov, O. Savchenko, I. Trunova // Energy Smart Systems : 7th International Conference, Kyiv, 12-14 May 2020. - 2020. - Ст. 9160050. - P. 134-138. - DOI [10.1109/ESS50319.2020.9160050](https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160050)

3. Дудніков С. М. Методи підвищення ефективності функціонування комбінованих систем енергопостачання споживачів АПК: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.01 / Дудніков Сергій Миколайович. Київ, 2011. 278 с.

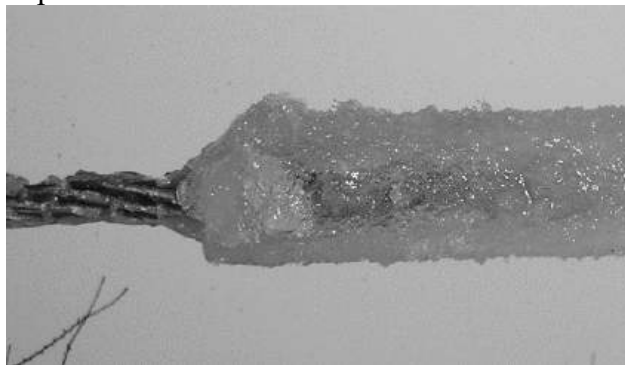
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ  
ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОЖЕЛЕДІ НА ПЛ

Єрмак Д. А., аспірант, e-mail: [Golf9292ua@gmail.com](mailto:Golf9292ua@gmail.com)  
Савченко О. А., к.т.н., доц., e-mail: [savoa@btu.kharkiv.ua](mailto:savoa@btu.kharkiv.ua)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Виникнення ожеледі на проводах повітряних ліній електропередавання призводить до аварій, таких як зламани опори, обриви, які серйозно загрожують надійності електромережі та її безпечній експлуатації. Тому в електроенергетиці існує задача виявлення вкритої льодом ПЛ. Даній проблематиці присвячена досить велика кількість досліджень. Проте на сьогоднішній день відсутні методи, які дозволяють зі стовідсотковою точністю виявляти обмерзання. Враховуючи високу ефективність згорткових нейронних мереж в аналізі зображень, в даному дослідженні запропоновано їх використання для виявлення обмерзання на ПЛ.

**Мета досліджень.** Розробка методу для класифікації зображень елементів ПЛ на основі згорткових нейронних мереж з метою виявлення їх обмерзання.

**Основні матеріали досліджень.** Пропонований алгоритм класифікації зображень елементів ПЛ розроблений з використанням прикладних пакетів `opencv` та `scikitlearn` мови `python`. Першим кроком запропонованого алгоритму класифікації зображень елементів ПЛ є попередня обробка зображень. На зображення, отримане безпосередньо модулем обробки зображень, можуть впливати різні фактори, що створює певний шум, або цілі на зображенні може створювати певний ступінь розмиття. Це призведе до деяких помилок у подальшому виділенні ознак зображення. Щоб максимально подолати цей ефект, необхідна попередня обробка зображення. Загальні методи попередньої обробки включають сіре зображення, покращення зображення та просторову фільтрацію зображення. Приклад обробленого зображення наведений на рис. 1.



**Рисунок 1 - Приклад зображення проводу ПЛ з ожеледдю після препроцесингу**

Після попередньої обробки зображення приводилось до стандартного розміру і передавалось до згорткової нейронної мережі. Згорткова нейронна мережа (CNN) - це багатошарова нейронна мережа, яка по черзі складається з кількох шарів згортки та шарів об'єднання (нижній рівень вибірки). Потім один або кілька шарів повного з'єднання з'єднуються для класифікації характеристик зображення, створених попередніми шарами. Кількість вільних параметрів CNN значно зменшується за рахунок використання локального з'єднання та спільного використання вагових коефіцієнтів нейронів, що є більш ефективним, ніж у повністю з'єднаній мережі. Завдяки ролі шару об'єднання функції зображення мають кращу незмінність трансляції, масштабування та спотворення. Основну мережеву структуру згорткової нейронної мережі можна розділити на п'ять частин: вхідний рівень, згортковий рівень, рівень об'єднання, рівень повного з'єднання та вихідний рівень. Вхідний рівень згортки може безпосередньо впливати на вихідні дані. Для вхідного зображення вхідними

даними є значення пікселів зображення. Завдяки знанням теорії зображень ми знаємо, що локальні особливості природного зображення можуть бути такими ж або подібними до інших локальних регіонів, що показує, що особливості, вивчені в одному регіоні, також можуть бути застосовані до інших регіонів. Для згорткової нейронної мережі вихід шару згортки отримується шляхом згортання фільтра та вхідного графа ознак першого рівня (ядро згортки обчислюється шляхом ковзання вікон одне за одним на графіку ознак), плюс член зміщення. Далі застосовується нелінійна функція активації. Вихідним значенням шару згортки є характеристичний графік шару. Кожен фільтр створює вихідну карту характеристик, які перетворюються наступними шарами згортки. В результаті на виході ми маємо певний одновимірний набір характеристик зображення.

Характеристики зображення можна отримати за допомогою згорткової нейронної мережі, але вона не може отримати оптимальну точність класифікації. Машина опорних векторів (SVM) з фіксованою функцією ядра не може вивчати складні функції зображення. Як поширений метод керованого машинного навчання, SVM широко використовується в аналізі даних, розпізнаванні образів, регресійному аналізі тощо. Стандартний SVM є неімовірнісним двійковим лінійним класифікатором, тобто для кожного входу він передбачає, що вхід буде однією з двох категорій.

Структура гібридної моделі, що пропонується, являє собою комбінацію CNN і SVM, тобто на останньому етапі класифікації SVM використовується для заміни традиційного шару softmax. Повний рівень з'єднання CNN можна розглядати як набір функцій вихідного зображення, тому практичне значення має використання цих функцій для навчання та класифікації за допомогою класифікаторів. Після того, як оригінальну CNN навчено алгоритмом зворотного поширення, вихід CNN використовується у якості характеристичних ознак, які використовуються для навчання класифікатора SVM. Після навчання SVM здатний ідентифікувати тестові зображення елементів ПЛ.

Набір зображень елементів ПЛ, на якому проводилось навчання та тренування моделі, включав елементи вкриті та неvkриті ожеледдю (набір даних було збалансовано). Всього було зібрано 377 зображень в мережі Інтернет. Алгоритм повинен класифікувати надане зображення, вибравши один з класів - «ожеледь присутня на елементах ПЛ» або «ожеледь відсутня». Загальний набір даних був розділений на тренувальну та тестову частину. Навчання проводилось протягом 12 епох. Спочатку було натреновано лише CNN з шаром softmax (без SVM). Даний підхід забезпечив точність класифікації близько 88 %. Після цього було проведено навчання гібридної моделі, яка включала CNN та SVM. В результаті точність класифікації підвищилась до 93 %.

**Висновок.** Запропоновано метод класифікації зображень елементів ПЛ з метою виявлення факту їх обледеніння на основі згорткової нейронної мережі, який може ефективно класифікувати та розпізнавати наявність ожеледі. Крім того, запропонована вдосконалена гібридна модель, яка поєднує згорткову нейронну мережу та машину опорних векторів, що дозволило покращити точність класифікації.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zhang Z, Zhang H, Yue S, Zeng W. A Review of Icing and Anti-Icing Technology for Transmission Lines. *Energies*. 2023; 16(2):601. <https://doi.org/10.3390/en16020601>
2. CIGRE WG B2.29, "Systems for prediction and monitoring of ice shedding, anti-icing and de-icing for power line conductors and ground wires", TB 438, December 2010.
3. CIGRE WG B2.44, "Coatings for Protecting Overhead Power Network Equipment in Winter Conditions", TB 631, September 2015.
4. M. Radojicic, K. Halsan, I. Gutman, A. Dernfalk, L. Carlshem, and L. Wallin, "Comparative testing of different anti-ice coatings for overhead line conductors with special focus on ice accretion, RIV and visual impact", IWAIS-2013, St. John's, NL, Canada, 8-11 September 2013, Session 1, p. 13-18.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ ЛІНІЙ 10 – 35 кВ  
ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЧНИХ ПУНКТИВ СЕКЦІОНУВАННЯ

Жорняк Л. Б., к.т.н., доцент, e-mail: [zproton@zp.edu.ua](mailto:zproton@zp.edu.ua)

Бахметьев В. В., аспірант, e-mail: [vladdp70@gmail.com](mailto:vladdp70@gmail.com)

Левченко О. П., аспірант, e-mail: [levchenko17101984@gmail.com](mailto:levchenko17101984@gmail.com)

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Актуальність дослідження.** Одним із важливих напрямів системних наукових досліджень в енергетиці є вивчення проблеми надійності, стабільності та ефективності електропостачання споживачів. Це дуже актуально для мережі високовольтних ліній 10-35 кВ, які складають майже чверть від усіх електромереж напругою 6-110 кВ. Сучасні системи електропостачання повсякчас зазнають впливу від різних навантажень та можливих проблем впродовж експлуатації та функціонування, тобто в них постійно відбуваються зміни в режимах споживання електроенергії, коливання напруги на шинах, збої в окремих елементах і пристроях релейного захисту та автоматики, а також інші випадкові події. Крім того, значний вплив чинить руйнування та вихід з ладу обладнання внаслідок атак ворожої техніки.

**Мета дослідження.** Дослідження можливості підвищення надійності функціонування систем електропостачання з урахуванням її відновлення та одночасною модернізацією для розподільних мереж 10-35 кВ під час війни, а також після її закінчення, а саме завдяки оснащенню сучасних електричних систем вакуумними реклоузерами – пристроями, які аналізують стан електромереж та автоматично відключають лінії електропередавання у разі виникнення аварій. Тим більше, що щороку провідні виробники намагаються підвищувати технічні характеристики даних приладів, щоб скоротити час недовідпускання електроенергії споживачам та підвищити рентабельність ліній електропередавання.

**Основні матеріали досліджень.** Запровадження та застосування принципів стимулюючого регулювання в ґрунтується на суттєвому (в декілька разів) зниженні базового показнику – індексу середньої тривалості переривання в роботі системи (SAIDI), який демонструє середню тривалість відключення електроенергії для кожного окремого клієнта протягом визначеного періоду часу для певної мережі чи групи мереж, і, зазвичай, використовується для оцінки надійності електропостачання в Україні. SAIDI визначається як співвідношення загальної сумарної тривалості відключень за певний точний період до загальної кількості клієнтів в мережі:

$$S = \frac{\sum N_i U_i}{N_T}$$

де  $N_i$  – кількість клієнтів,  $U_i$  – час відключення за певний період в конкретному місцезнаходженні;  $i$  та  $N_T$  – загальна кількість обслуговуваних клієнтів в мережі.

Аналіз динаміки цього показника на заході демонструє, що величина SAIDI зменшується втричі на кожну 1/3 часового інтервалу від моменту запровадження стимулюючого регулювання розподільних мереж високовольтних ліній до поточного часу. У провідних країнах цей показник, зазвичай, не перевищує 100 хвилин на рік для конкретної країни чи регіону. Натомість, за даними джерел [1,2] лише за перші 6 місяців в 2022 році середнє по Україні значення індексу SAIDI становило 1402 хвилини, а до війни коливання складала близько 1500 хвилин на рік (рис. 1). Авторами було визначено, що за рахунок форс-мажорів, викликаних війною, зріст індексу склав від 142 % до 156% на 2022 рік, але все одно перевищував минулорічні показники західних країн в 13-15 разів.

Водночас, аналіз індексу надійності мереж, що використовують принципи розподіленого секціонування впродовж багатьох років, демонструє ефективність застосування реклоузерів як основного обладнання при автоматизації секціонування та використання мережевого резервування, що базується на зниженні часу пошуку місця аварії та часу відновлення електропостачання кінцевого споживача [3]. Приклад реалізації такого технічного рішення, а саме варіант модернізації підстанції ТП-876 наведений на рис. 2. Завдяки автоматизації



секціонування розподільної мережі з використанням реклоузерів [3], і якщо коефіцієнт завантаження встановленого обладнання прийняти на рівні 0,5, було визначено значення SAIDI, яке для споживачів на магістралі прогнозується близько 600 хв., що в 3,5 рази менше на відміну від немодифікованої мережі 10 кВ.

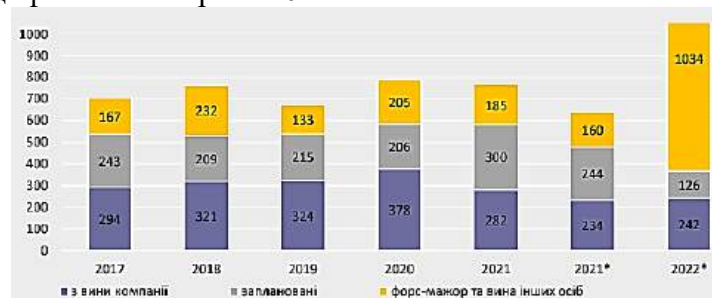


Рисунок 1 – Показники SAIDI впродовж I півріччя 2017-2022 років, хв [2]

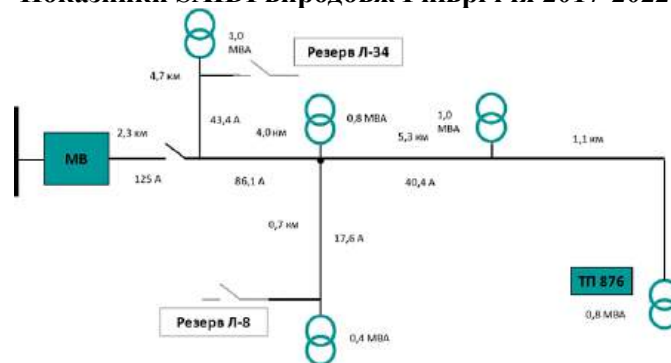


Рисунок 2 – Базова схема мережі 10 кВ та її показники [3]

Характеристики базової мережі (рис. 2): питома пошкоджуваність  $\omega_0=69$  1/рік, протяжність  $L = 20,29$  км, встановлена базова потужність  $P = 4,7$  МВА, середній час відновлення  $T_B = 5,6$  годин, SAIDI = 1990 хв. і нестача електроенергії у клієнтів  $W_{\text{баз}} = 8536$  кВА.

Для споживачів, що мають підключення до мережевого резервування, SAIDI зменшена на 97,24% і становить 56 хвилин. Нестача електроенергії для споживачів, що живляться від розподільної мережі, зменшена на 73,1% (2288 кВА). Нестача електроенергії для споживачів, що живляться від мережевого автоматичного резервування, незначне.

**Висновок.** Реалізація мережевого автоматичного резервування із застосуванням вакуумних реклоузерів в розподільчій мережі ліній 10 – 35 кВ в умовах стимулюючого регулювання дає змогу суттєво покращити характеристики їх надійності, що дуже важливо для нестабільної енергосистеми нашої країни під час війни та її відновлення. Це буде корисно не тільки для спеціалістів при модернізації мереж, а також для подальшого зменшення показників індексу SAIDI та нестачі електроенергії для конкретних споживачів в мережі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Левченко, О. П. Дослідження шляхів підвищення надійності роботи електромережевого господарства АПК України у сучасних умовах життя / О. П. Левченко, Ю. О. Семчишина // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9 листопада 2023 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2024. – 21-22 с.

2. Показники якості надання послуг у сферах електропостачання і централізованого водопостачання та водовідведення у 1-му півріччі 2022 року. URL: [https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Sfery\\_ElektroEnergiia/Monitoring\\_elektrto/Zvit\\_pokaznyky\\_yakosti-poslug\\_1kv\\_2022.pdf](https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Sfery_ElektroEnergiia/Monitoring_elektrto/Zvit_pokaznyky_yakosti-poslug_1kv_2022.pdf)

3. Power Utility Remote Recloser Management. URL: <https://www.unidata.com.au/application-notes/power-utility-remote-recloser-managemen>

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ 10/0,4 КВ

Іщенко М. Р., здобувач гр. ЕНМ-23М, e-mail: [makslaks757@gmail.com](mailto:makslaks757@gmail.com)

Козловський О. А., к.т.н., доц. e-mail: [kozlovskyioa@gmail.com](mailto:kozlovskyioa@gmail.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

**Актуальність дослідження.** У системі розподілу електроенергії України станом на 1 січня 2021 року в експлуатації знаходилось близько 205 тис. трансформаторних підстанцій (ТП) і розподільчих пунктів (РП) 6 (10) кВ [1]. На більшості з цих підстанцій встановлені трансформатори, у яких вичерпався нормативний термін експлуатації. Такі трансформатори мають підвищені втрати внаслідок неефективних конструктивних рішень, старіння магнітопроводу, попередніх коротких замикань. Крім того, під час бойових дій частина цих ТП була знищена, що ставить нагальне питання вибору нових, енергоефективних трансформаторів для заміни старих і пошкоджених. Враховуючи економічні труднощі та дефіцит енергоресурсів, зниження втрат у трансформаторах стає критичною необхідністю для забезпечення сталого енергопостачання в умовах післявоєнної відбудови країни.

**Метою дослідження** є аналіз заходів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності ТП 10/0,4 кВ, обґрунтування вибору нових енергоефективних трансформаторів з урахуванням сучасних вимог до енергозбереження та надійності.

**Основні матеріали досліджень.** Основним напрямом підвищення енергетичної ефективності трансформаторних підстанцій є впровадження комплексу заходів, які включають в себе наступне: встановлення енергоефективних трансформаторів; оптимізація навантаження; компенсація реактивної потужності; автоматизація систем керування.

Очевидно, що найбільш ефективними з них є перші два. Застосування сучасних трансформаторів з аморфним магнітопроводом (трансформатори зі зменшеними втратами неробочого ходу), дозволяє значно скоротити втрати електроенергії та підвищити економічну ефективність експлуатації підстанцій. Перерозподіл навантаження між трансформаторами з урахуванням їх фактичного завантаження або заміна малозавантажених трансформаторів дає можливість раціонально використовувати встановлену потужність, знижуючи втрати і підвищуючи ефективність розподільної мережі.

У трансформаторів екодизайну підвищення енергоефективності досягається шляхом використання матеріалів з покращеними магнітними властивостями та/або збільшенням маси ключових компонентів. Це призводить до збільшення їх кінцевої вартості, що відображається на зростанні цін на стандартний асортимент продукції. У ЄС встановлені обов'язкові стандарти для енергоефективності трансформаторів, включаючи постанови Tier 1 та Tier 2, спрямовані на зниження втрат енергії. Згідно з нормами ЄС щодо екодизайну, постанова Tier 2 для рівня втрат трансформаторів набули чинності з 1.07.21 р., замінивши попередній рівень Tier 1 (2015 р.). Специфікації Tier 2 спрямовані на зменшення втрат енергії на 10% порівняно з рівнями Tier 1. Аналогічний Технічний регламент щодо вимог до екодизайну силових трансформаторів був затверджений постановою КМУ №152 від 27.02.2017 р. З однієї сторони в Україні діє постанова, що зобов'язує встановлювати трансформатори, які відповідають вимогам екодизайну, а з іншої – на українському ринку існує можливість вибору між звичайними трансформаторами та енергоефективними моделями. Таким чином, важливо враховувати не лише вартість трансформатора, а й економічну доцільність його встановлення з урахуванням витрат на енергію протягом усього життєвого циклу.

Проведемо оціночний розрахунок вартості втрат у оливних трансформаторах з номінальною потужністю 1000 кВ·А, виготовлених за різними стандартами (табл. 1). При цьому припускається, що вартість електроенергії впродовж усього строку служби та втрати неробочого ходу внаслідок старіння магнітопроводів залишаються незмінними.

**Таблиця 1. Характеристики оливних трансформаторів**

Марка	$k_3$	$\Delta p_{н.х.}$ , кВт	$\Delta p_{к.з.}$ , кВт	$K$ , грн.	$\Delta W_{річн.}$ , кВт·год
ТМ-1000 (до 2015 р.)	0,7	1,8	10,8	510 000	34 290,0
ТМГ-1000 (Рівень 1)	0,7	0,77	10,5	792 432	24 752,7
ТМГ-1000 (Рівень 2)	0,7	0,693	7,6	1 159 600	19 104,7

Втрати в трансформаторі:

$$\Delta W_T = (\Delta p_{н.х.} T_p + \tau \Delta p_{к.з.} k_3^2) n_p, \quad (1)$$

де  $\Delta p_{н.х.}$   $\Delta p_{к.з.}$  – втрати, відповідно, неробочого ходу та короткого замикання трансформатора;

$T_p$  – час підключення трансформатора до мережі за рік, приймаємо 8760 год;

$\tau$  – час максимальних втрат, приймаємо 3500 год;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$n_p$  – кількість років роботи трансформатора.

Вартість втрат електричної енергії в трансформаторі:

$$B = c_0 \Delta W_T, \quad (2)$$

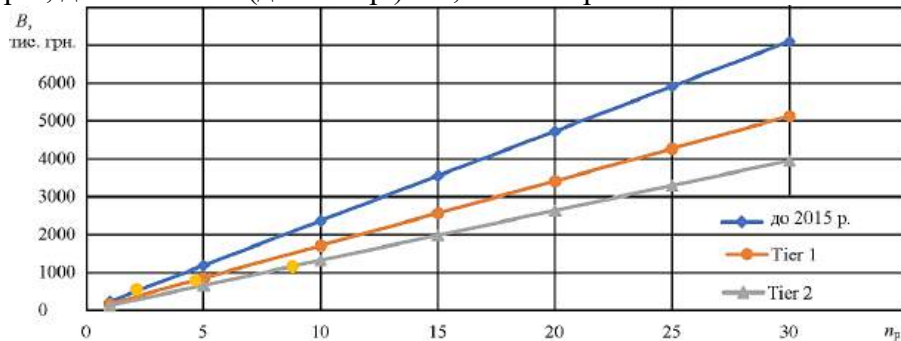
де  $c_0$  – вартість 1 кВт·год електричної енергії, приймаємо 6,9 грн.

Сумарна вартість втрат і трансформатора:

$$B_\Sigma = B + K, \quad (3)$$

де  $K$  – вартість трансформатора, грн.

На основі вихідних даних і виразів (1)-(3) були розрахована залежність вартості втрат у трансформаторах від часу їх експлуатації. Аналіз графіків показує, що за строк служби 30 років вартість втрат значно перевищує вартість всіх трансформаторів. Зокрема, цей момент настає для першого з трансформатора через 2,15 року експлуатації, для другого – через 4,65 року, а для третього – через 8,8 року. Сумарна вартість втрат і трансформатора впродовж всього строку служби склала: для ТМГ-1000 (Рівень 2) – 5,1 млн. грн., для ТМГ-1000 (Рівень 1) – 5,9 млн. грн., для ТМ-1000 (до 2015 р.) – 7,15 млн. грн.



**Рисунок 1 – Залежність  $B = f(n_p)$**

**Висновки.** Встановлено, що енергоефективні трансформатори, хоча і мають підвищену початкову вартість, впродовж усього строку служби демонструють значні економічні переваги завдяки зниженню втрат енергії. Їх застосування дозволяє зменшити загальні витрати на експлуатацію ТП, що робить їх використання не лише економічно доцільним, але й важливим з точки зору підвищення надійності та сталості енергопостачання. Це робить питання вибору енергоефективних трансформаторів актуальним для впровадження в стратегію енергозбереження України, особливо в умовах післявоєнної відбудови країни.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2020 році. Затв.: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 26 травня 2021 року №440. 386 с.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВІЙНИ

Карпенко М. А. студент, e-mail: [makskarpenkoand@gmail.com](mailto:makskarpenkoand@gmail.com)

Шевченко В. В. д. т. н., проф., e-mail: [zurbagan8454@gmail.com](mailto:zurbagan8454@gmail.com)

Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут»

**Актуальність дослідження.** Актуальність даного дослідження полягає в тому, що атомна електроенергетика, навіть після захоплення Запорізької АЕС ворогами, є основною в електроенергетиці України. Навить тепер вона забезпечує до 55-57% загального вироблення електроенергії в Україні. Війна поставила нові цілі, в першу чергу, в питаннях забезпечення безпеки атомних станцій, тому що збутися агресивного сусіда ми не маємо можливості. Тому всі перспективні плани розвитку національної електроенергетики повинні враховувати можливість і подальших нападів, і до загальних всесвітніх завдань (збільшення вироблення електроенергії, врахування проблем екології) в Україні слід додати питання значного підвищення безпеки об'єктів електроенергетики.

Тому вважаємо, що огляд та розроблення пропозицій щодо перспективних напрямків розвитку атомної електроенергетики нашої країни є актуальним.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є вироблення пропозицій щодо подальшого розвитку електроенергетики України з урахування необхідності підвищення безпеки об'єктів електроенергетики, що показала війна.

**Основні матеріали дослідження.** Навить під час війни, як і раніш, електроенергія АЕС найдешевша. По сучасним даним, собівартість виробництва 1 кВт електричної енергії на АЕС України становить 1,7 грн, що в три рази менше за вироблення електроенергії на ТЕС і в сім разів менш за електроенергію, яку можна отримувати від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ): від сонячних і вітрових станцій.

У багатьох країнах спробували відмовитися від розвитку атомної енергетики з надією, що її зможуть замінити електростанції, що працюють від ВДЕ. Але досвід США та Німеччини показав, що забезпечити зростаючі потреби в електроенергії населення та промислового виробництва такі станції не можуть. Так, наприклад, в Німеччині станом на 2021 на шести АЕС вироблялось 13,3 % електроенергії в країні. Наприкінці 2021 року були зупинені три станції, а ще три зупинили в квітні 2023 р. І вже восени Німеччина мала проблеми з енергозабезпеченням [1]. Експерти визначають, що використання ядерної енергетики має більше сенсу, ніж її відсутність, тому що безпеку постачання, захист довкілля та клімату, конкурентоспроможність слід розглядати в комплексі. Це приведе до зростання «вугільної» генерації на ТЕС, до збільшення викидів парникових газів.

Деякі європейські країни відмовилися від атомної енергетики раніше. Наприклад, Італія. Незабаром після Чорнобильської аварії Швеція закрила свої АЕС, але вже у 1996 р. відмовилась від такого рішення, і натеper шість АЕС виробляють близько 30 % загального обсягу електроенергії, що потребує країна. Натеper 13 з 27 країн ЄС мають намір використовувати ядерну енергію в найближчі роки і навіть розширювати потужності АЕС: Нідерланди і Польща планують розширювати виробництво електроенергії на АЕС; Бельгія постійно відкладає заплановану поетапну відмову; Франція має 57 реакторів і завжди була провідною країною у атомній галузі, вона планує збільшувати потужність АЕС і вважає атомну енергетику чистою (в порівнянні з вугільною, ТЕС) і головне екологічно нейтральною. Є різні думки, але в цілому можна зробити висновок, що поки не будуть знайдені та, головне, доведені до промислового рівня використання нові потужні, стабільні джерела електроенергії, наприклад, почнеться отримання енергії від термоядерного синтезу (токамаки та/або стеларатори), атомна енергетика буде ще десятиріччя залишатися головним джерелом електроенергії в світі [2]. Недоліки атомної енергетики відомі: це висока вартість, великі об'єми необхідної прісної води, швидке зниження власних запасів урану, – але кожен напрямок розвитку має свої переваги та недоліки.

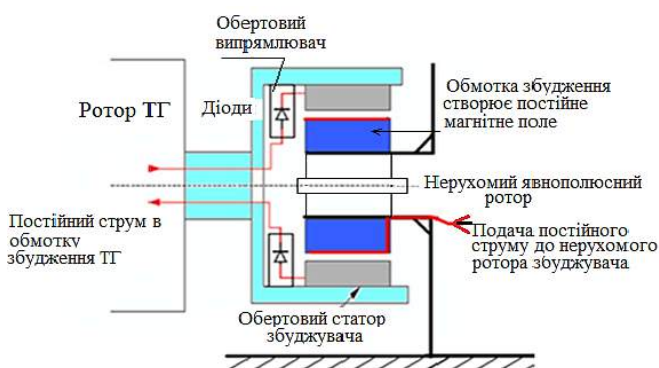


**Визначимо наше бачення, висновки** щодо подальшого розвитку електроенергетики країни:

1) атомна енергетика ще десятиріччя буде головним джерелом електроенергії. При цьому право на розвиток, на наукові дослідження мають і інші напрямки. В першу чергу, ВДЕ:

2) Необхідно будувати нові блоки АЕС або нові станції. В першу чергу необхідно продовжувати добудову існуючих блоків АЕС, будівництво яких було зупинене в 1986 році через катастрофу на Чорнобильській АЕС. Це два блоки № 3 та 4 на Хмельницькій АЕС (ХАЕС). Але після зняття урядом України мораторію на будівництво АЕС у 1993 році, будівництво блоків не було відновлено. І тільки 2.04.2024 року уряд схвалив проєкт, щодо добудови 3 та 4 енергоблоків. Добудову веде *Westinghouse Electric Company*. Планується цією ж компанією виконати добудову ще двох блоків на Хмельницькій АЕС.

3) Слід продовжувати будівництво енергоблоків «великої» атомної енергетики, але використовувати новітні досягнення для їхнього створення. І якщо при добудові 3 та 4 блоків ХАЕС на них буде використовуватись обладнання радянського виробництва (імпортування з Болгарії реакторів та допоміжного обладнання), то подальше будівництво повинно використовувати нові досягнення та технології: використовувати реактори нового покоління, не нижче 3+ з подальшим перспективним розвитком вибору реакторів наступних поколінь. Наприклад, реактори AP-1000 компанії *Westinghouse Electric Company*, розглянути можливість



**Рисунок SEQ Рисунок \\* ARABIC 1 – Схема сучасної системи безконтактного збудження турбогенератора**

переходу до реакторів на швидких нейтронах, з метою зниження розходу палива та ядерних відходів. Головним обмеженням втілення реакторів на швидких нейтронах можна вважати необхідність створення замкнутого паливного циклу, готовність підприємств з переробки відпрацьованого ядерного палива реакторів на швидких нейтронах, можливість видобування плутонію й виготовлення ядерного палива для реакторів. Необхідно також замінювати тип системи безконтактного збудження (рис. 1) та іншого обладнання.

4) Найбільш прогресивним з точки зору безпеки енергетики України натепер можна вважати побудову міні-АЕС. Це технологія отримання електроенергії від малих модульних реакторів (англ. *Small Modular Reactors – SMR*). Вони «малі», бо їх потужність не перевищує 300 МВт, вони потребують в 10 разів меншу площу, ніж блок великої АЕС, мають значно більший строк експлуатації (по різним оцінкам, до 100 років). І важливо, що міні-АЕС можна майже повністю створити на заводі-виробнику, скоротити строк робіт на місці експлуатації. Міні-АЕС можна повністю заглибити в землю, розосередити по території, що підвищує захист від зовнішнього впливу; її можна будувати біля міст, тож максимально наблизити до споживачів – це дозволяє підвищити надійність. Крім того, реактори *SMR* дешевші за великі реактори. Точна ціна *SMR* поки не відома, але вже відомо, що ціна буде значно менша за ціну будівництва реактора для «великої» АЕС, будівництво якої оцінюється в 10 млрд євро.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Турай Є. Німеччина закриває АЕС. DW, 15.04.2023. URL: <https://www.dw.com/uk/nimeccina-zakrivae-ostanni-aes/a-65240580>

2. Шевченко, В.В. Стала та відновлювана електроенергетика: навч. посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Харків: НТУ «ХПІ», 2024. 443 с. URL: <http://surl.li/popnqb>

БІОМІМЕТИЧНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ  
Козловський О. А., доц., канд. техн. наук, e-mail: [kozlovskyioa@gmail.com](mailto:kozlovskyioa@gmail.com)  
Центральноукраїнський національний технічний університет

**Актуальність дослідження.** Україна має розгалужену систему електромереж з повітряними лініями (ПЛ) значної протяжності, які ще до 2022 року перебували в стані істотного зносу [1, 2]. Після терористичних атак на енергетичну інфраструктуру та внаслідок бойових дій, частина цих мереж була знищена чи серйозно ушкоджена. У найближчому майбутньому перед енергетиками постане нагальна проблема відновлення електромереж. Однак, нова система повинна не лише забезпечити функціональність попередньої, а й бути позбавленою її недоліків, щоб гарантувати довговічність і стійкість до майбутніх викликів.

Одним із перспективних підходів до відбудови та вдосконалення електричної мережі є застосування біоміметичних принципів. Цей підхід, заснований на природніх процесах, дозволить створити гнучкі, самовідновлювальні та енергоефективні системи, що зможуть забезпечити стійкість і надійність нової енергетичної інфраструктури України. Таким чином, пошук нових підходів до відновлення електромереж є актуальним.

**Мета дослідження** – виявлення ключових біологічних процесів і механізмів, які можуть бути інтегровані в сучасні та електромережі майбутнього, забезпечуючи їх стійкість, надійність і екологічність.

**Основні матеріали досліджень.** Мережа нового покоління повинна відповідати сучасним викликам і забезпечувати надійність, стійкість і гнучкість в умовах можливих майбутніх загроз.

*Основні фактори, які слід врахувати при побудові нової мережі:*

Децентралізованість – забезпечення локальної автономності окремих частин мережі, що зменшить ризики масових відключень [2].

Інтеграція відновлювальних джерел енергії – забезпечення можливості ефективної інтеграції вітрових та сонячних електростанцій.

Гнучкість та адаптивність – здатність швидко реагувати на зміни у попиту та пропозиції енергії, особливо під час пікових навантажень чи аварійних ситуацій.

Можливість самовідновлення – мережа повинна мати здатність до швидкого відновлення після ушкоджень без необхідності значного людського втручання [2].

Енергоефективність – зниження втрат при передачі та використанні енергії за рахунок оптимізації маршрутів передачі та управління попитом.

Біоміметика вивчає та використовує принципи, стратегії та механізми живих природних систем з метою створення складних адаптивних інженерних систем. Біологічні системи, які протягом мільйонів років еволюціонували під впливом природного відбору, демонструють чудову здатність до адаптації, самоорганізації, самовідновлення та ефективного використання ресурсів, що може стати вирішальним при побудові мережі нового покоління.

Відповідність біоміметичних принципів вимогам до мережі нового покоління:

Самоорганізація – природні системи, такі як нервова система або мурашники, мають здатність до самоорганізації, що можна адаптувати для створення децентралізованих мереж. Це дозволить окремим сегментам мережі ефективно функціонувати навіть у разі часткових технологічних збоїв.

Гнучкість та адаптивність – принципи адаптивності, що спостерігаються у біологічних системах, можуть бути використані для побудови мережі, яка може автоматично коригувати свої режими роботи відповідно до поточного навантаження та змін у постачанні енергії.

Самовідновлення – використання механізмів самовідновлення, які зустрічаються у живих організмах (наприклад, регенерація клітин), може надихнути на створення систем для автоматичного відновлення пошкоджених ділянок мережі.

Розглянемо приклад використання біоміметичних принципів ліан для електричної мережі. Розгалужена структура та гнучкість. Ліани мають розгалужену та гнучку структуру, що дозволяє їм огинати та обплітати різні перешкоди, адаптуючись до навколишнього середовища. Подібним чином, розгалужена та адаптивна електрична мережа, здатна швидко перебудовуватися та відключати пошкоджені ділянки, забезпечує безперебійне постачання електроенергії, підвищуючи свою стійкість до пошкоджень та атак.

Множинні корені (децентралізація). Ліана може мати декілька розсереджених коренів, отримуючи воду та мінеральні речовини з різних місць і підвищуючи свою стійкість. Аналогічно, децентралізована система генерації та зберігання енергії, в якій електрична енергія виробляється та зберігається в різних вузлах мережі знижує залежність від централізованих джерел і підвищує надійність постачання.

Адаптивність та ріст. Ліани можуть швидко рости та змінювати напрям росту у відповідь на зовнішні впливи, наприклад, світло або опори. Аналогічно, впровадження систем, що можуть автоматично перенаправляти потоки електроенергії в залежності від навантаження та стану мережі, забезпечує гнучкість та ефективність роботи мережі.

Самовідновлення та регенерація. При пошкодженні частини ліани можуть відновлювати свій ріст і функціонування за рахунок інших частин. Реалізація в мережах з автоматичного виявлення ушкоджень з перенаправленням енергопотоків дасть змогу швидко відновлювати постачання без втручання людини.

Ефективне використання ресурсів. Ліани оптимально використовують доступні ресурси для свого росту в умовах їх обмеженості. Відповідно, оптимізація розподілу електроенергії та зменшення її втрат при передачі може бути досягнута шляхом використання інтелектуальних систем управління, розроблених на основі принципів ефективності ліан.

Запропонований підхід до побудови електромереж має наступні переваги:

- підвищену стійкість: мережа стає більш стійкою до пошкоджень та зовнішніх впливів завдяки гнучкій і розгалуженій структурі;
- зниження витрат на обслуговування: завдяки інтеграції принципів самоорганізації та самовідновлення, витрати на обслуговування та ремонт мережі можуть суттєво зменшитися;
- покращену ефективність: адаптивність і самовідновлення мережі підвищують її загальну ефективність і надійність;
- інтеграцію відновлюваних джерел: децентралізована структура сприяє більш легкій інтеграції відновлюваних джерел енергії;
- підвищення стійкості: біоміметичні принципи дозволяють створити мережі, які більш стійкі до локальних збурень та залишаються функціональними навіть за умов відмов у роботі;
- енергоефективність: природні механізми оптимізації ресурсів можуть бути використані для зниження втрат енергії та підвищення ефективності її передачі;
- стійкість до зовнішніх факторів – біоміметичні електромережі більш стійкі, до таких загроз як терористичні атаки чи природні катаклізми, що робить їх перспективним рішенням для післявоєнного відновлення електроенергетичної інфраструктури.

**Висновок.** Показано, що використання біоміметичних принципів має значний потенціал для створення електричних мереж нового покоління, які відповідатимуть сучасним викликам і забезпечуватимуть стабільне та ефективне енергопостачання. Інтеграція природних механізмів самоорганізації, самовідновлення та оптимізації ресурсів дозволить допомогти створити гнучкі, стійкі та ефективні системи, що стануть основою енергетичної інфраструктури України майбутнього.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. План розвитку системи передачі на 2022-2031 роки. Укренерго, 422 с.
2. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. Технічна електродинаміка, 2012. №5. С. 52-67.

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РИЗИКІВ  
ВІДМОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ НА БЛОКАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙЛазуренко К. О., аспірант, e-mail: [kostyan22@gmail.com](mailto:kostyan22@gmail.com)Шевченко В. В., д.т.н., проф., e-mail: [zurbagan8454@gmail.com](mailto:zurbagan8454@gmail.com)

Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

**Актуальність дослідження.** Енергетична незалежність будь-якої країни визначається рівнем розвитку електроенергетики, її надійністю і технологічною відповідністю світовому рівню. Але натеper в нашій національній енергетиці стоїть питання не просто забезпечення надійності та безпеки експлуатації електрообладнання (ЕО) електростанцій, а питання самої можливості його експлуатації. Обладнання на ТЕС і АЕС, зокрема, турбогенератори (ТГ), відпрацювало свій ресурс і потребує заміни. Але війна, економічне становище України, висока вартість ЕО робить цю заміну неможливою. Тому в Україні проводиться не повна заміна, а тільки часткові роботи по модернізації ЕО блоків електростанцій, ТГ і їх окремих елементів. Оцінка технічного стану ТГ на блоках теплових і атомних електростанцій, основних джерел електроенергії в Україні, підтвердила можливість продовження терміну їх експлуатації понад нормативний час, що встановлений заводом-виробником. Але це можливо тільки при своєчасному виявленні явних і прихованих дефектів, повноті і якості їх усунення, виборі оптимальних режимів роботи, своєчасному проведенні ремонтів і модернізації [1]. Тому дослідження, що присвячені визначенню експлуатаційних ризиків відмов турбогенераторів під час їх експлуатації, наразі актуальні і важливі.

**Метою дослідження** є визначення головних видів дефектів ТГ, що призводять до їх відмов, а також визначення збитків від відмов турбогенераторів на блоках станцій.

**Основні матеріали досліджень.** Оцінка технологічних та експлуатаційних ризиків експлуатації електрообладнання (ЕО) виконується на аналізі статистичних даних щодо визначення найбільш характерних видів дефектів та оцінки збитків від відмов турбогенераторів на блоках станцій. Одночасно із технологічними та експлуатаційними ризиками, для оцінки важливості визначеного дефекту необхідно враховувати й ринкові показники: ціни, кон'юнктуру тощо.

Оцінка можливих ризиків у світовій практиці турбогенераторобудування виконується на базі аналізу статистичних даних щодо експлуатації ЕО. Для зниження втрат через аварійні зупинки ТГ необхідно знати, з яких причин вони трапляються найчастіше. Серед таких причин значну частину складають типові дефекти, тобто дефекти, які повторюються в більшій частині випадків в ТГ одного типу, з подібними конструкціями та за подібних умов експлуатації. Але статистика експлуатації показує, що не менш важливими є приховані дефекти, які часто мають швидкий розвиток і призводить до значних пошкоджень ТГ, і тривалим відновлювальним ремонтним роботам.

Перелік відмов по ТЕС та АЕС України (по значенню зменшення ризику) такий:

- для ТГ з водневим охолодженням - пошкодження масляних ущільнень валів;
- для ТГ з водяним охолодженням - порушення бандажів лобових частин обмотки статора, тріщини в паяних з'єднаннях лобових частин і кріплень обмотки статора в пазах, нещільність порожнистих провідників, обрив болтів та тріщини у зварних швах напірного та зливного колекторів, тріщини в мідних трубках подачі води у виводи обмотки статора;
- зниження тиску пресування, «розпушування» та руйнування шихтованих листів крайніх пакетів осердь статорів;
- для ТГ з контактним збудженням - знос і порушення контактних кілець і щіток;
- порушення балансування роторів і пов'язані з ними пошкодження струмопідводів і валів, збільшені зміщення лобових частин у різних режимах роботи генератора, ослаблення кріплення лобових частин обмоток;
- технологічні та експлуатаційні дефекти ізоляції обмотки статора.



Найважливішими (по ризику наслідків) є такі дефекти:

- тріщини в валу ротора та в деталях бандажних вузлів ротора;
- руйнування торцевих частин шихтованих пакетів осердь статорів, що призводить до руйнувань бандажів та ізоляції лобових частин обмоток статорів;
- порушення оливних ущільнень ТГ з водневою системою охолодження, що призводять до викиду водню в машинний зал.

Не всі дефекти ТГ призводять до відмов, тому оцінка їх складності та перспективного ризику аварійної зупинки слід проводити за чисельними показниками, наприклад, за оцінкою строків питомого простою ТГ (в годинах за рік на один ТГ). Визначимо ризик прояву дефекту ( $D$ ) як добуток ймовірності появи дефекту ( $B$ ) на усереднену величину шкоди ( $U$ ) від наслідків появи дефекту, як  $D = B \cdot U$ . Проаналізуємо дані про збитки через різні види відмов ТГ електростанцій України потужністю 200, 300 та 1000 МВт з воднево-водяним охолодженням.

**Таблиця 1. Збитки від різних видів відмов турбогенераторів**

Потужність ТГ, МВт	Середня частота відмов ТГ, 1/(ТГ·рік)	Тривалість середнього простою на одну відмову ТГ, години	Можливі збитки (риск)	
			Час питомого простою, години/(ТГ·рік)	Питоме недовироблення електроенергії, $10^6$ (кВт·год)/(ТГ·рік)
1000 (АЕС)	0,33	46,8	15,4	15,4
300 (ТЕС)	0,41	45,0	18,4	9,2
200 (ТЕС)	0,57	65,0	37,0	8,2

Зношене обладнання потребує додатковий контроль, збільшення кількості каналів оцінки стану. Аналіз робіт різних авторів дозволяє зробити висновок, що необхідно забезпечити додатковий контроль вібрації найбільш навантажених вузлів, встановити додаткові датчики з виведенням їх показників на пульт оператора в режимі *on-line*, [1]. Для ТГ посилення вібрації призводить до руйнування обмоток статора та осердя, що потребує капітальних ремонтів або навіть повної заміни статора чи всього генератора. Також для зношеного обладнання необхідний постійний контроль температури активних та конструктивних частин статора. Тобто. необхідне встановлення додаткового комплексу термодатчиків. Внаслідок цього навантаження на оператора, який контролює роботу ТГ, значно зростає, а згідно з дослідженнями психологів, які працюють на АЕС, навантаження на оператора не може бути більшим за 5-9 подій. Тому при підвищенні кількості параметрів, що приходять до оператора, контроль безпеки і надійності роботи обладнання знижується, інформація стає надмірною і людина її не зможе аналізувати. Тому при виборі додаткових каналів інформації ведеться ретельний відбір, встановлювати найінформативніші показники. За цим критерієм встановлено, що найбільшу інформацію несуть дані вібродатчиків, які певною мірою можуть інформувати і про тепловий стан окремих частин генератора, і навіть про можливі надриви і руйнування, наприклад, бандажів і клинів.

**Висновок.** Для забезпечення наростаючих потреб в електроенергії необхідно або розширювати машинний парк електростанцій, або збільшувати в результаті модернізації потужність вже працюючих ТГ: на АЕС – до 1200-1500 МВт; на ТЕС – до 325-350 МВт, одночасно виконуючи додаткові роботи щодо забезпечення їх надійності, своєчасності визначення появи типових та розвитку скритих дефектів, встановлення ймовірність аварійних зупинок ТГ шляхом встановлення додаткових датчиків вібро-контролю в режимі *on-line*.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Shevchenko V.V., Minko A.N., Dimov M. Improvement of Turbogenerators as a Technical Basis for Ensuring the Energy Independence of Ukraine. Kharkov: NTU "KhPI". Electrical engineering and electromechanics. 2017. No.10. Pp. 78-83.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ СВІТЛОДІОДІВ

Лещенко В. С., магістр, e-mail: [volodymyr.leshchenko@kname.edu.ua](mailto:volodymyr.leshchenko@kname.edu.ua)Герасименко В. А., к.т.н., доцент, e-mail: [vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua](mailto:vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Світлодіодні технології освітлення стали одним із найбільш значущих досягнень останнього десятиліття у сфері енергоефективних рішень. Завдяки своїй економічності, довговічності та екологічній безпечності світлодіоди (LED) поступово витісняють традиційні джерела світла, такі як лампи розжарювання та люмінесцентні лампи. У зв'язку з глобальним прагненням до скорочення споживання енергії та зменшення негативного впливу на довкілля, дослідження та вдосконалення LED-систем освітлення є вкрай актуальним. Метою даної роботи є аналіз і вдосконалення існуючих LED-систем освітлення з урахуванням новітніх технологій, а також вивчення можливостей покращення якості освітлення, підвищення енергоефективності та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Сучасні LED-системи мають великий потенціал для забезпечення ефективного освітлення в різних сферах, починаючи від домашнього та промислового освітлення та закінчуючи масштабними інфраструктурними проектами. Їхнє впровадження сприяє не лише економії ресурсів, але й покращенню якості життя, створенню безпечних та комфортних умов у громадських і робочих місцях.

У порівнянні з традиційними джерелами світла, світлодіоди є надзвичайно економічними, споживаючи значно менше енергії при аналогічній світловіддачі. LED-освітлення дає змогу знизити споживання електроенергії на 50-90%, що робить його привабливим рішенням для великих і малих об'єктів. Висока енергоефективність LED забезпечується завдяки використанню напівпровідникових матеріалів, які перетворюють електроенергію в світло з мінімальними втратами. Розробка нових матеріалів, зокрема органічних світлодіодів (OLED), сприяє подальшому підвищенню енергоефективності, зменшуючи енергетичні витрати на освітлення. Крім того, нові багат шарові напівпровідникові структури дозволяють підвищити яскравість світлодіодів, мінімізуючи при цьому витрати енергії.

Не менш важливим напрямом удосконалення LED-технологій є покращення спектральних характеристик світлодіодного світла. Традиційні світлодіоди зазвичай мають обмежений спектральний діапазон, що може негативно впливати на сприйняття кольорів та комфортність освітлення. На сучасному етапі дослідники [1-2] зосереджують увагу на створенні світлодіодів з різними кольоровими температурами, які дозволяють налаштовувати освітлення залежно від призначення простору чи часу доби. Наприклад, у домашніх умовах популярністю користуються теплі відтінки, які сприяють розслабленню, тоді як для офісів і виробничих приміщень більше підходять нейтральні або холодні тони, що підвищують продуктивність. Регулювання спектра дозволяє створити комфортне освітлення для очей та зменшує навантаження на зір, що є особливо важливим для тих, хто працює в умовах штучного освітлення. Окрім цього, останні дослідження підтверджують, що корекція спектра світлодіодів відповідно до природних біоритмів людини позитивно впливає на її здоров'я та самопочуття [2].

Світлодіодні системи освітлення також характеризуються високою довговічністю та надійністю. В середньому термін служби LED-ламп становить близько 50 000 годин або навіть більше, що перевищує термін служби ламп розжарювання у десятки разів. Це дозволяє значно зменшити потребу у частій заміні джерел світла, що економічно вигідно та позитивно впливає на довкілля, адже скорочується обсяг утилізації. Використання якісних матеріалів дозволяє підвищити надійність LED-систем, роблячи їх стійкими до змін температури та вібрацій, що важливо для промислових об'єктів і зовнішнього освітлення. Наприклад, для вуличного освітлення LED-системи є ідеальним варіантом, оскільки вони можуть працювати у широкому діапазоні температур та умов.

Світлодіодні системи є екологічно безпечними, оскільки вони не містять ртуті та інших шкідливих речовин, які присутні, наприклад, у люмінесцентних лампах. Це робить LED-технології важливим елементом стратегії зниження екологічного навантаження. Такі системи також не випромінюють ультрафіолетових і інфрачервоних хвиль, що дозволяє уникнути негативного впливу на здоров'я людини та природу. Таким чином, світлодіодне освітлення ідеально підходить для використання у школах, лікарнях, офісах, а також для освітлення парків та історичних пам'яток, де екологічна безпека є надзвичайно важливою.

Одним із інноваційних напрямів удосконалення світлодіодних систем є впровадження інтелектуальних технологій керування освітленням [2-3] (рис. 1). Інтеграція світлодіодів у Smart системи дає змогу дистанційно керувати параметрами освітлення та оптимізувати його відповідно до зовнішніх умов. Наприклад, такі системи можуть автоматично регулювати яскравість та колірну температуру освітлення залежно від часу доби, що забезпечує додаткову економію енергії. Сучасні розумні технології дозволяють керувати освітленням через мобільні додатки або використовувати автоматизовані алгоритми для адаптації до умов освітленості. Це важливо для проєктів Smart Cities, які вимагають інтеграції таких систем у масштабну інфраструктуру. Інтелектуальні системи дозволяють зменшити витрати електроенергії, зокрема через автоматичне вимкнення світла при відсутності людей у приміщенні або зменшення яскравості у залежності від освітлення та природних джерел.



**Рисунок 1 – Розумне освітлення в інтелектуальних середовищах**

Світлодіодні системи освітлення є однією з найперспективніших технологій, що сприяють економії енергії, поліпшенню якості освітлення та зменшенню негативного впливу на довкілля. Окрім економічних та екологічних переваг, вони мають широкий спектр застосувань завдяки можливості налаштовувати спектр і кольорову температуру під конкретні потреби. Довговічність та надійність світлодіодів роблять їх ідеальними для широкого застосування, включаючи промислові об'єкти, транспортні інфраструктури та громадські місця. Інтеграція LED-систем у розумні мережі відкриває нові можливості для оптимізації освітлення, знижуючи витрати та підвищуючи комфорт для користувачів. Продовження досліджень у цій галузі є важливим для подальшого вдосконалення LED-технологій, що дозволить забезпечити суспільство якісним, енергоефективним та екологічно безпечним освітленням.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення: навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
2. Héctor F. Chinchero, J. Marcos Alonso, Hugo Ortiz T.: LED lighting systems for smart buildings: a review, IET Smart Cities, 2020, Vol. 2 Iss. 3, pp. 126-134
3. Бомчик О. С., Парамуд Я. С. Комп'ютерна система управління багатоканальними освітлювальними пристроями. – Львів.: 2018 – 24 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІДВЕДЕННЯ В СВІТЛОДІОДНИХ СВІТИЛЬНИКАХ

Мішин М. А., студент, e-mail: [mykyta.mishyn@kname.edu.ua](mailto:mykyta.mishyn@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Актуальність дослідження.** Все більшої актуальності набуває завдання, пов'язане з мінімізацією енергоспоживання. Тільки на освітлення у всьому світі витрачається близько 30-35% усієї вироблюваної електроенергії, при цьому в мегаполісах – в 1,5-2 рази більше.

Надійність і вихідні характеристики світлодіодів тісно пов'язані з температурою робочої області р-n- або гетеро-переходу, що робить тепловий розрахунок і вибір системи охолодження досить відповідальним етапом проектування світлодіодних систем. На відміну від традиційних джерел світла, світлодіоди не випромінюють тепло, а переводять його в напрямку від р-n-переходу до розташованого на корпусі світлодіода [1].

У світлодіодів близько 75% енергії, що підводиться припадають на теплові втрати, тому для збільшення квантового виходу світлових приладів необхідна наявність ефективних тепловідвідних конструкцій. Задачі оптимізації теплових режимів лежать в дослідженнях конструкцій світлових приладів. Різноманітність виконань сучасних LED пристроїв, їх застосування для широкого спектру завдань, необхідність відводу великої кількості тепла, робота в жорстких умовах експлуатації – все це обумовлює пошук унікальних конструкторських рішень. Для їх реалізації необхідні спеціальні матеріали, що мають високу технологічність і виправдану собівартість при забезпеченні необхідних експлуатаційних характеристик світильника [3].

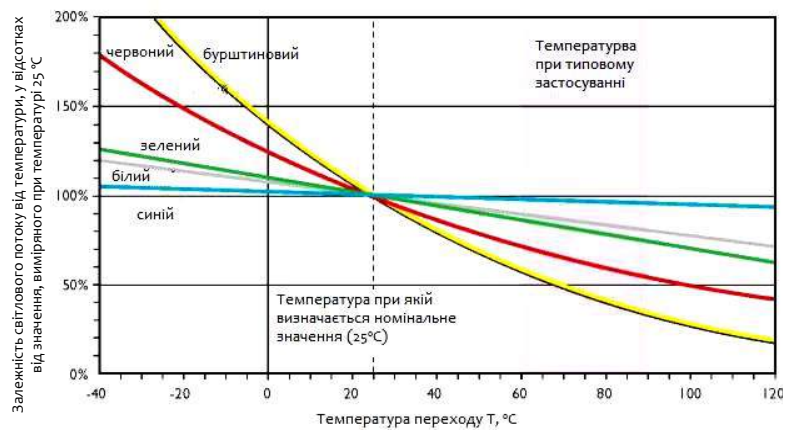
Світлодіоди виходять з ладу від перегріву з кількох причин. Перша причина – зміна механічної напруги всередині світловипромінювального кристала і монолітної світлодіодної збірки. Друга – порушення герметичності, проникнення вологи і окислення. Третя – зростання кількості дислокацій в кристалі веде до зміни шляхів струму і виникнення точок перевищення щільності струму і, відповідно, до перегріву цих точок.

Тому при проектуванні світлодіодного світильника необхідно обов'язково забезпечити відповідний рух повітря і адекватне відведення тепла.

У зв'язку з цим, проектування теплової системи світильника на базі потужних світлодіодів є актуальним завданням.

**Мета дослідження.** Об'єктом дослідження є світлодіодні світильники, їхні конструктивні елементи (LED-чипи, радіатори, корпуси) та система охолодження. Тому головною метою дослідження є теплові процеси, що впливають на температурний режим LED-чипів, ефективність тепловідведення, вплив температури на оптичні та електричні параметри.

**Основні матеріали дослідження.** Правильно спроектовані світлодіодні світильники оснащені схемами контролю температури та термозахисту, які знижують яскравість або вимикають прилад у разі його перегріву до критичних температур [1,2]. Після зниження температури переходу до безпечного рівня або через певний проміжок часу автоматичний механізм знову відновлює нормальну роботу пристрою. Тривала робота світлодіода при високих температурах переходу істотно скорочує його термін служби. Виробники постійно працюють над продовженням терміну служби світлодіодів при підвищених робочих температурах. Наприклад, у документі 2016 року щодо стабільності білого світлодіода Cree XLamp XR-E гарантується збереження 70% початкового світлового потоку протягом більше ніж 50 000 годин роботи при струмі 700 мА, температурі переходу 110 °С і температурі навколишнього середовища 45 °С [4]. На рисунку 1 показана залежність світлового потоку світлодіода від тривалості його роботи для двох зразків, які працюють при однаковому струмі, але з різними температурами переходу. Ці залежності отримані на основі вимірювань, проведених протягом 10 000 годин роботи світлодіодів.



**Рисунок 1 – Зміна світлового потоку світлодіода в залежності від тривалості його експлуатації**

Аналізуючи різні дослідження, було вирішено задачу теплового режиму роботи світлодіодного освітлювального приладу на основі визначених цілей дослідження та сучасних методів. Виконання теплових розрахунків на етапі проектування світлодіодних світильників є надзвичайно важливим, оскільки відомо, що при підвищених температурах кристала напівпровідника значно зменшується світловий потік, а при критичних температурах це може призвести до виходу світильника з ладу. З огляду на це, корпус-радіатор світильника має забезпечувати стабільну роботу в різних кліматичних умовах, при цьому, згідно з чинними нормативами, зниження світлових та електричних характеристик не повинно перевищувати 10%.

Проаналізовано вплив технологій охолодження на ефективність тепловідведення. Методи досягнення цього результату є різноманітними і включають як активне, так і пасивне охолодження. З огляду на це було розглянуто методи розрахунку параметрів тепловідведення радіатора з урахуванням фізичних процесів, а також проведено порівняльний аналіз двох типів конструкцій теплових радіаторів.

**Висновок.** У цьому дослідженні виконано числовий аналіз підвищення ефективності тепловідведення в потужних світлодіодних світильниках. Було досліджено вплив різних матеріалів, орієнтації та систем охолодження на тепловідведення конструкції світильника з метою визначення найбільш ефективної моделі для підтримки промислового виробництва. За результатами моделювання та реальних умов, найкращим поєднанням матеріалів виявилось використання плафонів з полікарбонату, гібридного радіатора з мідною основою та алюмінієвими ребрами. Було досліджено два типи радіаторів (А, В), і встановлено, що найнижча температура з'єднання світлодіодних чіпів спостерігається в радіатора В-типа при куті 0°. За швидкості повітря від 0 до 3 м/с, зі збільшенням швидкості вітру покращується ефект охолодження для всіх типів радіаторів. Крім того, тепловіддача світлодіодних чіпів змінюється залежно від азимутального положення радіатора.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Колесник А. І., Усіченко Д. О., Назаренко Л. А., Спектральні і фотометричні методи контролю параметрів світлодіодних джерел випромінювання. Журнал нано- та електронної фізики. 2019. № 1 (11). с. 01002 (6сс).
  2. Колесник А. І., Усіченко Д. О., Назаренко Л. А. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2017. № 49 (2). с. 25-29.
  3. Oleksy M., Kraśniewski J., Janke W. Wpływ temperatury na charakterystyki optyczne i elektryczne diod LED mocy. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2014. vol. 9. pp. 83- 85.
- Назаренко Л. А., Колесник А. І. Фізика і техніка світлодіодів : навч. посіб. Харків, 2021. 255 с.



## ВПЛИВ КОЛЬОРУ І СВІТЛА В ДИЗАЙНІ РЕКЛАМНИХ ВИВІСОК НА СПРИЙНЯТТЯ БРЕНДУ

Мотузов Ю. В., студент, e-mail: [yurii.motuzov@kname.edu.ua](mailto:yurii.motuzov@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Актуальність дослідження.** Дослідження впливу кольору і світла в дизайні на сприйняття бренду реалізовано на прикладі рекламних вивісок, що використовуються компаніями для просування своїх товарів та послуг. Вивіски включають різні елементи дизайну, такі як форма, колір, типографія, освітлення тощо.

Предмет дослідження базується на наступних аспектах:

- Кольорова гама: як певні кольори впливають на емоційне сприйняття споживачів, викликаючи певні асоціації з брендом (теплі або холодні кольори, яскраві або пастельні відтінки).

- Освітлення: яким чином різні види освітлення (динамічне, статичне, інтенсивність світла) впливають на привертання уваги до вивіски та підвищують запам'ятовуваність бренду.

- Сумісність кольору і світла: як поєднання освітлення і кольорів впливає на створення позитивного або негативного образу бренду.

- Психологічні аспекти: дослідження того, як кольори та світло стимулюють купівельні рішення та впливають на емоційний стан споживачів.

Ці аспекти можуть бути ключовими для розуміння того, як дизайн рекламних вивісок впливає на загальне сприйняття бренду і залучення споживачів.

Зовнішня реклама – графічна, текстова, або інша інформація рекламного характеру, яка розміщується на спеціальних тимчасових і / або стаціонарних конструкціях, розташованих на відкритій місцевості, а також на зовнішніх поверхнях будинків, споруд, на елементах вуличного обладнання, над проїжджою частиною вулиць і доріг або на них самих, а також на автозаправних станціях [1].

Зовнішня реклама – це носії реклами, які розташовуються поза приміщеннями, впливаючи на широку аудиторію. Це ефективний засіб, спрямовано в основному на просування споживчих товарів і послуг, брендів і розраховане на сприйняття широкими верствами населення.

Виробництво зовнішньої реклами – це виготовлення, стилістика, дизайн, монтаж рекламних носіїв на будівлях і на вулицях міста. До зовнішньої реклами відносяться: вивіски, зовнішні плакати, рекламні щити, брендмауери, світлові установки, перетяжки, козирки [2].

Варто відзначити, що зовнішня реклама не є початковим етапом рекламної кампанії, вона її продовжує. Зовнішня реклама повинна виконувати наступні функції:

- привертати увагу, перебуваючи постійно на видному місці.
- швидко «схоплюватися»;
- залишитися в пам'яті людини при мінімальному контакті;
- забезпечити високу частоту показів.

Засоби зовнішньої реклами досить різноманітні. Стосовно до міського середовища – це різні носії рекламних повідомлень, що розміщуються на території міста і розраховані на візуальне сприйняття з міського простору, а саме: дахові установки, електронні табло, панно, рекламні щити, мультимедійні установки, кронштейни, маркізи, штендери, перетяжки і т. п.

**Мета дослідження.** Відчуття інформаційного та рекламного шуму створюється, в першу чергу, через велику кількість стандартних рекламних рішень. Однак сучасні технології відкривають перед рекламодавцями принципово нові можливості, дозволяють істотно скоротити кількість рекламних площ і одночасно підвищити ефективність повідомлень за рахунок їх оригінальної подачі. Йдеться про пристрої для трансляції відеореклами – світлодіодні відеоекрани.

Світлодіодний відеобілборд, або брендмауер, призначений для чергування повідомлень декількох рекламодавців. Яскрава і барвиста відеореклама кидається в очі, а значить, виконує

свою основну задачу, забезпечення зростання впізнаваності бренду. Інноваційність, нестандартність такого майданчика, а також ємність інформаційного каналу роблять світлодіодний екран не тільки ефективним рекламоносієм, але і привабливим елементом міського пейзажу, а в деяких випадках навіть своєрідною пам'яткою.

Саме тому дослідження присвячено колірному впливу на сприйняття бренду через світлодіодний рекламний екран.

**Основні матеріали дослідження.** Розрахунок освітлювальної установки рекламних конструкцій ведеться з розрахунку висоти букв інформаційних написів і відстані, з котрої ці букви вже повинні бути помітні спостерігачем.

Розрахунок висоти букв установки залежить у першу чергу від дальності бачення, на яку розрахована реклама. Саме тому розрахунок проводився для відстані розрізнення світних букв зоровим аналізатором людини. Для того, щоб розташувати світлодіодні модулі в екрані, скористалися програмою Dialux EVO, це дозволило розрахувати яскравість лицьової панелі, а також скорегувати кількість елементів, що світять. Алгоритми програми допоможуть за наведеними числовими значеннями яскравості рівномірно розташувати світлодіоди у тілі коробу рекламної установки.

Результати світлотехнічних розрахунків показали, що розрахована освітлювальна система зовнішньої рекламної світлодіодної установки задовольняє нормативним вимогам до яскравості лицьової панелі рекламного екрану, що досягається при використанні світлодіодних модулів Philips. На освітлення витрачається близько 40% від загального енергоспоживання міста. Використання інтелектуальних систем управління рекламним освітленням дозволяє скоротити енергетичні та експлуатаційні витрати. Зменшення енергоспоживання в розмірі 30-50% важливо не тільки в економічному плані - це реальний внесок у вирішення проблеми зміни клімату та ефективного використання ресурсів.

**Висновок.** В рамках даного дослідження розроблено світлодіодний екран на сонячних батареях, що являє собою екологічне високотехнологічне обладнання для відображення зображень. Він використовує енергію сонячного світла для забезпечення енергією світлодіодний екран. Даний екран може бути встановлений в будь-якому місці, він не має ніяких кабельних з'єднань до джерела живлення. Також даний екран простий у догляді і установці. Це є відмінним вибором на заміну звичайного світлодіодного екрана.

Світлодіодний екран на сонячних батареях служить для відображення інформації на національних дорогах, високошвидкісних трасах, на міських дорогах, на вулицях, аеропортах, вокзалах, залізничних станціях та ін.

Щодо композиції, даний світлодіодний екран складається з панелі сонячних батарей, батареї, контролера зарядки і розрядки, монітора батареї, підтримуючої бази для панелі сонячних батарей, захисної коробки та ін.

Даний екран має електролюмінесцентний джерело живлення низької напруги. Даний екран відрізняється довгим терміном служби, високою ефективністю, чистотою кольорів, високою стабільністю, безпекою, низьким коефіцієнтом споживання енергії, стійкістю до шоківим навантажень і ін. Завдяки невеликому споживанню енергії, даний світлодіодний екран використовує кабелі невеликого діаметру. Вартість джерела живлення нижче на 30%, ніж вартість звичайного з кабелями звичайного діаметру. Завдяки сонячним батареям, світлодіодний екран дозволяє економити енергію і зберігати навколишнє середовище.

Даний світлодіодний екран може має дистанційний контроль, які забезпечує автоматичне налаштування яскравості і також може здійснювати контроль реального часу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Світлотехнічні розрахунки. навч. посібник / Л.А. Назаренко, Т.В. Можаровська, В.С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 142 с.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ І ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ

Носань С. В., асистент, e-mail: [serhii.nosan@tsatu.edu.ua](mailto:serhii.nosan@tsatu.edu.ua)

Дем'янчук С. Б., студент, e-mail: [dem.ste97@gmail.com](mailto:dem.ste97@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження автоматизації і цифрових технологій в управлінні електропостачанням постійно зростає в умовах розвитку сучасних енергетичних систем, які потребують високої надійності та ефективності, і стають все складнішими. Це дуже важливо для великих компаній, які постійно намагаються покращити свої фінансові показники за рахунок зниження витрат на обслуговування.

**Мета досліджень.** Полягає в тому, щоб визначити, що за допомогою автоматизації систему електропостачання можна зробити більш ефективною, надійною та стійкою до нових викликів (наприклад, зміни у структурі споживання енергії, кліматичні зміни та кібербезпека).

**Основні матеріали досліджень.** Сучасні автоматизовані системи керування «АСУ» здатні здійснювати контроль і моніторинг параметрів електропостачання в режимі реального часу, що забезпечує високу ефективність роботи мережі.

На нинішньому етапі можна виділити декілька основних аспектів автоматизації:

1) *Інтеграція «розумних» цифрових технологій.* Можна виділити декілька основних: Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), великі дані (Big Data). Ці технології дають можливість впровадження «розумних» електромереж (smart grids). Саме це дає можливість краще керувати попитом на електроенергію, аналізувати великі обсяги даних, отримувати з різних компонентів електромережі, для прогнозування аварійних ситуацій та ефективно на них реагувати, оптимізації споживання та вдосконалення управлінських рішень.

2) *Кібербезпека.* Ми живемо у сучасному технологічному світі, і з впровадженням цифрових технологій зростає ризики кібератак на енергосистеми. Впровадження безпечних рішень і дослідження методів захисту в автоматизованих системах управління електропостачанням є важливим завданням для забезпечення енергетичної безпеки країни. Дослідження включає в себе впровадження стандартів кібербезпеки, таких як *NIST*, для захисту критичних систем і даних від несанкціонованого доступу.

3) *Економічна ефективність.* Автоматизація систем управління дає можливість для підприємств знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність та зменшити час простоїв. Це дуже важливо для великих компаній, які постійно намагаються покращити свої фінансові показники за рахунок зниження витрат на обслуговування.

4) *Система – SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).* Дозволяє здійснювати моніторинг та управління процесами в електромережах, що значно підвищує точність і швидкість реагування на будь-які збої або аномалії.

5) *Energy Storage Systems.* Відповідальна за зберігання надлишків енергії та балансування навантаження, розподілення системи зберігання енергії забезпечують стабільність і надійність електропостачання, особливо при інтеграції відновлювальних джерел енергії. ESS дозволяє зберігати енергію під час низького споживання та використовувати її в години пікових навантажень.

6) *Комунікаційні мережі для передачі даних.* Системи автоматизації потребують надійних комунікацій для зв'язку між пристроями. Використовуються технології передачі даних по електромережах (*Power Line Communication, PLC*), бездротові стандарти, такі як *Wi-Fi, Zigbee*, а також *LTE* для зв'язку на більших відстанях. Це дозволяє збирати дані з віддалених пристроїв і забезпечувати швидкий доступ до них для аналізу.

7) *Вплив на сталий розвиток і екологічну безпеку.* Впровадження цифрових рішень у сфері електропостачання сприяє зниженню викидів парникових газів і підтримує перехід до більш екологічних джерел енергії. Автоматизація дозволяє знизити вуглецевий слід за рахунок

оптимального використання енергоресурсів, а також сприяє більш раціональному розподілу енергії між споживачами, що мінімізує надлишкове виробництво.

Розглянемо детальніше, наприклад, вплив IoT і великих даних на оптимізацію процесів електропостачання. Вони мають значний вплив, розділимо цю характеристику на кілька пунктів:

1) Оптимізація дистрибуції

- за допомогою IoT можна оптимізувати розподіл електроенергії між різними споживачами, що забезпечить ефективний розподіл ресурсів (особливо це буде корисно в умовах збільшення сонячних панелей чи вітрових турбін)

2) Покращене прогнозування споживання

- аналіз великих даних допомагає оптимізувати виробництво електроенергії, зменшити витрати та мінімізувати надлишкову генерацію, що знижує навантаження на систему.

3) Підвищення надійності та безпеки

- Використання IoT дозволяє підвищити безпеку електричних мереж, забезпечуючи автоматичне виявлення несправностей чи збоїв та їх швидке усунення.

Також важливою складовою сучасних підприємств є системи управління енергоспоживанням (EMS). Вони допомагають ефективно контролювати та оптимізувати споживання енергії. EMS збирає дані про споживання енергії в реальному часі або з певною періодичністю. Сучасні компанії прагнуть зменшити свій вуглецевий слід. Використання EMS допомагає знизити обсяги споживання енергії з невідновлюваних джерел та мінімізувати викиди парникових газів. Ефективне управління енергоресурсами знижує собівартість продукції, що дозволяє підприємствам пропонувати більш конкурентні ціни. Загалом, впровадження систем управління енергоспоживанням є одним з ключових кроків до підвищення ефективності бізнесу та сталого розвитку в умовах сучасної економіки

**Висновок.**

Автоматизація та цифрові технології відіграють ключову роль у сучасному управлінні електропостачанням, сприяючи підвищенню надійності, ефективності та стійкості енергетичних систем. Вони дозволяють оптимізувати роботу електромереж, забезпечуючи контроль і моніторинг у реальному часі, що зменшує ймовірність аварій та скорочує витрати. Завдяки цифровим рішенням стає можливою стабільна інтеграція відновлювальних джерел енергії, а також розвиток «розумних» мереж, які здатні адаптуватись до змін у споживанні та виробництві енергії. У майбутньому ці технології сприятимуть створенню більш гнучкої, екологічно чистої та економічно ефективної енергетичної інфраструктури, що відповідатиме зростаючим потребам суспільства.

Обґрунтовано, що автоматизація і цифрові технології в управлінні електропостачанням мають велике значення для розвитку ефективних, безпечних та надійних систем електропостачання, що відповідають сучасним викликам та тенденціям в енергетиці. Безпосередньо кожна система важлива і має свої переваги і недоліки.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. 268-269 с.

2. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія. А. П. Ладанюк.: Видавництво Ліра-К, 2016. 312с.

3. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. 122-124 с.

## РОЗВИТОК РОЗУМНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Носань С. В., асистент, e-mail: [serhii.nosan@tsatu.edu.ua](mailto:serhii.nosan@tsatu.edu.ua)

Іванов С. В., студент, e-mail: [ivanov.sv.zgac@gmail.com](mailto:ivanov.sv.zgac@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** Тема розвитку розумних мереж та їх впливу на електропостачання є надзвичайно актуальною в сучасному світі з кількох причин:

- Зростання попиту на електроенергію: Збільшення кількості електроприладів та електромобілів, а також розвиток енергоємних галузей промисловості призводять до стрімкого зростання споживання електроенергії.

- Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ): Активний розвиток сонячної, вітрової та інших видів ВДЕ вимагає створення гнучких та адаптивних енергосистем, якими є розумні мережі.

- Потреба у підвищенні енергоефективності: Зростання цін на енергоносії та загострення екологічних проблем стимулюють пошук шляхів підвищення енергоефективності.

- Цифрова трансформація: Розвиток цифрових технологій та Інтернету речей (ІоТ) створює нові можливості для оптимізації енергосистем.

- Забезпечення стабільності та надійності електропостачання: Розумні мережі дозволяють підвищити надійність електропостачання та швидше відновлювати систему після аварій.

Основні питання, які постають при дослідженні розвитку розумних мереж та їх впливу на електропостачання:

- Які технології лежать в основі розумних мереж? Які переваги та недоліки кожної з них?

- Як розумні мережі впливають на якість електроенергії, надійність електропостачання та економічну ефективність енергосистем?

- Які бар'єри існують для впровадження розумних мереж? Як їх подолати?

- Які перспективи розвитку розумних мереж в Україні та світі?

- Як розумні мережі можуть сприяти інтеграції відновлюваних джерел енергії та створенню енергетичних ринків?

- Які виклики пов'язані з кібербезпекою розумних мереж?

**Мета досліджень.** Всебічний аналіз концепції розумних мереж, їхньої структури, функціональних можливостей та впливу на електропостачання. Завдання дослідження полягає у виявленні переваг та недоліків розумних мереж, визначенні основних бар'єрів їх впровадження та розробці рекомендацій щодо подальшого розвитку розумних мереж в Україні.

**Основні матеріали досліджень.** Технологічна основа розумних мереж є ключовим фактором, який визначає їх функціональність, ефективність та масштабованість. Сучасні розумні мережі поєднують в собі широкий спектр технологій, які дозволяють збирати, обробляти та передавати великі обсяги даних в режимі реального часу.

Основні технологічні компоненти розумних мереж:

- Інтелектуальні лічильники: Ці прилади здатні збирати детальну інформацію про споживання електроенергії, включаючи час, потужність та якість електроенергії.

- Системи автоматичного керування: Забезпечують оптимізацію роботи мережі, регулювання потоку електроенергії та управління відновлюваними джерелами енергії.

- Комунікаційні мережі: Використовуються для передачі даних між різними елементами розумної мережі. Найбільш поширені технології:

- PLC (Power Line Communication): Передача даних по електричних лініях.
- Wi-Fi, Bluetooth: Бездротові технології для локальної передачі даних.



- LTE-M, NB-IoT: Спеціалізовані мобільні мережі для передачі даних з низькою швидкістю та низьким енергоспоживанням.
  - Системи зберігання енергії: Батареї, акумулятори та інші пристрої для зберігання надлишкової електроенергії та забезпечення стабільності мережі.
  - Інтеграція відновлюваних джерел енергії: Інвертори, контролери зарядки та інші пристрої, які дозволяють підключати сонячні панелі, вітрові турбіни та інші джерела відновлюваної енергії до мережі.
  - Системи управління розподіленими ресурсами: Забезпечують координацію роботи різних елементів розумної мережі, таких як електромобілі, теплові насоси та системи опалення.
  - Системи аналізу даних: Використовують методи машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних, отриманих з розумних мереж.
- Функціональні можливості розумних мереж, забезпечені технологіями:
- Моніторинг стану мережі: Реальний час моніторинг напруги, струму, частоти та інших параметрів мережі.
  - Оптимізація споживання енергії: Забезпечення ефективного використання енергії шляхом управління навантаженням та стимулювання споживачів до зміни поведінки.
  - Інтеграція відновлюваних джерел енергії: Підключення та ефективне використання відновлюваних джерел енергії.
  - Покращення якості електроенергії: Зменшення гармонік, флікеру та інших спотворень.
  - Підвищення надійності електропостачання: Швидке виявлення та усунення аварій.
  - Створення нових послуг: Розвиток нових енергетичних послуг, таких як зарядка електромобілів, агрегація попиту та управління енергоспоживанням.

Виклики та перспективи.

Незважаючи на значний прогрес, розвиток розумних мереж все ще стикається з низкою викликів:

- Кібербезпека: Захист розумних мереж від кібератак.
- Стандартизація: Необхідність розробки єдиних стандартів для різних елементів розумних мереж.
- Інвестиції: Значні інвестиції, необхідні для модернізації існуючих мереж.
- Регулювання: Створення відповідної нормативно-правової бази.

Перспективи розвитку розумних мереж пов'язані з подальшою інтеграцією відновлюваних джерел енергії, розвитком електромобільності, зростанням кількості підключених пристроїв та вдосконаленням систем штучного інтелекту.

**Висновок.** Розумні мережі є невід'ємною частиною майбутньої енергетичної системи. Для успішного їх розвитку необхідні спільні зусилля науковців, інженерів, політиків та бізнесу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гоголь А.П., Сидоренко М.В.. Використання відновлювальних джерел енергії в умовах розумних мереж. Енергетика України, 2019. 24-31с.
2. Українська енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/elektrychni-merezhi-stanut-rozumnymy>
3. Міжнародний портал з енергозбереження. URL: <https://patriot-nrg.com/uk/content/rozumni-energositymy>

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ  
НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Павлов А. О., інженер СК Монолит, e-mail: [andriy\\_pavlov@me.com](mailto:andriy_pavlov@me.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Мірошник О. О., д.т.н., проф., e-mail: [omiroshnyk@ukr.net](mailto:omiroshnyk@ukr.net)

Пазій В.Г., аспірант, e-mail: [pazziy@ukr.net](mailto:pazziy@ukr.net)

Середа А. І., к.т.н., доц., e-mail: [ais66@ukr.net](mailto:ais66@ukr.net)

**Актуальність дослідження.** В умовах воєнних дій в Україні насосні станції (НС) систем водопостачання є важливими об'єктами критичної інфраструктури, що забезпечують життєво важливі послуги для населення та промисловості. В умовах воєнного стану НС можуть стикатися з рядом суттєвих специфічних викликів та загроз, зокрема у питаннях забезпечення електроенергії: руйнування енергетичної інфраструктури, що може призвести до відключення насосів від електромережі; необхідність використання альтернативних джерел енергії або генераторів [1]. Найбільш перспективним альтернативним джерелом енергії є сонячні електростанції (СЕС), які можуть значно зменшити споживання електроенергії з централізованих мереж та забезпечити певну автономію систем водопостачання. Потужність СЕС для систем водопостачання залежить від об'ємів споживання води, схеми водопостачання, об'ємів резервуарів, режимів роботи насосних станцій та характеру водоспоживання.

**Мета дослідження.** Проведення дослідження впливу параметрів систем водопостачання на об'єми споживання електричної енергії насосними станціями з метою зменшення ними споживання електричної енергії з об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України за рахунок встановлення СЕС та визначення оптимальної потужності СЕС.

**Основні матеріали досліджень.** В існуючих системах водопостачання України витрати на подачу води (пов'язані з підтриманням робочого стану трубопроводів і оплату електроенергії) є головною складовою сумарних експлуатаційних витрат. У структурі собівартості чистої води, відпущеної споживачам, від 30 до 70 %, залежно від регіону і величини населеного пункту, припадає на вартість електроенергії, що витрачається на перекачування води насосними станціями [2]. Зокрема у КП «Водоканал» Мереф'янської міської ради вартість витрат на електроенергію складає 966,2 тис. грн при собівартості реалізованої продукції (води) 3232,5 тис. грн, тобто витрати на електроенергію складають 29,9 % [3] Вартість електричної енергії для підприємств постійно збільшується, так у вересні 2024 року вартість електроенергії на РДН становила 5,41 грн/кВт\*год [4], а з врахуванням цін на передачу та розподіл ціна електроенергії складала в залежності від регіону біля 9,5 грн/кВт\*год. Таким чином заміщення споживання об'ємів електричної енергії з ОЕС України за рахунок генерації СЕС є важливим питанням.

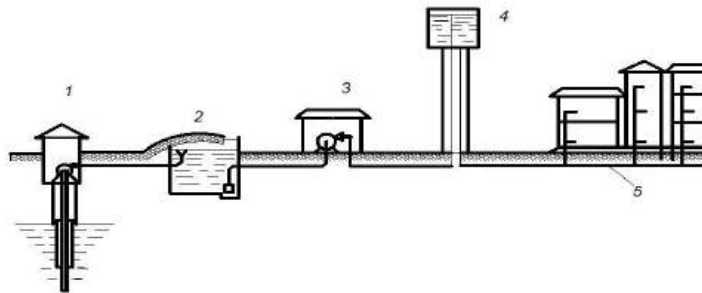
Для невеликих населених пунктів, як правило, використовуються артезіанські свердловини, які забезпечують високі санітарно-гігієнічні показники води. Для таких систем водопостачання характерна схема, яка складається із насосної станції (НС) 1-го підймання, резервуару чистої води, НС 2-го підймання, водонапірної башти (ВБ) та розподільної мережі (рис. 1). НС систем водопостачання повинні розраховуватися на подачу розрахункової витрати в добу найбільшого водоспоживання  $Q_{d,max}$ . В групових водопроводах при наявності резервуарів добового регулювання вони проектуються на пропускання середніх витрат  $Q_{d,сep.} = \alpha_1 Q_{d,max}$ , де  $\alpha_1 = 0,83...0,77$ . Режим роботи НС 1-го підняття повинні бути рівномірними протягом доби, для систем невеликої потужності такі станції можуть працювати за певними періодами часу, тобто 8, 12, 16 годин. Годинна подача насосів НС 1-го підняття визначається в залежності від максимального добового споживання та кількості годин роботи насосів  $q_c = Q_{d,max}/T$ .

Натиск насосів НС 1-го підняття визначається за формулою

$$H_{НС-1} = h_g + (Z - Z_0), \quad (1)$$

де  $h_g$  – втрати натиску у водоводах, м;

$Z$  і  $Z_0$  – відповідно відмітка максимального рівня у приймальному резервуарі та мінімального рівня води у свердловині, м.



**Рисунок 1 – Схема водопостачання з НС двох підіймань:**

**1 – НС 1-го підіймання; 2 – резервуар чистої води; 3 – НС 2-го підіймання;  
4 – водонапірна башта; 5 – розподільна мережа**

Режими роботи НС 2-го підіймання, яка живить водопровідну мережу, може бути одноступінчастим, з роботою протягом частини доби, або двоступінчастим з роботою максимального ступеня у години найбільшого водоспоживання (2-3 робочих насоси) і мінімального ступеня – в години незначного водоспоживання (1-2 насоси). Для забезпечення мінімального регульовального об'єму бака водонапірної башти необхідно щоб графіки роботи насосів були наближені до графіка водоспоживання. Годинна подача НС 2-го підіймання в добу максимального водоспоживання визначається в залежності від тривалості роботи насосів

$$q_{г.НС-2} = Q_{д.мах} / T_{НС-2}.$$

Розрахунковий натиск насосів НС 2-го підіймання, при визначенні потужності споживання, визначається за формулою

$$H_{НС-2} = h_{g2} + Z_1 + Z_2, \quad (2)$$

де  $h_{g2}$  – втрати натиску у водоводах від НС-1 до водонапірної башти, м;

$Z_1$  і  $Z_2$  – відповідно середні відмітки рівнів води у резервуарі чистої води та ВБ, м.

Вибір насосів НС 2-го підіймання здійснюється за максимальним напором, тобто при мінімальному рівні води у резервуарі чистої води і максимальному рівні у ВБ.

Об'єм резервуара чистої води визначається при суміщенні прийнятого режиму роботи НС 2-го підіймання та рівномірного режиму роботи НС 1-го підіймання. Наприклад, НС-І працює у рівномірному режимі. Тоді її годинна подача буде дорівнювати  $100/24 = 4,17$  % від добового водоспоживання. НС-ІІ, як правило, працює у ступеневому режимі, наприклад, НС-ІІ працює за ступеневим графіком і має продуктивність: від 21:00 до 7:00 – 2,84 %, а з 7 до 21 години – 5,12 % добового водоспоживання.

У якості водонапірної башти невеликих населених пунктів використовуються башти Рожновського, об'єми бака яких може бути 25, 50 та 75 м<sup>3</sup> [5].

В якості прикладу наведено розрахунок споживання електроенергії системою водопостачання за схемою зображеною на рис. 1 з добовим споживанням 100 м<sup>3</sup>. НС 1-го підіймання здійснює забір води з глибини 50 м і подає воду у резервуар чистої води на відстань 1000 м. Потрібний натиск насоса визначається за формулою 1. Втрати натиску залежать від діаметру трубопроводу та матеріалу з якого він виготовлений. Так економічно доцільною швидкістю руху води у напірному трубопроводі є швидкість від 1 до 2 м/с [6]. Для систем водопостачання доцільно використовувати поліетиленові труби, які мають найменший гідравлічний опір. В залежності від рекомендованої швидкості руху води у водоводі [6] проведемо розрахунок поліетиленової труби діаметром 75 мм, для якої втрати натиску на 100 м довжини трубопроводу складають 2,9 м [7]. Відповідно для трубопроводу довжиною 1 км втрати будуть становити 29 м. Тому натиск насоса повинен бути не менше 79 м.

З цими параметрами для водопостачання підходить насос ЕЦВ 6-16-80, який має подачу 16 м<sup>3</sup>/год, натиск 80 м і потужність приводного двигуна 9,5 кВт. Таким чином насос ЕЦВ 6-16-80 повинен працювати 6,25 години протягом доби. Порівнюючи характеристики насосів

ЕЦВ 6-16-80 і VSPT 400-19 фірми Vinar [8], видно, що потужність двигуна насоса VSPT 400-19 всього 5,5 кВт при тих же параметрах подачі і натиску. Таким чином краще вибрати насос VSPT 400-19, і відповідно, денне споживання електроенергії насосом VSPT 400-19 для подачі 100 м<sup>3</sup> води буде становити 34,4 кВт·год.

При визначенні потужності СЕС для часткового покриття електричної енергії, що споживається насосами системи водопостачання, необхідно враховувати, що тривалість сонячного дня для території України, при якій можлива генерація СЕС, змінюється від 12 годин у літні місяці до 6 годин у зимові місяці, прийmemo середньорічний період генерації СЕС 9 годин, а середньодобову тривалість роботи насосів НС 1-го підймання від СЕС протягом року 6 годин. Тоді насос повинен мати подачу не менше 16,67 м<sup>3</sup>/год.

Розрахунок насосів НС 2-го підймання виконується в залежності від параметрів башти Рожновського, розглянемо ВБР-25 з об'ємом води бака 25 м<sup>3</sup> [5]. Конструкція водонапірної вежі може виконуватися з висотою ствола 12 м і 15 м, розглянемо варіант висоти ствола 12 м. Тоді при висоті бака 5 м середня висота підймання води буде 14,5 м. При довжині трубопроводу від НС 2-го підймання до ВБР 100 м, втрати натиску будуть становити 2,9 м і необхідний натиск насоса повинен бути біля 17,4 м (формула 2). Для НС 2-го підймання широке використання мають консольні насоси, тому розглянемо варіант використання насоса КМ 50-32-125 [9], який має подачу 12,5 м<sup>3</sup>/год та натиск 20 м, потужність приводного двигуна 2,2 кВт. Таким чином для забезпечення необхідних об'ємів подачі води насос повинен працювати 8 годин і середньодобове споживання електричної енергії буде становити 17,6 кВт·год.

**Висновки.** Система водопостачання, яка складається із свердловини глибиною 50 м, насосної станції 1-го та 2-го підймання, водовода від НС 1-го підймання до НС 2-го підймання довжиною 1000 м, і який виготовлений із поліетиленової труби діаметром 75 мм, резервуара чистої води, водовода від НС 2-го підймання до водонапірної башти Рожновського довжиною 100 м та розподільних водопровідних мереж, і яка забезпечує добову подачу 100 м<sup>3</sup> води споживає за добу 50,6 кВт·год. Така кількість електроенергії може бути забезпечена СЕС певної потужності, яка повинна враховувати потенціал сонячної енергії у місцевості знаходження системи водопостачання.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кравчук, О., Андріященко, О., Левітін, В., Єремченко, Л., & Лаврухіна, К. (2024). Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. *Містобудування та територіальне планування*, (85), 268–276. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276>.
2. Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання / В. П. Розен, Н. В. Давиденко // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. - 2015. - № 4. - С. 79-86. URL: <http://surl.li/bwwinm>.
3. Про затвердження фінансового плану КП «ВОДОКАНАЛ» Мереф'янської міської ради на 2024 рік. URL: <http://surl.li/dfwoi>.
4. Аналіз РДН та ВДР. URL: <http://surl.li/zcltwl>.
5. Водонапірні башти Рожновського. URL: <https://sbk.ltd.ua/uk/vodonapirni-bashti.html>.
6. Орлов В.О., Зошук А.М. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання. Навч. посібник. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2005. – 252 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2249/1/622286%20zah.pdf>.
7. Як легко розрахувати напір і продуктивність насоса. URL: <https://sigma.ua/blog/stati/kak-legko-rasschitat-napor-i-proizvoditelnost-nasosa/>.
8. Вибір свердловинного насоса. URL: <http://surl.li/fjrun>.
9. Консольний насосний агрегат К 50-32-125. URL: <http://surl.li/uoxnng>.

## ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Печенюк А. В., доцент, e-mail: [anvaspe@meta.ua](mailto:anvaspe@meta.ua)  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження.** Енергетичне забезпечення є важливою складовою діяльності аграрного підприємства. Від ефективного проектування енергетичних об'єктів залежить стабільність та економічна ефективність виробничих процесів. У цій доповіді буде розглянуто основні принципи проектування енергетичних об'єктів аграрних підприємств, типові енергетичні об'єкти, технології використання відновлюваних джерел енергії, а також вимоги до безпеки та екологічності.

**Метою дослідження** було систематизація основних напрямів удосконалення процесу проектування енергетичних об'єктів на підприємствах аграрної сфери.

**Основні матеріали досліджень.** Серед основних етапів процесу проектування енергетичних об'єктів підприємств аграрної сфери слід виділити:

- оцінку потреб у енергії, – необхідно оцінити потрібні обсяги та тип енергії, які потрібні для забезпечення усіх виробничих процесів: електроенергія, тепло, вода, газ тощо. Оцінюються потреби в залежності від основних напрямів діяльності аграрного виробництва (тваринництво, рослинництво, переробка тощо) [1];

- аналіз доступних джерел енергії, – визначаються доступні джерела енергії в регіоні розташування підприємства. Це можуть бути як традиційні (газ, вугілля, електроенергія з центральних мереж), так і альтернативні джерела (сонячна, вітрова, біоенергетика) [2];

- вибір енергетичної стратегії, – фірма має визначитись, чи використовуватиме лише зовнішні джерела енергії, чи інвестуватиме в будівництво власних енергетичних об'єктів, таких як сонячні панелі, вітряні електростанції чи біогазові установки [3];

- розробка проекту, – на основі потреб і можливостей розробляється проект енергетичних об'єктів. Враховуються вимоги щодо безпеки, екологічності, енергоефективності та довговічності інфраструктури.

На особливу увагу заслуговує досягнення ефективного функціонування типових енергетичних об'єктів аграрних підприємств, адже вони є запорукою надійного забезпечення електроенергією, теплом, паливом та іншими енергоресурсами виробничих процесів у сільському господарстві [4].

Серед основних енергетичних об'єктів на аграрних підприємствах слід виділити:

- Електростанції – сонячні електростанції (фотоелектричні панелі); біогазові станції; вітрові електростанції; традиційні дизельні або бензинові генератори.

- Котельні та теплогенераційні установки – біомасові котли; газові або твердопаливні котли.

- Сховища для енергоресурсів – ємності для зберігання біомаси; паливні резервуари.

- Мережі розподілу електроенергії та тепла – внутрішні мережі для транспортування електроенергії до споживачів (заводи, ферми, склади); тепломережі для передачі тепла від котелень до місць споживання (теплиці, сушарки).

- Об'єкти енергозберігаючих технологій – теплові насоси; системи акумуляції енергії.

Ці об'єкти допомагають аграрним підприємствам зменшувати залежність від зовнішніх джерел енергії, підвищувати ефективність використання енергоресурсів та зменшувати негативний вплив на довкілля.

Вимоги до безпеки та екологічності виробництва в аграрній сфері спрямовані на забезпечення здоров'я працівників, безпеку продукції для споживачів, а також на мінімізацію негативного впливу на довкілля [6].

При проектуванні енергетичних об'єктів аграрного підприємства важливо дотримуватися наступних вимог:



– Безпека експлуатації, – всі об’єкти повинні відповідати стандартам безпеки, передбаченим чинним законодавством. Особлива увага приділяється пожежній безпеці та захисту персоналу від можливих аварій.

– Екологічність, – використання відновлюваних джерел енергії та екологічно чистих технологій дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Підприємства мають відповідати екологічним стандартам та мінімізувати викиди парникових газів.

– Енергоефективність, – сучасні проекти енергетичних об’єктів повинні бути спрямовані на максимальну ефективність використання енергоресурсів, що дозволяє зменшити витрати та підвищити конкурентоспроможність підприємства.

**Висновки.** Ефективне проектування енергетичних об’єктів аграрного підприємства є ключовим елементом для забезпечення безперебійної роботи виробничих процесів. Сучасні технології відновлюваної енергетики та енергоефективності дозволяють не лише знижувати енергетичні витрати, але й сприяють екологічній стійкості аграрного сектору.

Основні джерела енергії мають бути правильно підібрані та інтегровані у виробничий цикл, що дозволить підвищити ефективність роботи підприємства та зменшити його вплив на навколишнє середовище.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пархоμεць М. К. Градовий В. В. Особливості та показники формування системи енергозбереження сільськогосподарських підприємств. *Інноваційна економіка*. 2021. 34(87). С. 87-97.

2. Верховцев Ф. Сільськогосподарські джерела енергії. *Агробізнес сьогодні*. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8367-silskohospodarski-dzherela-enerhii.html>.

3. Іваненко В. Ф., Іваненко Ф. В. Енергетична стратегія підприємств аграрного виробництва. *Наукові інновації та передові технології*. 2023. №13(27). С. 507-517.

4. Чукаєва І. К. Енергетична інфраструктура – основна складова підвищення рівня економічної безпеки України: Економіко-правові проблеми господарювання. *Економіка та право*. 2011. №1(29). С. 51-56.

5. Вимоги щодо екологічності при проектуванні та будівництві: як уникнути поширених проблем. Ecobusiness Group. URL: <https://ecolog-ua.com/news/vymogy-shchodo-ekologichnosti-pry-proektuvanni-ta-budivnyctvi-yak-unyknuty-poshyrenyh-problem>.

6. Ремез Н. С., Дичко А. О., Гребенюк Т. В., Броницький В. О. Екологізація виробництва та зелені технології. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 209 с.

## АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ЕТАПІ ПРИЄДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ДО РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Погорельцева Ю. О., магістр, [Pogorelceva1234@gmail.com](mailto:Pogorelceva1234@gmail.com)

Трунова І. М., канд. техн., доцент, [trunova\\_iryana@btu.kharkov.ua](mailto:trunova_iryana@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

**Актуальність дослідження.** Забезпечення надійності електропостачання та якості електричної енергії є пріоритетним завданням Операторів систем розподілу. З цією метою, як правило, найбільшу увагу приділяють певним заходам на етапі проектування та експлуатації розподільних мереж. Однак існують можливості впливу на надійність електропостачання та якість електричної енергії на етапі приєднання нових електроустановок до розподільних мереж, що потребують аналізу та узагальнення.

**Метою досліджень** є розробка рекомендацій щодо забезпечення надійності електропостачання та якості електричної енергії на етапі приєднання нових електроустановок до розподільних мереж.

**Основні матеріали досліджень.** Для забезпечення якості електричної енергії та надійності електропостачання на етапі приєднання нових електроустановок споживачів до розподільних мереж необхідне виконання вимог нормативних документів. Насамперед, перевіряти виконання вимоги п. 4.1.3 Кодексу систем розподілу (КСР) [1] про те, що приєднання електроустановок до електричних мереж не має призводити до порушення нормативних вимог щодо надійності електропостачання та якості електричної енергії (ЯЕ) для користувачів.

При цьому, слід враховувати, що ця вимога КСР може бути виконана, зокрема, за умови врахування відповідних заходів у Технічних Умовах (ТУ) приєднання нових електроустановок користувачів в даній точці мережі електропостачання.

Розглянемо приклад стосовно обмеження перевищення струмів вищих гармонік внаслідок приєднання електроустановок з нелінійними характеристиками. В багатьох європейських країнах, користувач повинен надати документацію, де зазначається відповідність електроустановок технічним регламентам (ТР), зокрема, щодо електромагнітної сумісності, який передбачає, що електрообладнання має відповідати певним технічним стандартам. Технічний Регламент з електромагнітної сумісності обладнання існує і в Україні [2]. Також затверджений Кабінетом Міністрів України перелік національних стандартів для цілей застосування Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання. Наприклад, до цього переліку належать стандарти ДСТУ EN ІЕС 61000-3-2:2019 [3] та ДСТУ EN ІЕС 61000-3-12:2019 [4] з нормами максимально допустимих гармонійних складових струмів. Якщо з заявою про приєднання звертається користувач, у якого передбачається значна кількість обладнання, що є джерелами вищих гармонік, то у випадку, якщо це обладнання не відповідає вказаним у стандарті [3] або [4] вимогам щодо емісії гармонік (або у випадку, коли електромагнітне середовище у точці приєднання має досить високий рівень гармонійних складових струмів), то у розподільних мережах при приєднанні таких нових електроустановок сумарні струми вищих гармонік можуть перевищувати вимоги стандарту [5] та перешкоджати нормальному функціонуванню електроустановок інших користувачів, що чутливі до цього явища. При цьому, ОСР має контролювати показники ЯЕ відповідно до вимог КСР, відповідно, мати повну інформацію про електромагнітне середовище, в якому будуть працювати нові електроустановки та обчислювати ймовірний вплив нових електроустановок на дане електромагнітне середовище.

Що стосується надійності електропостачання, то також в ТУ оговорюються умови забезпечення надійності електропостачання споживача з заявленою категорією згідно з ПУЕ [6]. Як відомо, існують три категорії споживачів за надійністю електропостачання. При цьому, ринкові умови передбачають можливість забезпечення певного рівня надійності електропостачання для користувача за його заявою з відповідним обґрунтування певних умов

такого приєднання. В таблиці 1 зведений перелік нормативно-технічних документів, забезпечення виконання вимог яких має бути для підключення нових електроустановок.

**Таблиця 1. Перелік нормативно-технічних документів, забезпечення виконання вимог яких має бути для підключення нових електроустановок**

Показник якості електропостачання		Нормативно-технічні документи	Заходи для забезпечення надійності електропостачання та якості електричної енергії
Надійність електропостачання		ПУЕ [6]	Обґрунтування умов підключення споживача з заявленою категорією з надійності електропостачання
ЯЕ	зміни напруги	ДСТУ EN 50160 [5], КСР [1]	Обґрунтування умов підключення в даній точці мережі для забезпечення характеристик напруги в межах вимог стандарту
	небаланс напруг		
	несинусоїдність напруги	ДСТУ EN 50160 [5], КСР [1], ТР [2]	Перевірка відповідності обладнання ТР, обґрунтування умов підключення в даній точці мережі для забезпечення характеристик напруги в межах вимог стандарту
	коливання напруги		

Таким чином, розробка ТУ має бути спрямована на те, щоб забезпечувати приєднання нових потужностей без погіршення ЯЕ і надійності електропостачання, відповідні розрахунки мають обґрунтувати певні технічні рішення. Серед таких технічних рішень може бути збільшення перерізу проводів мережі електропостачання до точки приєднання; приєднання потужних електроустановок, пуск яких викликає коливання напруги, до окремої секції шин; побудова резервної лінії електропостачання; застосування фільтрів вищих гармонік тощо.

**Висновок.** Запропоновані рекомендації щодо забезпечення надійності електропостачання та ЯЕ на етапі приєднання нових електроустановок до розподільних мереж можуть бути корисними для фахівців, які розробляють ТУ приєднання нових електроустановок к розподільним мережам.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кодекс систем розподілу. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#n11> (дата звернення: 21.10.2024).
2. Технічний Регламент з електромагнітної сумісності обладнання. Офіційний сайт «Законодавство України» ВР України. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1077-2015-п#Text> (дата звернення 25.10.2024).
3. Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 3-2. Норми. Норми емісії гармонійних складників струму (обладнання із силою вхідного струму не більше ніж 16 А в одній фазі): ДСТУ EN IEC 61000-3-2:2019 (EN IEC 61000-3-2:2019, IDT; IEC 61000-3-2:2018, IDT). [Чинний з 1.09.2019] - К.: Держстандарт України, 2019. – 17 с.
4. Електромагнітна сумісність. Частина 3-12. Гранично допустимі рівні. Гранично допустимі рівні сили струму гармонік, створених обладнанням з номінальним вхідним струмом силою понад 16 А та до 75 А включно на фазу, підключеним до низьковольтних електропостачальних систем загальної призначеності: ДСТУ EN 61000-3-12:2017 (EN 61000-3-12:2011, IDT; IEC 61000-3-12:2011, IDT). [Чинний з 1.09.2019] - К.: Держстандарт України, 2019. – 19 с.
5. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2023 (EN 50160:2022, IDT). [Чинний з 8.12.2023] - К.: Держстандарт України, 2014. – 27 с.
6. Правила улаштування електроустановок. - Київ: Міненерговугілля України. 2017. - 617 с.

ДО ПИТАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГІБРИДНИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

Попадченко С. А., магістр, ст. викладач, e-mail: [svanp111@btu.kharkov.ua](mailto:svanp111@btu.kharkov.ua)

Дудніков С. М., к. т. н., доц., e-mail: [dydnikov@btu.kharkov.ua](mailto:dydnikov@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** В умовах виснаження світових запасів вуглеводневої сировини, посилення глобальних екологічних проблем та руйнування інфраструктури теплових і електричних мереж все більшого значення набуває розвиток альтернативної енергетики з розширенням використання відновлюваних джерел енергії. Розвиток та використання відновлюваних джерел енергії у світі стає безумовним фактором інноваційного розвитку[1]. Зокрема, веде до формування нової технологічної бази генерації електроенергії та тепла, підвищує енергоефективність електроенергетики, створює нові робочі місця, підвищує якість життя людей: покращуються екологічні умови, знижуються загрози техногенних катастроф. Впровадження відновлюваних джерел енергії - один із шляхів переходу економіки нашої країни на інноваційні і екологічно чисті технології для перебудови всієї енергосистеми країни..

**Мета досліджень.** Провести аналіз всіх видів накопичувачів енергії для подальшої розбудови гібридної системи електропостачання.

**Основні матеріали досліджень.** Переваги гібридних станцій суттєвіші при цілорічному використанні. В зимовий час основне виробництво електроенергії припадає на вітроелектричну установку, а влітку – на сонячні фотоелектричні модулі. Сонячні та вітрові енергетичні технології, екологічно чисті та доступні, можуть замінити або доповнити традиційні способи отримання енергії, пов'язані з використанням автономних генераторів. Останнє реалізується за допомогою гібридних енергоустановок (ГЕУ), що поєднують технології використання відновлюваних джерел енергії, дизель-генераторів, електронакопичувальних пристроїв та призначених для використання переважно для енергопостачання автономних споживачів.

Системи накопичення енергії (СНЕ) – надзвичайно перспективний сектор, який має величезний потенціал зростання не тільки електроенергетики, а й світової економіки в цілому. Його стрімкий розвиток зумовлений поширенням вітрових та сонячних відновлюваних джерел енергії, зменшенням вартості технологій та обладнання. [2]. Підвищити екологічну безпеку, ресурсо- та енергозбереження систем автономного енергопостачання можна не лише застосуванням ВДЕ, а й конвертацією ДВЗ на газове чи водневе паливо.

Надмірну енергію сонячних та вітрових генераторів можна використовувати для отримання горючих газів та водню, придатних для дизель-генераторних установок на автономних електростанціях. За оцінками, поява електролізних реакторів водню, придатних для встановлення, очікується не раніше, ніж через років 20—30 [2]. Накопичувачі енергії дозволяють узгодити графіки генерації і навантаження, забезпечуючи повне завантаження електростанції по фактичному значенню потоку сонячної або вітрової енергії.

Забезпечити стабільність енергопостачання при нестабільних джерелах енергії можна лише за допомогою накопичувачів енергії: індукційних, інерційних, електрохімічних, суперконденсаторів, паливних елементів та інших. Аналіз всіх існуючих альтернативних джерел енергії показав, що як основне джерело відновлюваної енергії на автономних електростанціях слід використовувати вітряні генератори, сонячні панелі, сонячні вакуумні колектори (для гарячого водопостачання та опалення). Але акумуляторні батареї при тривалих 2-3-кратних та пікових 5-7-кратних навантаженнях не зможуть забезпечити стійке електропостачання.

Для усунення цього недоліку необхідно застосовувати комбіновані накопичувачі енергії, до складу яких повинні входити іоністори (суперконденсатори, тобто конденсатори з подвійним електричним шаром) та електрохімічні акумуляторні батареї [3]. Ґрунтуючись на

аналізі різних характеристик накопичувачів енергії (НЕ) розглянули представлені відповідні галузі їх застосування, ефективність роботи, переваги та недоліки використання. Варто зазначити, що кожен тип накопичення енергії має власні переваги і недоліки, які обмежують область їх застосування. Ідеальне застосування СНЕ вимагає високих показників споживання/виробництва як енергії, так і потужності. Однак накопичувачі енергії обмежені або їхньою потужністю, або енергетичною ємністю. Таким чином оптимальною буде система з комбінацією двох або більше типів НЕ для формування гібридної СНЕ. [3].

Натрій-сірчані (NaS) НЕ використовуються для комерційної діяльності, коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) - 70-75 %, перевагами яких є висока ефективність і густина енергії, але мають високу вартість виробництва, переробки та потреби в натрії. Такі накопичувачі можна застосовувати для регулювання навантаження, перерозподілу пікового навантаження, для підвищення якості електроенергії, великомасштабного підключення ВДЕ до мережі.

Свинцево-кислотні НЕ використовуються для комерційної і демонстраційної діяльності, к. к. д. - 68-75 %, перевагами яких є низька вартість інвестицій, але мають низьку густину енергії. Застосовують НЕ для перерозподілу пікового навантаження, транспортування, зв'язку, забезпечення резервного енергопостачання.

Літій-іонні НЕ використовуються для комерційної і демонстраційної діяльності, к. к. д. становить 80-85 %. Перевагами їх є висока густина потужності і ефективність енергії, але недоліком є дорожнеча літію та необхідність його переробки. Область використання у всіх видах генерації, передавання та розподілення.

Металоповітряні НЕ використовуються для комерційної і демонстраційної діяльності, к. к. д. - 75-82 %. Перевагами їх є дуже висока густина енергії, тривалий строк експлуатації акумулятора. При цьому труднощі під час перезарядки та малий строк життя зарядки. Використовуються в крупних системах резервного живлення, в сонячній енергетиці та телекомунікаціях.

Проточний окислювально-відновлювальний НЕ, демонстраційний, к. к. д. - 75-85 %. Перевагами є надійність, довговічність, орієнтовані на промислове використання, можуть досягти практично необмеженої потужності, простота перезарядки. Та при всіх перевагах мають складність самої системи в порівнянні зі звичайними батареями, сильна залежність від температури навколишнього середовища, та невелика густина збереження енергії. Застосовують для регулювання та перерозподілення пікового навантаження, якості електроенергії, широкомасштабного підключення ВДЕ до мережі і т. д.

**Висновок.** Аналіз всіх видів накопичувачів енергії для подальшої розбудови гібридної системи електропостачання показав, що на даний момент найпоширенішим технологічним рішенням щодо збереження електричної енергії, що отримується від відновлюваних джерел, є способи акумуляторних батарей та конденсаторів. Вмикання накопичувачів в склад автономної електростанції дозволяє зменшити встановлену потужність генераторних, забезпечити їх високий коефіцієнт завантаження та скоротити витрати палива.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Попадченко С. А. Гібридні електричні мережі – необхідність та перспективи розвитку в Україні/ С. А. Попадченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка - Випуск 186 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.». Харків: ХНТУСГ, 2017.С.39-44.

2. D.A. Abdullaev, R.I. Isaev. Investigation of Economic Problems of using Hybrid Solar-Wind System in view of inflation impact. World Renewable Energy Congress X. Glasgow-Scotland, United Kingdom, 2008.

3. Степаненко В. П. Повышение энергоэффективности и ресурсосбережения рудничного электровозного транспорта // Вісник Криворізького національного університету. — 2016. — Вип. 42. — С. 20—25.



## ОСВІТНЯ КОМПОНЕНТА «ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА» ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Постернак І. М., к.т.н., доц., e-mail: [posternak.i@gmail.com](mailto:posternak.i@gmail.com)

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Ефективний розвиток держави неможливий без збалансованого мінімізованого споживання енергетичних ресурсів. Це обумовлено вичерпанням невідновлювальних природних ресурсів, ризиками при їх транспортуванні, відсутністю реальних альтернатив їх заміни. Світ у XXI столітті зіткнувся з новими проблемами, що є результатом діяльності людей. Скорочення природних запасів нафти і газу, постійне зростання їх у ціні призводить до порушення надійності функціонування промисловості, транспорту та інших галузей світового господарства. Одночасно поглиблюється проблема погіршення екологічної ситуації, що пов'язано зі збільшенням вмісту парникових газів. Висока енергомісткість валового внутрішнього продукту України, що майже у три рази перевищує середній рівень енергоемності країн світу, є наслідком суттєвого відставання галузей економіки від світових стандартів. При цьому Україна має один із найбільших у світі потенціал енергозбереження. Сучасний розвиток ринкової економіки висуває до кожного підприємства вимоги, пов'язані з раціональним використанням енергетичних ресурсів, зменшенням екологічного навантаження на довкілля, набуттям спроможності досягнення рентабельності і намічених цілей. Рівень конкурентоспроможності підприємств на внутрішньому і зовнішньому ринках, їх незалежність та рівень розвитку визначаються питомими показниками споживання енергії на одиницю виробленої продукції, а на рівні держави енергоемністю ВВП. В умовах енергетичної кризи зусилля вчених зосереджені на пошуку нових форм і методів формування енергоефективності та реалізації політики енергозбереження підприємств [1].

В Україні реалізується проєкт UKRENERGY, що підтримується Європейською Комісією – “Європейським виконавчим агентством з питань освіти і культури” (EACEA), в рамках програми Еразмус+, за напрямом KA2, спрямованим на підтримку “Розвитку потенціалу вищої освіти (CBHE)” в країнах-партнерах ЄС (ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2. Project ID101082898) [2,3]. З квітня 2023 року по березень 2026 року проєкт UKRENERGY досягатиме основної мети – сприяння підвищенню якості викладання та навчання в Україні шляхом створення інноваційних магістерських курсів з енергетичної стійкості в будівлях, відповідно до принципів Болонського процесу.

Конкретні цілі проєкту [3] зосереджені на:

*перше* – дізнатися про сучасні методи навчання в галузі енергетичної стійкості в будівлях відповідно до потреб ринку праці.

*друге* – підвищення кваліфікації викладацького складу, щоб спрямувати викладацьку пропозицію на вирішення проблем енергетики та ремонту будівель.

*третє* – поширення та заохочення знань щодо Європейської зеленої угоди та вимог, встановлених ЄС 2030.

Одним з етапів проєкту є курс *пеперідготовки «Енергоефективні будівлі»*, організований Словацьким технологічним університетом у Братиславі [4], спрямований на посилення гармонізації академічних підходів і залучення зацікавлених сторін для розробки нових курсів і надання можливості викладачам українських університетів зрозуміти та вивчити сучасні методи оцінювання та впровадження їх у навчальний процес. Результатом тренінгового курсу є те, що викладачі українських ЗВО ознайомились з новими методами викладання-навчання-оцінювання та впровадження їх у навчальний процес.

Для підготовки фахівців з енергоефективності та енергозбереження пропонується освітня компонента «Організація енергоефективного будівельного виробництва». Організація як функція управління [5], метою якої є формування керівної і керованої систем, а також зв'язків і відносин між ними, що забезпечують кооперування людей і знарядь праці з

найвищою ефективністю перебігу їх трудової діяльності. Особливість функції організації стосовно інших полягає в тому, що вона є єдиною функцією, яка забезпечує взаємозв'язок і підвищує ефективність всіх інших функцій управління.

**Таблиця 1. Перелік лекцій освітньої компоненти «Організація енергоефективного будівельного виробництва»**

1	Основні положення з організації будівельного виробництва. Будівництво в системі економіки України
2	Галузь будівництва та її організаційна структура.
3	Організаційно-правові основи управління будівельними організаціями. Організаційні структури управління будівельним виробництвом.
4	Організація проектування у будівництві
5	Підготовка будівельного виробництва. Документація з організації будівництва та виконання робіт
6	Організація потокового методу будівельного виробництва
7	Організація проектування об'єктів будівельного господарства. Будівельні генеральні плани
8	Стратегічне планування і програмування розвитку високотехнологічних науково-виробничих систем і потужних підприємств у промисловості та будівництві
9	Будівельна галузь і глобальне потепління. Україна як учасник процесів із попередження змін клімату
10	Сталий розвиток у будівництві. Оцінка життєвого циклу як ефективний засіб запобігання змінам клімату
11	Огляд вітчизняних нормативних основ для методики аналізу елементів життєвого циклу. Сертифікація і класифікація будівель за факторами життєвого циклу
12	Ключові положення норм щодо забезпечення збалансованого використання природних ресурсів при проектуванні споруд. Найвне програмне забезпечення для аналізу життєвого циклу будівель
13	Стратегії та сучасні інструменти реалізації проектів у будівництві
14	Існуючі моделі оцінки рішень та критеріїв життєвого циклу. Огляд баз даних екологічних параметрів будівельної продукції і процесів
15	Екологічна та економічна модель оцінки життєвого циклу
16	Можливості застосування регуляторних інструментів для підвищення екологічності та економічності будівель

Отже, в рамках функції управління – організація, зокрема енергоефективного будівельного виробництва пропонується розроблений навчально-методичний комплекс, теми лекцій з якого наведені в таблиці 1.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: *монографія*. Вінницький нац. технічний ун-т, 2014. 346с.

2. Innovative master courses supporting the improvement of the energy and carbon footprint of the Ukrainian building stock – UKRENERGY. *Веб-сайт odaba.edu.ua: Одеська державна академія будівництва та архітектури*. 26 червня 2024р. URL: <https://odaba.edu.ua/news/page2/842> (дата звернення: 28.10.2024).

3. Інноваційні магістерські курси, що сприяють покращенню енергетичного та вуглецевого сліду українського житлового фонду – E+UKRENERGY. *Веб-сайт ukrenergy-erasmusplus.eu: UKRENERGY project is co-funded by the European Union (EU) under the Erasmus+ Programme (Grant Agreement no. 101082898-2022)*. 26 червня 2024р. URL: <https://ukrenergy-erasmusplus.eu/uk> (дата звернення: 28.10.2024).

4. Intensive retraining course "Energy Efficient Buildings": програма курсу перепідготовки. м. Братислава, Словацька Республіка. 16 – 20 вересня 2024 р.; The Slovak University of Technology in Bratislava: STU, 2024. 9с.

5. Семенов Г. А. та інші. Організація і планування на підприємстві: *навчальний посібник*. К.: Центр навчальної літератури, 2006. 528с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У МЕРЕЖАХ 220-380 В  
ЗА УМОВ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ

Потапський П. В., к.т.н., доц., e-mail: [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua)  
Вусатий М. В., асистент, e-mail: [0611142015vys@gmail.com](mailto:0611142015vys@gmail.com)  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

**Актуальність дослідження.** В даний час весь паливно-енергетичний комплекс країни (електроенергетика, вугільна промисловість, видобуток і розподіл газу та відновлювані джерела енергії) знаходяться в складному становищі. Державна інспекція енергетичного нагляду України повідомила про те, що по всій країні спостерігається підвищення споживання електроенергії, у зв'язку з чим закликала громадян економно витрачати електрику. При цьому важливе місце займають заходи щодо зниження втрат електроенергії та її раціонального використання.

Аналіз проблеми несиметрії у сільських електричних мережах 0,38 кВ показав, що існуючі методи розрахунку показників несиметрії та втрат електроенергії у цих мережах не дозволяють встановити закономірності їх зміни від параметрів навантаження та мережі, провести аналіз втрат при різних режимах роботи електроприймачів і розробити найбільш ефективні способи та засоби зниження несиметрії та обумовлених нею втрат, тому що в цих методах несиметрія струмів у мережах враховується наближеними способами. Крім того, більшість наукових праць не розглядають проблему якості електричної енергії загалом.

**Метою роботи** є розвиток методів розрахунку втрат електроенергії у сільських електричних мережах напругою 380 В, спричинених наявністю навантажень з несиметричним характером.

**Основні матеріали досліджень.** Несиметрично завантажені фази в електричних мережах призводять до зростання втрат електроенергії, наслідком є зниження її якості. Нами проведено дослідження в реальних мережах на відхідних фідерах двох підстанцій 10/0,4 кВ, розташованих у сільській місцевості, що живлять споживачів (Кам'янець-Подільський РЕМ, АТ «Хмельницькобленерго»). Також дослідження проведені на установці в лабораторних умовах за допомогою електронного конструктора «Arduino». Виміри, що виконувались при існуючому положенні в мережі протягом тижня. При вимірах використовувалися лабораторні струмовимірники та вольтметри, а також лічильники.

В якості контрольованих показників були прийняті: пофазний погодинний вимір струмів, напруг на початку і в кінці ліній; пофазне та сумарне споживання активної енергії споживачами, підключеними до досліджуваної повітряної лінії, що відходить від трансформаторної підстанції (ТП), а також сумарна відпустка активної енергії з шин підстанції 10/0,4 кВ; коефіцієнт збільшення втрат потужності внаслідок нерівномірності навантаження фаз.

Несиметричне навантаження викликає додаткові втрати потужності, які можна пов'язати з коефіцієнтом несиметрії, який визначається за виразом (1), який теоретично може змінюватися від 0 до 1. Зауважимо, що  $K_H$  змінюється (Рис. 1) зі зміною навантаження.

$$\frac{\Delta P_{\text{нес}}}{\Delta P_c} = 1 + K_H^2 \left( 2 + 3 \frac{R_o}{R_{cp}} \right) \quad (1)$$

Тому необхідно пов'язати його з струмовим добовим графіком та визначити типовий коефіцієнт нерівномірності.

Визначено відносні технічні втрати за фідерами та загалом по ТП за досліджуваний період як різниця показань головного лічильника та сумарні показання лічильників усіх абонентів по ТП. Вона становила від 18,6% до 40,3%.

А різниця, розрахована за виразом (2):

$$W = K_{H/M} \cdot \Delta U_{max} \% \cdot \tau \quad (2)$$

Порівняння розрахункових відносних втрат електроенергії з експериментальними даними показали, що не враховуючи коефіцієнта несиметрії похибка становить до 51%, і з урахуванням до 6%, що прийнятно, враховуючи похибки лічильників.

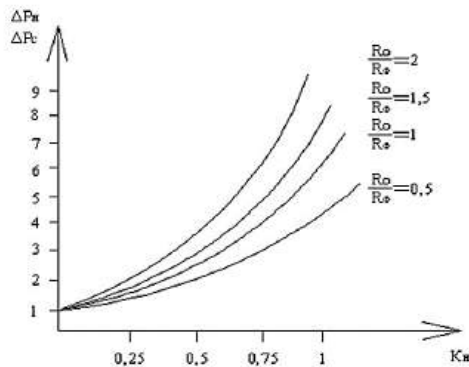


Рисунок 1 – Зміна коефіцієнта не симетрії у часі

Крім аналізу додаткових втрат через не симетрію, також розглянуто вплив опору нульового дроту зниження витрат енергії. Оскільки при симетричному навантаженні фаз ( $I_A=I_B=I_C$ ), то  $K_H = 0$  при несиметричному навантаженні фаз ( $I_A \neq I_B \neq I_C$ ) і  $0 < K_H < 1$ . У випадку включення всього навантаження одну фазу (граничний випадок не симетрії)  $K_H = 1$ . Результати вимірів струмів і напруги ТП 317 представлені на рис. 2.

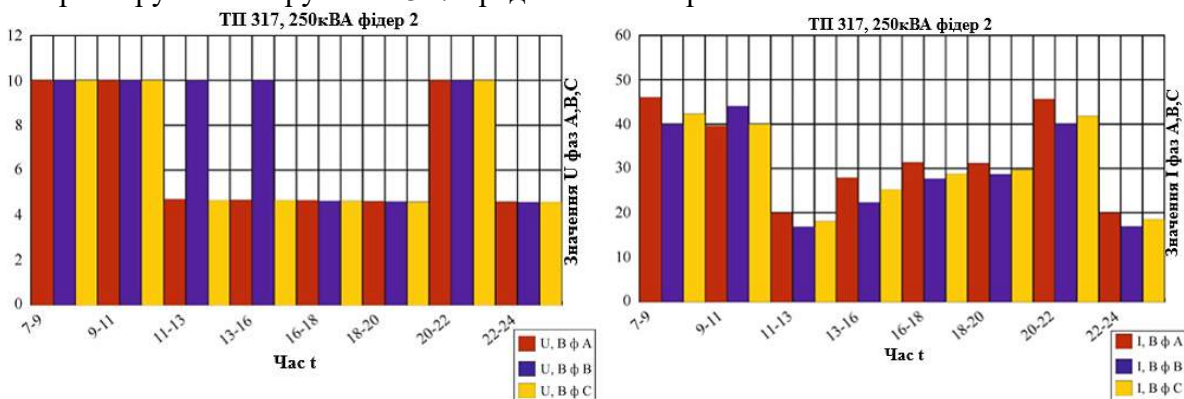


Рисунок 2 - Результати вимірів струмів та напруг ТП 317

**Висновок.** 1. У мережах 0,4 кВ із комунально-побутовими споживачами коефіцієнт нерівномірності фаз змінюється від 0 до 0,47, що збільшує втрати електроенергії до 2,1 разу, а в граничному випадку, коли  $K_{нес} = 1$ , до 6 разів. 2. Необхідно визначити експериментально за сезонами коефіцієнт несиметрії і типовий добовий графік для характерних споживачів. 3. Одним із заходів щодо зниження втрат електроенергії та підвищення її якості в електричних мережах 0,4 кВ визнати збільшення перерізу нульового дроту до величини, що дорівнює або навіть більше, ніж переріз фазного дроту. 4. Дослідження свідчать про вплив не симетрії зростання втрат електроенергії в електричних мережах.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського. URL: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua).
2. Вусатий М. В., Гарасимчук І. Д., Потапський П. В. Баланси електроенергії в електричних мережах. «CURRENT CHALLENGES OF SCIENS AND EDUCATION» for being an active participant in VIII International Scientific and Practical Conference, 08-10 April 2024.- BERLIN,- с.101.
3. Вусатий М. В., Панцир Ю. І., Гарасимчук І. Д., Потапський П. В. Підвищення надійності розподільчих електричних мереж. «SCIENCE AND TECHNOLOGY: PROBLEMS, PROSPECTS INNOVATIONS»: for being an active participant in IX International Scientific and Practical Conference, 19-21 October 2022.- OSAKA, Japan -с.64.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Решетняк Я. В., магістр, e-mail: [eee23-ya.reshetniak@nubip.edu.ua](mailto:eee23-ya.reshetniak@nubip.edu.ua)

Павленко В. М., к.т.н., доцент, e-mail: [v.pavlenko@nubip.edu.ua](mailto:v.pavlenko@nubip.edu.ua)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** В умовах сучасної енергетичної кризи та зростаючих екологічних вимог підвищення енергоефективності стає однією з головних цілей розвитку електроенергетики. Нестабільність енергоресурсів, загроза вичерпання традиційних джерел енергії та зростання вартості енергоносіїв стимулюють пошук рішень для зменшення енергетичних втрат та оптимізації ресурсів. Згідно з дослідженнями, в Україні трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ забезпечують живлення більшості побутових, комерційних та промислових споживачів. Однак через технічні недоліки та застаріле обладнання, значна частина енергії втрачається, що сприяє підвищенню вартості кінцевої електроенергії для споживачів. З огляду на зростаючі навантаження на мережі та обмеженість енергоресурсів, підвищення енергоефективності роботи цих підстанцій набуває особливої актуальності.

**Мета досліджень.** Використання сучасних підходів, методів та засобів підвищення енергоефективності для зменшення втрат енергії в системах електропостачання. Дослідження включає в себе оцінку впливу різних технічних рішень на ефективність роботи трансформаторних підстанцій та обґрунтування найефективніших методів для досягнення енергозберігаючих цілей.

### **Основні матеріали досліджень.**

Оптимізація системи охолодження трансформаторних підстанцій. Один із перших кроків у підвищенні енергоефективності полягає у впровадженні сучасних систем охолодження, які запобігають перегріву обладнання. Наприклад, автоматизовані системи охолодження, що використовують масло або воду, дозволяють регулювати температуру трансформаторів залежно від рівня навантаження, забезпечуючи стабільну та надійну роботу трансформаторів у будь-яких умовах. Автоматизація процесу охолодження знижує ймовірність людських помилок і сприяє підтриманню оптимальних температурних режимів упродовж усього періоду експлуатації трансформаторної підстанції.

Одним із ефективних рішень у цьому напрямку є використання сонячних панелей як покрівельного шару над підстанцією забезпечує кілька переваг. По-перше, панелі виступають у ролі тінювого екрану, блокуючи пряме сонячне світло, яке підвищує температуру корпусу трансформаторів. Це сприяє зменшенню теплового навантаження на обладнання, що знижує ризик його перегріву, поліпшує стабільність роботи і продовжує термін служби. По-друге, вироблена сонячними панелями електроенергія може бути спрямована на живлення допоміжних систем підстанції, таких як система охолодження чи освітлення, що дозволяє зменшити загальне навантаження на енергосистему.

Така подвійна функція панелей — генерація енергії та зниження температурного впливу — стає особливо корисною в спекотний період, коли перегрів обладнання може призвести до значних втрат енергії і вимагає додаткових витрат на активне охолодження.

Оптимізація перерізу проводів. Наступним важливим аспектом підвищення енергоефективності є зміна перерізу проводів у мережах електропостачання. Використання проводів з оптимальним перерізом дозволяє зменшити електричний опір, що своєю чергою знижує втрати енергії в лініях електропередач. Це особливо актуально для довгих ліній, де втрати енергії можуть бути значними. Наприклад, використання проводів із більшим перерізом сприяє кращому збереженню енергії, хоча і може вимагати більших початкових витрат на встановлення. Проте в довгостроковій перспективі такий підхід допомагає



зменшити експлуатаційні витрати та підтримувати стабільний рівень напруги на виході трансформаторної підстанції, що важливо для чутливих споживачів.

Перехід на трифазну систему живлення. Використання трифазної системи є більш енергоефективним у порівнянні з однофазною системою, яка зазвичай застосовується для живлення малих побутових споживачів. Трифазна система забезпечує більш рівномірне розподілення навантаження, що дозволяє зменшити втрати енергії на передачу та розподіл. Трифазна система також забезпечує ефективніше використання проводів, знижуючи витрати на нагрівання і зменшуючи витрати на підтримання системи. Це дозволяє значно підвищити рівень надійності та енергоефективності електромережі в цілому.

Інтеграція Smart Grid технологій. Технології Smart Grid дозволяють інтегрувати відновлювальні джерела енергії, зокрема сонячні панелі та вітряки, а також забезпечувати двосторонній потік енергії між мережею та споживачем. Така система дозволяє керувати споживанням енергії в режимі реального часу, оптимізуючи навантаження на мережу та зменшуючи втрати під час передачі енергії. Крім того, Smart Grid технології полегшують облік і моніторинг споживання.

Компенсація реактивної потужності. Для зменшення навантаження на трансформатори та підвищення пропускної здатності мережі необхідно встановлювати конденсатори та активні фільтри для компенсації реактивної потужності. Компенсація дозволяє знизити рівень реактивної складової струму, що своєю чергою зменшує втрати енергії на передачу та покращує загальну енергоефективність. Наприклад, підключення конденсаторних батарей у вузлах розподілу електроенергії може значно знизити рівень реактивної потужності та оптимізувати використання активної потужності трансформаторів.

Нехтування змінами коефіцієнта потужності. Одним із аспектів, що може допомогти знизити втрати енергії, є нехтування змінами коефіцієнта потужності під час розрахунків у мережах з рівнем напруги середньої категорії. В умовах, коли навантаження на мережі знижено, наприклад, у сільських районах, коефіцієнт потужності часто значно нижчий за розрахунковий. Це збільшує втрати потужності через реактивну складову. Внесення змін до розрахунків дозволить зменшити вплив цього фактора та підвищити точність оцінки втрат енергії.

**Висновок.** Впровадження сучасних технологій у трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ є критично важливим для підвищення енергоефективності систем електропостачання. Це не лише знижує втрати енергії, але й покращує якість постачання електроенергії, що є важливим аспектом для стабільної роботи сучасних електричних мереж. Розробка стратегій для оптимізації використання енергоресурсів на рівні трансформаторних підстанцій є важливим кроком у забезпеченні стабільного та економічного постачання електроенергії. Інтеграція таких змін у проектування і модернізацію електричних мереж забезпечить стабільність.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В. М. Гаряжа, А. О. Карюк «ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ». URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/154806434> (дата звернення: 26.10.2024)
2. Управління режимами роботи електричних мереж ЛВ Мартинюк, АВ Петренко, АО Омельчук - 2021 - ЦП" Компринт"
3. V. Kozyrskiy, A. Petrenko, M. Trehub, Y. Charyev, "Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions", ch009, Pages: 197- 228, 2019. DOI: [10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009](https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009).
4. Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай – Енергоефективність систем електропостачання з напівпровідниковими перетворювачами електроенергії. URL: [https://eprints.kname.edu.ua/50205/1/2018%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%205%D0%9C%D0%9D%20mono\\_06](https://eprints.kname.edu.ua/50205/1/2018%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%205%D0%9C%D0%9D%20mono_06) (дата звернення: 26.10.2024).

ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ПРИСТРІЙ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Рибалка І. А., магістр, e-mail: [Ilia.artex.2533@gmail.com](mailto:Ilia.artex.2533@gmail.com)

Середа А. І., канд. техн., доцент, e-mail: [ais66@btu.kharkov.ua](mailto:ais66@btu.kharkov.ua)

Дудніков С. М., канд. техн., доцент, e-mail: [dydnikov@btu.kharkov.ua](mailto:dydnikov@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна)

**Актуальність дослідження.** В даний час джерела реактивної потужності широко використовуються в телекомунікаційних об'єктах з обмотками (електродвигунами, трансформаторами і т.д.) в конструкції. Щоб керувати цими джерелами, необхідно ввести нові технічні засоби та елементи, включаючи мікропроцесорні блоки.

Комбіноване керування джерелами реактивної потужності та регулюванням напруги за допомогою мікропроцесорного блоку електричних приймачів телекомунікаційних об'єктів виявляється технічно та економічним не тільки для джерел реактивної потужності, але й для зниження трансформаторів системи електроживлення.

**Метою досліджень** є одним з основних питань, пов'язаних з підвищенням якості електроенергії в мережах, вирішуваних як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації систем промислового електропостачання, є питання про компенсацію реактивної потужності, що включає вибір доцільних джерел, розрахунок та регулювання їх потужності, розміщення джерел у системі електропостачання.

Приймачі та перетворювачі електроенергії, що мають у конструкції обмотки (силові перетворювачі, трансформатори, електродвигуни та ін), споживають не тільки активну потужність, але і реактивну. При передачі електроенергії електричними мережами системи електропостачання (СЕС) джерел реактивної потужності (ІРМ), у них виникають втрати активної потужності, за які розплачується споживач.

Додатковою платою за електроенергію є установка в електричній мережі ІРМ [1–2]. мережі СЕС конденсаторних батарей – ІРМ високої (ВКБ) та низької (НКБ) напруги [3]. Як показав проведений аналіз, втрати електроенергії в СК, зумовлені генерацією ними РМ, мінімальні під час роботи електроприймачів із невеликим споживанням РМ.

Зростання вироблення РМ супроводжується різким зростанням втрат електроенергії, що нагрівають насамперед вузлів СК. Дослідження також показали, що використання на низьковольтних СК будь-якої потужності, а також високовольтних КС потужністю нижче 1600 кВт неекономічне [3].

Слід зауважити, що навіть при надмірній РМ потужних високовольтних КС та генераторів, що дозволяє дотримати договірні параметри з постачальником електроенергії, споживач не застраховано від невиправданих втрат останньої.

Зауваження характерне особливо для електричних навантажень, що володіють протяжними електричними мережами з високою напругою та великою кількістю знижувальних силових трансформаторів (Т) 10(6)/0,4 кВ об'єктів СЕС.

**Основні матеріали досліджень.** Як показало досвід експлуатації електричних мереж та електроприймачів об'єктів СЕС, косинусні конденсаторні установки для них є більш поширеними ІРМ. Потужність джерела реактивної електроенергії пропорційна квадрату напруги, частоті та його ємності [2, ]:

$$Q_k = U^2 \cdot \omega \cdot C, \quad (1)$$

де:  $Q_k$  - реактивна потужність конденсаторної установки;

U - напруга електричної мережі ТК;

$\omega$  - кутова частота;

C - ємність конденсаторної установки

Застосування вбудованих мікроЕОМ в блоці мікропроцесорного комбінованого автоматичного управління джерелами реактивної потужності дає можливість знизити шкоду від ушкодження електротехнічного і електроенергетичного обладнання і підвищити якість виробленої електроенергії.

Визначимо додаткові втрати активної потужності  $\Delta P$  у трансформаторі (Т) та кабельних лініях (КЛ) СЕС завдовжки 400 м перетином 50 мм<sup>2</sup>. Допустимо, до встановлення НКБ на об'єкті СЕС є електричне навантаження:  $P = 700$  кВт,  $Q1 = 500$  кВАр,  $S1 = 860$  кВА, коефіцієнт завантаження  $1$  0,86,  $\Sigma K =$  час максимальних втрат електроенергії:  $= 5000$  год. Після встановлення НКБ навантаження об'єкта СЕС матиме такі значення:  $Q2 = 100$  кВАр,  $S2 = 707$  кВА,  $K32 = 0,707$ .

Схема з'єднання мікропроцесорного блоку комбінованого управління (МПБО) ІРМ реалізована на основі мікро ЕОМ. Розроблений алгоритм та методика розрахунку техніко-економічних показників застосування МПБО у схемах застосування ІРМ дає песимістичний термін окупності використання ІРМ.

В об'єктах СЕС. Отримане значення терміну окупності, за рахунок покращення якості електроенергії — забезпечення номінальної напруги у вузлах електро споживання об'єктів СЕС (тобто збільшення терміну служби електрообладнання, скорочення втрат потужності в електричних мережах та ін.), реально виявляється меншим ніж у його нормативного значення (Струм норм = 8 років) [2].

Розроблений алгоритм та методика розрахунку техніко-економічних показників застосування МПБО у схемах застосування ІРМ дає термін окупності використання ІРМ в об'єктах СЕС.

1. Питома вартість ВКБ виявляється вдвічі меншою, ніж НКБ. Однак постійна складова витрат для ВКБ виявляється вищою за рахунок більшої вартості підключення їх до електричних мереж об'єктів СЕС.

2. Параметри регульованої НКБ - кількість і потужність ступенів регулювання, потужність нерегульованої частини - визначаються добовим графіком споживання РМ електро приймачами.

3. Комбіноване управління джерел реактивної потужності та регулювання напруги за допомогою ІРМ виявляється ефективним тільки для НКБ, що включаються за великим індуктивним опором знижувальних трансформаторів об'єктів СЕС.

4. Для зміни напруги на один відсоток від номінального значення необхідно за трансформатором 1000 кВА змінити РМ на 180 кВАр, за трансформатором 1600 кВА – 240 кВАр, за кабельною лінією 0,38 кВ довжиною 100 м – 240 кВАр, за кабельною лінією кВ довжиною 1000 м - 12500 кВАр.

**Висновок.** На основі виконаного розрахунку та проведені дослідження можна зробити висновок про те, що запропонована методика вибору та застосування джерел реактивної потужності та мікропроцесорне комбіноване управління ними дозволяє на 28,7% зменшити термін окупності впровадженій технології та елементів управління споживанням реактивної потужності та підвищується ефективність енергозберігаючих заходів, що здійснюються в об'єктах СЕС. У зв'язку з цим можна зробити висновок, що широке застосування джерел реактивної потужності та мікропроцесорного комбінованого управління ними на об'єктах СЕС підприємств є вирішенням актуального завдання електропостачання та перспективною тенденцією розвитку енерго та ресурсозберігаючих технологій.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бороденко В. А. Ресурсозбереження як головний принцип створення пристроїв автоматики енергосистем/ Вестник НИА РК. М., — 2009. — № 2. — 12 с.

2. Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E., Nabe A., Kadirov T. M., Siddikov I. Kh., Energy Management raining in Uzbekistan / ThefinalreportoftheProjectECTJEP-10328–97. TU — Berlin (Germany), TEI -Athens (Athens, Greece), TashGTU , 2011. — 234 p.

## ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ОСВІТЛЕННЯМ

Ткаченко І. І., магістр, e-mail: [igor.tkachenko@kname.edu.ua](mailto:igor.tkachenko@kname.edu.ua)

Герасименко В. А., к.т.н., доц., e-mail: [vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua](mailto:vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

**Актуальність дослідження.** Інноваційні технології, які активно інтегруються у сфери міського розвитку, інфраструктури та побутового середовища, також поширюються на управління освітленням, змінюючи підхід до проектування, монтажу та контролю світлотехнічних рішень. Основна мета впровадження таких технологій – досягнення енергоефективності, економії ресурсів, покращення якості життя та підвищення рівня безпеки у міському середовищі. Оскільки освітлення є основним фактором у комфорті житлових і робочих приміщень, питання інноваційного підходу до його управління є надзвичайно актуальним.

Однією з важливих причин актуальності впровадження інноваційних технологій в управлінні освітленням є глобальна тенденція до енергозбереження та екологічної безпеки. У багатьох країнах впроваджуються закони і регламенти, що сприяють зменшенню енергоспоживання, і сучасні системи освітлення відіграють важливу роль у виконанні цих вимог. За даними Міжнародної енергетичної агенції, на освітлення припадає близько 15% глобального електроспоживання [1]. Впровадження інтелектуальних систем керування дозволяє значно знизити витрати, оскільки такі системи здатні оптимізувати рівень освітлення залежно від часу доби, наявності людей у приміщенні або вулиці, і навіть враховувати кліматичні умови. Завдяки використанню сенсорів, інтернету речей (IoT) та програмного забезпечення, що обробляє дані в режимі реального часу, сучасні системи освітлення досягають високої адаптивності та ефективності.

**Основні матеріали досліджень.** Сучасні матеріали, що використовуються в системах освітлення, також сприяють зменшенню витрат енергії та забезпечують якість освітлення. Світлодіодні (LED) технології стали популярними через їхню довговічність, низьке енергоспоживання та можливість регулювати інтенсивність й колір світла. LED-освітлення є основним матеріалом для сучасних інтелектуальних систем, оскільки воно забезпечує можливість миттєвої зміни характеристик освітлення за допомогою цифрового управління. Крім того, світлодіодні джерела світла значно менше нагріваються, що позитивно впливає на експлуатаційні витрати та екологічну безпеку. На додаток до світлодіодних матеріалів, у сфері освітлення активно використовуються також органічні світлодіоди (OLED), які забезпечують рівномірне м'яке освітлення та дозволяють досягати естетичного ефекту в інтер'єрі.

Системи управління освітленням сьогодні часто оснащуються технологіями штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, що надає їм здатність до самонавчання та автоматичної адаптації. Використовуючи великі масиви даних, системи освітлення з ШІ здатні аналізувати попередню поведінку користувачів, налаштовуючи оптимальні режими освітлення для кожного конкретного випадку. Наприклад, у міських умовах такі системи можуть регулювати рівень освітлення залежно від щільності руху на вулицях, погодних умов чи часу доби, знижуючи освітлення у менш активні періоди. Це не лише знижує витрати енергії, але й позитивно впливає на загальне споживання ресурсів у масштабах міста. Використання ШІ в управлінні освітленням також забезпечує можливість віддаленого контролю та моніторингу, що стає особливо важливим для великих підприємств та муніципалітетів.

Окрім економічних та екологічних переваг, інноваційні системи освітлення забезпечують покращення умов життя та безпеки. Дослідження показують [2], що правильно налаштоване освітлення сприяє зниженню рівня стресу та покращує продуктивність праці. Особливо важливим це стає у громадських місцях, наприклад, у медичних установах, де рівень освітлення може змінюватися залежно від потреб персоналу та пацієнтів. У містах правильно

сплановане освітлення підвищує рівень безпеки на вулицях, знижує рівень кримінальних злочинів та створює комфортне середовище для жителів.

Інноваційні технології також дають можливість управляти освітленням через мобільні додатки або спеціальні панелі керування, що забезпечує зручність та інтуїтивність у використанні [3-4]. В епоху розумних міст такі технології стають основою для побудови ефективної інфраструктури, оскільки дають можливість інтегрувати різні системи міського управління в єдину екосистему. Система освітлення може бути синхронізована з транспортною системою, щоб забезпечити необхідний рівень освітлення на зупинках громадського транспорту або на перехрестях. Це не лише покращує безпеку руху, але й сприяє економії енергії завдяки точному налаштуванню рівня освітлення у певних зонах.

Виклики, з якими стикаються під час впровадження таких технологій, включають високу початкову вартість обладнання, необхідність у технічному обслуговуванні та періодичних оновленнях програмного забезпечення. Крім того, існує проблема сумісності між різними компонентами інноваційних систем освітлення, оскільки вони можуть бути вироблені різними виробниками. Проте попит на інтелектуальні системи зростає, що стимулює розвиток стандартів сумісності та знижує загальну вартість таких рішень.

**Висновок.** Впровадження інноваційних технологій в управління освітленням відкриває нові перспективи у розвитку міської та побутової інфраструктури, сприяє енергоефективності, покращенню якості життя і підвищенню рівня безпеки. Використання інтелектуальних систем освітлення з ШІ, світлодіодних матеріалів та технологій IoT дозволяє оптимізувати витрати енергії, підвищити зручність користування та адаптивність освітлення залежно від потреб користувачів. У майбутньому інноваційні технології в управлінні освітленням стануть невід'ємною частиною розумних міст та сприятимуть сталому розвитку міської інфраструктури. Це є не лише актуальним трендом, а й необхідністю для забезпечення сталого розвитку та відповідального споживання ресурсів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. World Energy Outlook [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
2. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення: навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
3. Marco Schwartz. Smart Home Automation with Arduino. 2018. 102 p.
4. Davila J. The Impact of Artificial Intelligence (AI) in LED Lighting / J. Davila // ISSUU from designing lighting. – April 2021.



## РЕКОНСТРУКЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ДЛЯ ОСВІТНІХ І НАУКОВИХ УСТАНОВ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ткаченко М.В., магістрант, e-mail: [eee23-m.tkachenko@nubip.edu.ua](mailto:eee23-m.tkachenko@nubip.edu.ua)

Павленко В.М., к.т.н., доцент, e-mail: [v.pavlenko@nubip.edu.ua](mailto:v.pavlenko@nubip.edu.ua)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Енергетична інфраструктура змінює ключову роль у забезпеченні стабільності та безперервності освітніх і наукових процесів у великих установах. Сучасні тенденції у розвитку енергетики та зростаючі вимоги до ефективності й надійності електропостачання забезпечують реконструкцію застарілих трансформаторних підстанцій необхідними умовами для підвищення енергоефективності та зниження ризиків відмов у роботі обладнання.

Реконструкція трансформаторної підстанції, яка працює на напругу 10/0,4 кВ, має значний вплив на якість подачі електроенергії. Одним із головних завдань реконструкції є забезпечення стабільної подачі електроенергії без перебоїв та перевантажень, що є важливою умовою для нормального функціонування всіх навчальних і наукових процесів університетів.

Реконструкція обладнання, зокрема заміна старих трансформаторів, комутаційної апаратури та системи захисту, значно підвищить якість електропостачання. Завдяки новим енергоефективним технологіям університет може забезпечити стабільну напругу в мережі, убезпечити втрату енергії та підвищити загальну ефективність роботи енергетичних систем, що також сприяє зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню економічності використання нового обладнання.

Особливу увагу слід приділити впровадженню автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Система дає можливість у реальному часі контролювати моніторинг споживання електроенергії та контролювати її якісні параметри. Завдяки АСКОЕ з'являється можливість оперативно реагувати на зміни навантаження мережі, швидко виявляти та усувати проблеми, які можуть призвести до втрати енергії або аварійних ситуацій. Система автоматизованого диспетчерського керування дозволяє централізовано керувати роботою підстанції, що значно підвищує ефективність управління енергетичними ресурсами та забезпечує швидке реагування при будь-яких порушеннях у робочій мережі.

Завдяки цим змінам трансформаторної підстанції не тільки підвищиться надійність подачі електроенергії, але й відкривається можливість оптимізації її споживання, що призведе до довгострокової економії ресурсів і покращення загального рівня енергоефективності.

**Мета дослідження.** Основною метою даного дослідження є розроблення комплексного проекту реконструкції трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. Реконструкція спрямована на заміну старого обладнання новими енергоефективними компонентами, що дозволяє значно підвищити якість та надійність електропостачання, а також знизити рівень втрати електроенергії. Важливою складовою цього процесу є впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії та системи диспетчерського обліку, які забезпечують можливість оперативного моніторингу та управління енергетичними процесами в режимі реального часу. Прийняті рішення дозволяють не лише підвищити стабільність електропостачання, але й зменшити його витрати на обслуговування та експлуатацію.

**Основні матеріали дослідження.** Для розроблення проекту реконструкції, проведено детальну технічну оцінку поточного стану трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. Це дозволило визначити основні проблемні місця та виявити зношені компоненти обладнання, які потребують заміни або модернізації [1]. Такий аналіз охопив як оцінку фізичного стану обладнання (трансформатори, комутаційні апарати, системи захисту), так і його відповідність сучасним вимогам з енергоефективності та безпеки. Технічна оцінка також включає аналіз можливих аварійних ситуацій та оцінку їхнього впливу на роботу мережі закладу вищої освіти.

В результаті аналізу з'ясувалося, що застаріле обладнання не тільки потребує постійного обслуговування, що підвищує експлуатаційні витрати, але й є менш енергоефективним [2]. Тому наступним кроком було обґрунтування необхідності заміни старих силових трансформаторів, комутаційної апаратури та систем захисту на сучасні пристрої, які відповідають вимогам сьогодення. Це обладнання дозволило зменшити втрати електроенергії та знизити ризики виникнення аварійних ситуацій. Нові енергоефективні трансформатори мають менші втрати під час роботи, що сприяє зниженню загальних витрат на електроенергію. Окрім цього, сучасні системи захисту та комутаційні апарати забезпечують вищий рівень надійності й безпеки експлуатації підстанції.

Важливою частиною реконструкції є впровадження АСКОЕ та системи диспетчерського керування, які дозволять значно підвищити рівень контролю за споживанням електроенергії та забезпечити ефективне управління підстанцією. АСКОЕ надає можливість точного моніторингу витрат електроенергії в режимі реального часу, що допомагає оптимізувати споживання ресурсів та знизити втрати електроенергії. Диспетчерська система, в свою чергу, дозволила оперативно реагувати на зміни в роботі підстанції, уникати аварійних ситуацій та своєчасно здійснювати заходи з відновлення нормальної роботи обладнання. Це сприяє зниженню простоїв обладнання і підвищенню стабільності електропостачання. [3]

На завершальному етапі проекту проведено детальну оцінку економічної та технічної ефективності реалізованих заходів. Це включило аналіз зниження витрат на експлуатацію, оцінку зменшення втрат електроенергії, а також підвищення стабільності та надійності електропостачання. Впровадження АСКОЕ дозволило більш ефективно управляти енергетичними ресурсами, що в довгостроковій перспективі приведе до значної економії коштів, що витрачається на спожиту електроенергію [4]. Додатково, нове обладнання потребуватиме менше технічного обслуговування, що також сприятиме зменшенню витрат. Проведення комплексної оцінки дозволить підтвердити доцільність реконструкції та обґрунтувати можливість масштабування цього підходу на інші об'єкти такого рівня. [5]

**Висновок.** Реконструкція трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ з впровадженням сучасних енергоефективних технологій та автоматизованої системи управління є кроком для забезпечення стабільності та надійності електропостачання. Завдяки реконструкції обладнання та впровадженню автоматизованих рішень, університет отримав значні економічні та технологічні переваги, зокрема зниження витрат електроенергії, зменшення витрат на обслуговування та підвищення оперативності управління мережею. Успішна реалізація проекту створить можливості для подальшого вдосконалення енергетичної інфраструктури університету та зниження витрат на електроенергію в довгостроковій перспективі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гур'єв С. О., Хрящев О. О. Модернізація трансформаторних підстанцій для забезпечення стабільності енергопостачання в умовах зростання енергетичних навантажень. Електроенергетика та електротехніка, 2018.
2. Попов В. Є., Коваленко М. П. Енергоефективність та економічні аспекти модернізації електромереж. Журнал "Енергетика і електрифікація", 2019.
3. Пасічник О. Е., Шматов С. А. Розробка та впровадження автоматизованих систем управління електричними мережами. Київ: НТУУ "КПІ", 2016.
4. Управління режимами роботи електричних мереж Л. В Мартинюк, А. В. Петренко, А. О. Омельчук - 2021 - ЦП" Компринт"
5. V. Kozyrskyi, A. Petrenko, M. Trehub, Y. Charyev, "Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions", ch009, Pages: 197- 228, 2019. DOI: [10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009](https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9179-5.ch009).

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ  
НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖ

Товт Ф. Ф., аспірант, e-mail: [ftovt307@gmail.com](mailto:ftovt307@gmail.com)  
Сорокін М. С., к.т.н., доц., e-mail: [sorokin.ekt@gmail.com](mailto:sorokin.ekt@gmail.com)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасна енергетика стикається з численними викликами, такими як зростання попиту на енергію, необхідність зменшення викидів вуглецю та оптимізація використання енергетичних ресурсів. Традиційні методи прогнозування енергоспоживання, які часто базуються на статистичних підходах, не завжди здатні враховувати складні, нелінійні залежності між різними факторами, що впливають на споживання енергії. Нейронні мережі, зокрема, можуть ефективно обробляти великі обсяги даних та виявляти приховані закономірності, що робить їх перспективним інструментом для точного прогнозування енергоспоживання.

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є аналіз шляхів розробки програмного комплексу, який забезпечить точне прогнозування енергоспоживання на основі методів нейронних мереж.

**Основні матеріали дослідження.** Прогнозування дозволяє споживачам ефективно використовувати енергію з відновлюваних джерел, таких як сонячні панелі чи вітряні турбіни. Знання очікуваного рівня сонячної чи вітрової активності дозволяє оптимально планувати споживання енергії від цих джерел та максимізувати використання чистої енергії. Попередження про передбачувані зміни у споживанні електроенергії дозволяє оптимально регулювати параметри систем і підтримувати комфортні умови, максимально зменшуючи витрати енергії.

Враховуючи розвиток інтелектуальних лічильників електроенергії та широке впровадження технологій виробництва електроенергії, існує велика кількість даних про споживання електроенергії.

Ці дані являють собою багатовимірний часовий ряд змінних, пов'язаних із споживанням електричної енергії, які, в свою чергу, можуть бути використані для моделювання і навіть прогнозування майбутнього споживання. Одним із методів обробки таких даних є рекурентні нейронні мережі.

Рекурентні нейронні мережі (RNN) - це тип штучних нейронних мереж, які призначені для роботи з послідовністю даних або часовими рядами. Одна з ключових особливостей RNN полягає в їхній здатності зберігати попередні стани та використовувати їх для обробки нових вхідних даних.

У рекурентних нейронних мережах існує внутрішній стан, який може зберігати інформацію про попередні частини вхідних послідовностей. Це дозволяє їм виявляти залежності та взаємозв'язки в даних зі змінами часу.

Головною особливістю рекурентних нейромереж є тривала короткочасна пам'ять (LSTM – long short-term memory) – це особливий тип архітектури рекурентних нейронних мереж, здатний навчатися довгостроковим залежностям.

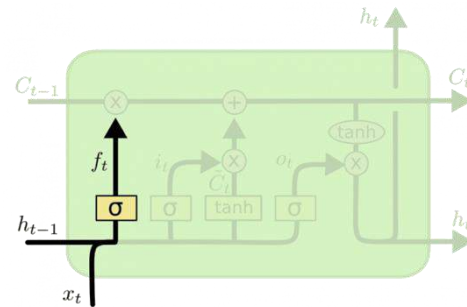
На відміну від інших алгоритмів машинного навчання, рекурентні нейронні мережі з довготривалою короткочасною пам'яттю здатні автоматично визначати функції з даних послідовностей, підтримують багатоваріантні дані та можуть виводити послідовності змінної довжини, які можна використовувати для багатокрокового прогнозування.

Рекурентна нейронна мережа представляє собою певну послідовність списків. По суті, RNN приймають вхідний вектор  $x$  і дають вихідний вектор  $y$ . Однак, на вміст цього вихідного вектора впливає не тільки вхідні дані, які ви щойно ввели, але й вся історія вхідних даних, які вводили в минулому.

В першу чергу у рекурентній мережі необхідно визначити яку інформацію необхідно видалити із стану комірки. Для цього використовується так званий сігмовидний шар який

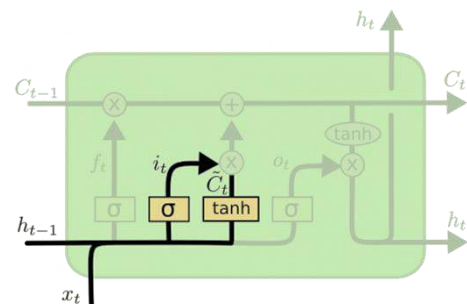
називають «фільтром шару забування» (forget gate layer). В цьому шарі визначається  $h_{t-1}$  та  $x_t$  а повертає значення від 0 до 1 для кожного із стану комірок  $C_{t-1}$ , де «1» відповідає повністю зберегти інформацію, а «0» відповідно повністю виключити. Дану функцію можна описати виразом

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$



Далі визначаємо яка нова інформація буде зберігатися у новому стані комірки. Це також вирішується сигмоподібним шаром який носить назву «шар вхідного фільтра», та описується виразом

$$\begin{aligned} \tilde{C}_t &= \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \\ i_t &= \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \end{aligned}$$



В подальшому попередні значення  $\tilde{C}_{t-1}$  змінюється на нове значення  $\tilde{C}_t$ . Перемножив попередні значення на функцію стану  $f_t$  дозволяє нам визначити які необхідно виключити із подальшого аналізу. Додавши значення  $\tilde{C}_t \cdot i_t$  отримаємо нові значення які можуть бути використані для подальшого навчання нейронної мережі. Коефіцієнт  $t$  вказує на скільки ми хочемо оновити кожний новий стан нашої системи.

У результаті вихідні дані будуть засновані на попередньому стані комірки, до якої будуть застосовані певні фільтри. У сигмоїдальному шарі визначається, яку інформацію ми будемо виводити зі комірки стану. Потім значення комірки стану передаються через шар  $\tanh$ , щоб отримати виходи в діапазоні від -1 до 1 і множаться на вихідні значення сигмоїдального шару, дозволяючи виводити лише необхідну інформацію.

**Висновок.** Враховуючи можливість застосування інтелектуальних лічильників отримання за їх допомоги данні про енергоспоживання протягом визначеного періоду часу можна створити базу даних на основі якої можна створити алгоритм за який дозволить прогнозувати навантаження на електромережу. В основі цього алгоритму доцільно закласти рекурентну нейронну мережу яка із часу буде інтервально оновлюватися та визначати більш точне прогнозоване споживання електроенергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Christopher Olah, Understanding LSTM Networks, URL <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs>
2. Сорокін М. С. Товт Ф. Ф. Аналіз можливостей машинного навчання для аналізу технічної діагностики електрообладнання. матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., ДБТУ, 9 листоп. 2023 р. - Харків, 2023. - С. 137-138
3. Сорокін М. С, Гузенко В. В., Застосування системи нечіткої логіки для визначення ресурсу асинхронного двигуна: наук.-техн. збірник Харків. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. - Вип. 166, Т. 6. - С. 39-43.

## ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Трегуб В. В., студент, e-mail: [tregub2016@gmail.com](mailto:tregub2016@gmail.com)

Шевченко В. В., д.т.н., проф., e-mail: [zurbagan8454@gmail.com](mailto:zurbagan8454@gmail.com)

Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

**Актуальність виконаного дослідження** визначається необхідністю зростанні вироблення електроенергії на фоні екологічної кризи, що робить необхідним вести пошуки нових, екологічно безпечних джерел енергії серед яких найперспективнішими є відновлювані джерела енергії. Відомо, що в першу чергу це вітро- та сонячна електроенергетика, але останнім часом значну роль починає грати і мала гідроенергетика: мікро-, міні- та малі ГЕС. Для цих електростанцій, як і для інших станцій, головним елементом є генератор. Правильний вибір генератора в залежності від потужності станції, від умов експлуатації, від наявності, стану та можливостей національних виробничих підприємств, підтвердження допустимих економічних показників забезпечить перспективність та рентабельність використання самої електростанції. Тому проведення аналізу і порівняння можливих типів електричних генераторів для малих і міні-ГЕС є актуальним.

**Мета досліджень** – це визначення можливих типів генераторів, які можна використовувати на малих і міні-ГЕС за умови можливості їх виробництва на вітчизняних підприємствах.

### **Основні матеріали досліджень.**

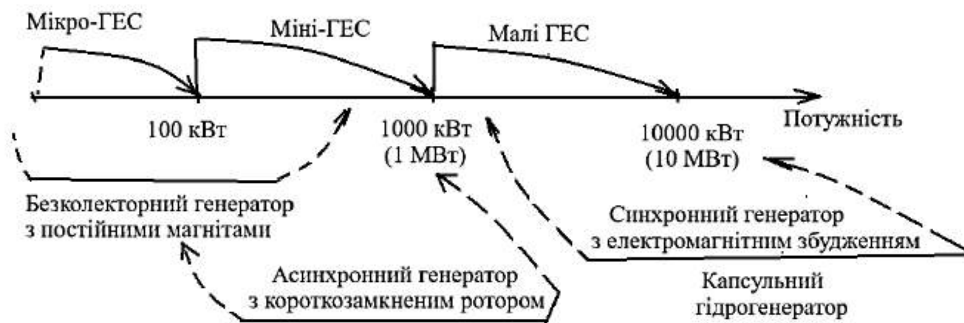
В даний час в нашій країні, як і у всьому світі, є значні не вирішені проблеми: забруднення навколишнього середовища; екологічні проблем; обмеженість копалин паливних і мінеральних ресурсів; безперервне зростання населення та його потреб в енергозабезпеченні, значні втрати електроенергії через зношений стан електрообладнання через загальносвітову економічну кризу. В нашій країні всі ці фактори підсилює війна. Поганий технічний стан, зношеність, руйнування електромереж, як і недосконалі системи обліку при передачі і розподілу електроенергії, викликають збільшення втрат. Втрати в електромережах України складають більше 20 %. Крім того, проблеми виникають через недоробки в сучасних технологіях отримання енергії.

На сучасному етапі гідроенергетика має своє вагомe місце у загальній енергосистемі України. В повному обсязі їх встановлена потужність становить 6,2 ГВт, або 11,2% від загального балансу енергосистеми країни станом на кінець 2020 р. Станом на 2021 рік в Україні в експлуатації перебували малі ГЕС загальною встановленою потужністю 117 МВт.

Гідроелектростанції поділяються на потужні, середні і малі ГЕС. Малі ГЕС здатні використовувати потенціал малих річок України. Використання мікро-, міні- та малих гідроелектростанцій (МГЕС) не потребує великих дамб, гребель, не будуть затоплені великі території. Вони можуть працювати на вже існуючих перепадах рівнів води і активно впроваджується у світі як втілення в загальні електромережі джерел відновлюваної енергетики, які активно підтримуються державними установами, [1]. Сучасні малі, міні-ГЕС – це станції, що повністю готові до експлуатації. Вони складаються з обладнання, що забезпечують її роботу та управління: турбіна, генератор, блок керування, блок баластного навантаження, стабілізатор, контролер заряду, акумуляторні батареї, інвертори для перетворення параметрів напруги до стандартних значень. Плюсами міні-ГЕС є те, що вони виробляють найдешевшу і найбезпечнішу електроенергію з усіх існуючих альтернативних шляхів її отримання, здатні виробляти енергію тільки при необхідності (пікова енергія) і зберігати надлишок і відновлювати енергію на мережі.

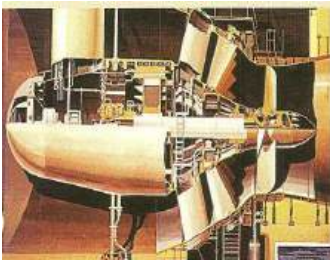
У світі поки не існує загальноприйнятого визначення того, що таке мала ГЕС. В якості основної характеристики прийняте значення встановленої потужності. Розподіл типів малих ГЕС по потужності в нашій країні наведений на рис. 1.





**Рисунок 1 – Розподіл типів малих ГЕС та рекомендовані типи генераторів залежно від потужності ГЕС**

Натепер більшість віддалених споживачів, які не мають централізованого електропостачання, отримують електроенергію від дизельних або вітрових електростанцій. Залежність від використання дизельного палива призводить до збоїв в електропостачанні, простою підприємств, дискомфортом умов існування населення. Вітроенергетика знаходиться в прямій залежності від погоди.



У той же час енергозабезпечення об'єктів, розташованих в районах з можливістю використання власних водних ресурсів можна шляхом використання генераторів з високонадійними магнітоелектричними синхронними генераторами (СГ) потужністю до 100 кВт при безпосередньому приводі від гідротурбін. Для малих ГЕС перспективним є використання капсульних генераторів з горизонтальним валом та електромагнітним збудженням, рис. 2. Важливо, що в Україні, в Харкові є виробнича база, є досвід розрахунку, конструювання, вироблення, монтажу та обслуговування капсульних генераторів.



При виборі типу генератора для малої гідроенергетики це важливо. Також вибір генератора малої, міні-ГЕС безпосередньо залежить від конструктивного рішення електростанції. Наприклад, «водяне колесо» (рис. 3), «гірлянда», з ротором Дар'є, з пропелером тощо.

#### **Висновки.**

1. Використання потенціалу малих річок України може дозволити скоротити витрати паливно-енергетичних ресурсів, що необхідні для теплової електроенергетики, і вирішити проблему енергопостачання віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості.

2. Для міні-ГЕС слід використовувати СГ з магнітоелектричним збудженням, техніко-економічні показники яких залежать від властивостей постійних магнітів. Для малої гідроенергетики мега-ватного діапазону потужності найбільш перспективні капсульні гідрогенератори з електромагнітним збудженням.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. Відновлювана енергетика. 2016. № 3. С. 50–56.

2. Веремійчик Г. К., Гаврилюк Р. Б. та ін. Принципи збалансованого розвитку гідроенергетики. Київ: Вид-во «Фенікс», 2023. 20 с. URL: <http://surl.li/vcygyu>

## СЕКЦІЯ 2. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

УДК 333.72

### ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Багач Р. В., доктор філософії (PhD), e-mail: [bagach.ruslan@gmail.com](mailto:bagach.ruslan@gmail.com)

Харківський політехнічний фаховий коледж

**Актуальність дослідження.** Зростання урбанізації та глобальні екологічні виклики стимулюють розвиток електротранспорту, що є альтернативою традиційним транспортним засобам з двигунами внутрішнього згоряння. Електротранспорт має потенціал значного зниження шкідливих викидів в атмосферу, особливо якщо для його зарядки використовуються відновлювані джерела енергії [1-3]. Сонячна, вітрова, гідро та біоенергетика можуть забезпечити необхідний рівень електроенергії для зарядки електромобілів, що робить цей напрямок перспективним для сталого розвитку.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зниження викидів парникових газів, боротьби зі зміною клімату та переходом на енергетично незалежні джерела. Використання відновлюваної енергії в електротранспорті дозволяє зменшити залежність від викопних видів палива та знизити витрати на їх імпорт. Крім того, відновлювані джерела енергії дозволяють створювати локальні, незалежні системи енергозабезпечення, що є особливо важливим для країн з нестабільним доступом до традиційних джерел енергії. У таких умовах дослідження можливостей інтеграції відновлюваної енергетики в інфраструктуру електротранспорту є важливим напрямком розвитку.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є аналіз потенціалу використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення зарядки електротранспорту, а також оцінка можливостей інтеграції цих джерел в сучасну інфраструктуру. Особлива увага приділяється вивченню способів підвищення ефективності зарядки за допомогою сонячних та вітрових електростанцій, впровадженню технологій зберігання енергії та можливостям використання біомаси як джерела електроенергії для зарядки електричного транспорту [4,5].

#### **Основні матеріали досліджень.**

1. Сонячна енергетика. Сонячна енергія є одним із найпоширеніших джерел для зарядки електротранспорту. Зарядні станції, обладнані сонячними панелями, можуть безпосередньо виробляти електроенергію з сонячного світла. Наприклад, у Німеччині компанія EnBW (Energie Baden-Württemberg AG) встановила зарядні станції, що працюють на сонячних панелях, забезпечуючи безкоштовну зарядку електромобілів у деяких регіонах. Це дозволяє забезпечувати зарядку електромобілів без потреби в централізованій енергомережі. Дослідження зосереджені на аналізі ефективності використання сонячних панелей на станціях для громадського та приватного транспорту, а також на можливостях зберігання енергії у акумуляторних батареях [6,7].

2. Вітрова енергетика. Вітрові турбіни можуть забезпечувати значний обсяг електроенергії в регіонах з високою вітровою активністю. Наприклад, у Данії мережа вітрових електростанцій активно живить зарядні станції для електромобілів, що робить країну лідером за часткою електротранспорту в загальному обсязі транспорту. Дослідження зосереджені на вивченні ефективності вітрових турбін різних типів та їх інтеграції в зарядну інфраструктуру для електромобілів [6,7].

3. Гідроенергетика. Гідроелектростанції є стабільним джерелом електроенергії в регіонах з наявними водними ресурсами. Наприклад, у Швейцарії багато зарядних станцій для електромобілів живляться від гідроелектростанцій, що забезпечує постійний рівень генерації електроенергії. Це може бути використано для зарядки електромобілів у міських та сільських районах. Дослідження включають аналіз використання гідроелектроенергії для зарядки міського громадського транспорту, а також можливість створення автономних зарядних

станцій на базі міні-гідроелектростанцій, як це реалізовано в проєкті Mini Hydro Power Plant в Непалі, де електрика використовується для зарядки електробусів [6,7].

4. Біоенергетика. Використання біомаси для виробництва електроенергії є перспективним напрямком для зарядки електротранспорту в аграрних регіонах. У США компанія "CNG Services" використовує біогаз, отриманий з органічних відходів, для генерації електроенергії, яка потім направляється на зарядні станції для електромобілів. Дослідження розглядають ефективність біогазових установок та їх застосування в енергозабезпеченні електротранспорту, наприклад, у проєкті "Green Gas" у Великій Британії, де відходи сільського господарства використовуються для виробництва електроенергії [6,7].

Ці приклади демонструють практичну реалізацію відновлювальних джерел енергії в інфраструктурі електротранспорту, підтверджуючи потенціал та ефективність їх використання.

**Висновок.** Відновлювана енергетика має великий потенціал для забезпечення потреб електротранспорту, що дозволяє знизити негативний вплив на довкілля та зменшити залежність від викопного палива. Сонячні, вітрові, гідро та біоенергетичні установки можуть використовуватися як основне джерело живлення для зарядки електромобілів. Проте існують певні виклики, зокрема нестабільність виробництва енергії з деяких джерел та необхідність значних інвестицій у розвиток інфраструктури. Для подолання цих викликів необхідні додаткові дослідження та розробка ефективних технологій зберігання енергії [8,9]. Незважаючи на ці виклики, перспективи розвитку відновлюваної енергетики для електротранспорту є оптимістичними, оскільки це відкриває нові можливості для створення екологічно чистих та стійких транспортних систем у майбутньому.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Приходько І., Ігнатишин В., Приходько Ю. Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі // Економіка та суспільство. – 2024. – № 62.

2. Багач Р.В. Використання зарядних станцій для електромобілів у Харківській області // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 14-а Міжнародна науково-практична конференція (с. 323–327). – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2023.

3. Будько В. І. Аналіз доцільності впровадження зарядних станцій електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії в Україні // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 4. – С. 32–41.

4. Багач Р. В. Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму: дис. ... докт. техн. наук // Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2024.

5. Малушенко А. С., Горват М. Б., Коваль В. П. Перспектива зарядки електромобілів від відновлювальних джерел енергії // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – 2023. – С. 225.

6. ЧЕРЕП О., ОСМАКОВСЬКА К., ЛИЩЕНКО О. Доцільність використання енергоефективних технологій та відновлювальних джерел енергії // Modeling the Development of the Economic Systems. – 2023. – Т. 2. – С. 203–207.

7. ШПАТАКОВА О., ЖУРАВЕЛЬ М., СЛОБОДЯН Н. Екологічна енергетика як стратегічний напрямок забезпечення енергетичної безпеки // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2024. – Т. 328, № 2. – С. 425–433.

8. Hnatova A., Bagach R., Sokhin P. Economic and environmental impact of electric vehicles // Proceedings of the Fourth International Scientific and Practical Conference "Automotive Transport and Infrastructure". – Kyiv, 2021. – С. 215–217.

9. Багач Р.В., Гнатов А.В. Енергозбереження у секторі міського електротранспорту // Тринадцята Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2022". – Херсон: ХДМА, 2022. – С. 105–108.

## ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У РОЗПОДІЛЕНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ VEHICLE-TO-GRID (V2G)

Багач Р. В., доктор філософії (PhD), e-mail: [bagach.ruslan@gmail.com](mailto:bagach.ruslan@gmail.com)

Гнатів А. В., д.т.н, професор, e-mail: [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com)

Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

**Вступ.** У сучасних умовах глобального потепління, зростаючих викидів парникових газів та виснаження традиційних енергетичних ресурсів, світ активно шукає засоби переходу на чисті та екологічно безпечні джерела енергії. Одним з важливих напрямків такого переходу є розвиток електромобільного транспорту, що сприяє скороченню викидів шкідливих речовин. Проте для ефективної інтеграції електромобілів у енергетичні системи необхідно впроваджувати інноваційні підходи, такі як технологія Vehicle-to-Grid (V2G). V2G дозволяє електромобілям взаємодіяти з енергетичною мережею, використовуючи їх як мобільні акумулятори для зберігання та передачі електроенергії. Це відкриває нові можливості для стабілізації розподілених енергетичних систем та кращого використання відновлюваних джерел енергії [1-4].

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження технології V2G зумовлена зростанням кількості електромобілів та збільшенням частки відновлюваних джерел у світовому енергетичному балансі. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергія, мають нестабільний характер генерації, що створює труднощі для збереження стабільності енергетичних систем [5]. У цьому контексті електромобілі з функцією V2G можуть відігравати важливу роль, зберігаючи надлишкову енергію та забезпечуючи її повернення до мережі в періоди пікового навантаження. Це сприяє зменшенню залежності від традиційних електростанцій, підвищенню надійності постачання енергії та створенню більш екологічно чистої енергетичної системи [6].

**Мета досліджень.** Метою даного дослідження є аналіз потенціалу інтеграції електромобілів у розподілені енергетичні системи за допомогою технології V2G. Основні завдання включають:

- дослідження принципу роботи V2G та її технічних вимог;
- оцінка впливу V2G на стабільність електромереж та інтеграцію відновлюваних джерел енергії;
- визначення основних переваг та викликів впровадження V2G на різних ринках електроенергії;
- аналіз економічних аспектів V2G для власників електромобілів та операторів мереж.

**Основні матеріали досліджень.** V2G дозволяє електромобілям заряджатися від мережі та повертати енергію назад, використовуючи двосторонні зарядні станції. Ці станції підтримують як зарядку, так і розрядку акумуляторів в мережу. Інтелектуальне керування регулює процеси зарядки і розрядки, орієнтуючись на коливання попиту та генерації, що забезпечує ефективне використання надлишкової енергії та її повернення в мережу під час дефіциту [7].

**Вплив на стабільність енергосистеми.** Електромобілі з V2G діють як накопичувачі енергії, допомагаючи балансувати генерацію та споживання, що є важливим для мереж з високою часткою відновлюваних джерел. Це дозволяє стабілізувати частоту в мережі та знижувати ризик перебоїв завдяки швидкому реагуванню на зміни попиту та пропозиції [8]. Моделювання показує, що V2G може зменшити потребу в резервних генераторах і підвищити ефективність системи.

**Переваги для власників електромобілів.** Власники можуть заробляти, продаючи енергію під час пікових навантажень, що допомагає компенсувати витрати на зарядку та знижує експлуатаційні витрати.

**Інтеграція відновлюваної енергетики.** V2G зберігає надлишкову енергію з сонячних та вітрових електростанцій в акумуляторах електромобілів, використовуючи її при дефіциті генерації.

**Зменшення вуглецевого сліду.** Електромобілі з V2G знижують потребу у викопному паливі для балансування мережі, що скорочує викиди парникових газів.

**Виклики впровадження V2G.** Зношування акумуляторів через часті цикли зарядки/розрядки збільшує витрати на їх заміну. Високі початкові інвестиції та відсутність нормативних актів ускладнюють впровадження, а також необхідні стандарти для сумісності зарядних станцій.

**Перспективи розвитку V2G у світі.** У Європі, Японії та США реалізуються пілотні проекти V2G, які демонструють його потенціал. У Нідерландах і Данії вже діють зарядні станції V2G, що допомагають балансувати локальні мережі. Японія застосовує V2G для резервного живлення в надзвичайних ситуаціях, що підвищує інтерес до цієї технології [9].

Очікується, що з подальшим зниженням вартості акумуляторів та збільшенням кількості електромобілів, V2G стане більш доступним та привабливим рішенням для інтеграції в енергетичні системи [10].

**Висновок.** Інтеграція електромобілів у розподілені енергетичні системи за допомогою V2G має значний потенціал для створення більш ефективних та екологічно чистих енергетичних мереж. Технологія V2G дозволяє використовувати електромобілі як розподілені накопичувачі енергії, що підтримує стабільність мережі та полегшує інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Незважаючи на певні виклики, такі як зношування акумуляторів та необхідність розвитку інфраструктури, переваги V2G технології присутні.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Noel L., Zarazua de Rubens G., Kester J., Sovacool B.K. *Vehicle-to-Grid: A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility*. – Palgrave Macmillan, 2019.
2. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Багач Р. В., Гнатова Г. А., Тарасова В. В., Ручка О. О. Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем // *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. – 2021. – Вип. 20. – С. 17–26. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02>.
3. Багач Р. В., Гнатов А. В. Енергозбереження у секторі міського електротранспорту // *Тринадцята Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2022"*. – Херсон: ХДМА, 2022. – С. 105–108.
4. Багач Р. В. Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму: дис. ... докт. техн. наук. – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2024.
5. Liu K., Guo J., Xiao Y., Zhang Z. Impacts of vehicle-to-grid technology on the stability of power grids with high penetration of renewable energy // *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. – 2022. – Т. 13, № 2. – С. 812–823.
6. Gazder Uneb. Overview of Opportunities and Challenges to Vehicle-to-Grid Integration and Bahrain Perspective // *Green and Low-Carbon Economy*. – 2024.
7. Deng T., Li Y., Li K. Vehicle-to-Grid in the context of smart grids: Technologies, applications, and future trends // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Т. 398. – Article 136838.
8. Georgios D., Vasilis G., Stavros M. Review of vehicle to grid (V2G) systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2019. – Т. 109. – С. 198–204.
9. Shirai T., Watanabe H. Vehicle-to-grid technology and its potential role in enhancing renewable energy integration // *Energy Policy*. – 2020. – Т. 142. – Article 111533.
10. Qin, H., Zhou, L. An overview of vehicle-to-grid (V2G) systems and its challenges and prospects. *Energy Reports*, 2021, 7, 2605–2620.



ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ  
ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Волобуєв А. С., аспірант, e-mail: [andreyvolobuev7777@gmail.com](mailto:andreyvolobuev7777@gmail.com)

Савченко О. А., к.т.н., доц., e-mail: [savoa@btu.kharkiv.ua](mailto:savoa@btu.kharkiv.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** У наші дні споживання енергії у світі зростає і стає актуальним вирішення задачі щодо заміни традиційних джерел на альтернативні. Вирішення цього завдання неможливе без попереднього аналізу даних та подальшого прогнозування вироблення енергії альтернативними джерелами. Прогнозування величини виробітку електричної енергії сонячною електростанцією дозволить підвищити обґрунтованість рішень, що приймаються в процесі управління розподілом електроенергії в децентралізованих системах. За наявності інформації про те, скільки електроенергії буде вироблено сонячною електростанцією і передано в мережу щогодини, з'явиться можливість більш обґрунтовано планувати використання виробленої електроенергії та її розподіл. Також наявність достовірного прогнозу дозволить вбудовувати математичну модель у підсистему управління мікромережами, що, своєю чергою, сприятиме інтеграції централізованих електричних мереж та об'єктів розподіленої генерації. В даному дослідженні було проведено оцінювання ефективності застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування виробітку електричної енергії сонячними електростанціями.

**Мета досліджень.** Підвищення обґрунтованості перспективного планування обсягів виробітку електричної енергії об'єктами альтернативної енергетики (сонячними електростанціями).

**Основні матеріали досліджень.** Як об'єкт дослідження було розглянуто сонячну електростанцію потужністю 2,6 МВт. Розглядалися фактичні дані про вироблення електроенергії за три роки (2019, 2020, 2021р.). Усі розрахунки було реалізовано мовою програмування python. В якості прогностичних факторів використовувались: спрямована вниз інтенсивність сонячного випромінювання ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), індекс ясності всього неба, альbedo всієї поверхні неба, температура на відстані 2 м, відносна вологість повітря на висоті 2 метрів, відкоригована кількість опадів (мм/год), тиск (кПа), швидкість вітру на висоті 10 метрів (м/с), напрям вітру (градуси). Прогнозована величина - активна потужність СЕС (МВт).

В першу чергу була виконана первинна обробка даних. На цьому етапі дані були попередньо оброблені наступним чином: видалені рядки з нульовим значенням цільової змінної (нічні години), а також знайдені та усунені пропуски даних. Потім набір даних був розділений на навчальну та тестову вибірки у співвідношенні 80/20. Після чого всі ознаки були приведені до єдиного масштабу шляхом застосування мінімаксної нормалізації.

Було побудовано моделі прогнозування для таких методів машинного навчання:  $k$ -найближчих сусідів (KNeighborsRegressor), дерево рішень (DecisionTreeRegressor), випадковий ліс (RandomForestRegressor – RFR), багатошаровий перцептрон (MLPRegressor), градієнтний бустинг SkLearn (GradientBoostingRegressor – GBR), екстремальний градієнтний бустинг (XGBRegressor – XGBoost) градієнтний бустинг бібліотеки CatBoost (CatBoostRegressor - CAT).

Модель  $k$ -найближчих сусідів прогнозує цільову змінну шляхом локальної інтерполяції значень цільової змінної  $n$  найближчих значень. Модель дерев рішень використовує послідовність предикатів для передбачення цільової змінної. Будується так зване дерево рішень, у вузлах якого розташовані предикати, а в листі – передбачення. Дерево рішень можна розглядати як шматково-постійну апроксимацію. Основні параметри моделі: criterion, де задається функція якості поділу, splitter - стратегія при виборі поділу в кожному вузлі, max\_depth - максимальна глибина дерева та ін. У порівнянні з моделлю дерев рішень, модель RFR запобігає перенавчанню, що є суттєвою перевагою ансамблевого підходу. При реалізації

моделей градієнтного бустингу відбувається ітеративне додавання моделей в ансамбль в такий спосіб. Створюється модель, яка ініціалізує ансамбль. При цьому модель може мати досить велику похибку прогнозу. Потім починається цикл, в якому при використанні поточного ансамблю генеруються прогнози для кожного спостереження набору даних, які потім додаються в ансамбль, обчислюється функція втрат. Потім шляхом реалізації градієнтного спуску визначаються оптимальні параметри моделі, після чого нова модель додається до ансамблю і всі описані операції повторюються. Модель регресії градієнтного бустингу бібліотеки XGBoost є однією з реалізацій градієнтного бустингу, що використовується для роботи з табличними даними. Для її налаштування необхідний вибір наступних параметрів: параметр `n_estimators` – кількість проходів за циклом моделювання (еквівалентно кількості моделей, які входять у ансамбль), `early_stopping_rounds` – кількість невдало побудованих моделей (тобто тих, послідовне додавання в ансамбль яких не збільшило продуктивність моделі і викликало ранню зупинку виконання циклу, тобто без необхідності прогону алгоритму). Модель регресії CatBoost реалізує алгоритм градієнтного бустингу, є ансамблевим методом, що базується на деревах рішень. Алгоритм градієнтного бустингу CatBoostRegressor підтримує можливість використання категоріальних змінних, L2-регуляризацію та інші можливості. Основними параметрами моделі є: `iterations` – кількість ітерацій, `loss_function` – функція втрат, `learning_rate` – швидкість навчання, `depth` – глибина дерев. Відмінністю даного алгоритму від алгоритму випадкового лісу є послідовне вдосконалення моделей дерев рішень. Тобто, кожна наступна в ансамблі модель дерева рішень будується з урахуванням результатів попередньої моделі.

Для кожної моделі була проведена процедура підбору параметрів за допомогою інструмента перехресної перевірки GridSearchCV. Для оцінки якості прогнозних моделей були використані середня абсолютна помилка прогнозу (mean absolute error - MAE), коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ). Найкращі результати за величиною середньої абсолютної помилки отримані моделлю на основі алгоритму градієнтного бустингу бібліотеки CatBoost (MAE складає близько 85 Вт/м<sup>2</sup>). Також у цієї моделі найменше перенавчання. Інші алгоритми градієнтного бустингу дали схожі результати, особливо це стосується моделі випадкового лісу. Тому в подальших дослідженнях можна рекомендувати поєднання їх за технологією стекінгу.

**Висновок.** В результаті проведеного дослідження було створено моделі машинного навчання, що базуються на сучасних алгоритмах інтелектуального аналізу даних. У ході виконання роботи було проаналізовано фактори тимчасового та метеорологічного характеру та оцінено їх ступінь впливу на цільовий результат – вироблення електроенергії сонячною електростанцією. Розрахунки показують, що найбільшу точність прогнозування мають моделі градієнтного бустингу. Досить високу точність прогнозування мають також моделі випадкового лісу. Однією з перспектив для подальших досліджень є проведення непрямого прогнозування величини виробітку електроенергії та його порівняльний аналіз з отриманими в цьому дослідженні результатами.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gensler, A., Henze, J., Sick, B., Raabe, N. Deep Learning for solar power forecasting—An approach using AutoEncoder and LSTM Neural Networks. In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Budapest, Hungary, 9–12 October 2016.
2. Hendouzi, A., Bourouhou, A. Solar Photovoltaic Power Forecasting. J. Electr. Comput. Eng. 2020
3. Mellit, A., Pavan, A., Oglari, E., Leva, S., Lughi, V. Advanced Methods for Photovoltaic Output Power Forecasting: A Review. Appl. Sci. 2020, 10, 487.
4. Li, P., Zhou, K., Yang, S. Photovoltaic Power Forecasting: Models and Methods. In Proceedings of the 2nd IEEE Conference Energy Internet Energy System Integration, Beijing, China, 20–22 October 2018.

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ В СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВКАХ З ВІЛЬНИМ РЕЖИМОМ ЦИРКУЛЯЦІЇ РОБОЧОГО ТІЛА

Головко В. М.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [golovkovm@ukr.net](mailto:golovkovm@ukr.net)

Володарський В. Г.<sup>2</sup>, аспірант, e-mail: [vladislavvolodarsky@gmail.com](mailto:vladislavvolodarsky@gmail.com)

Інститут відновлюваної енергетики НАН України<sup>1,2</sup>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»<sup>1</sup>

**Актуальність дослідження.** Зростання цін на паливо, глобальна енергетична криза та посилена увага до екологічних викликів стало необхідним для вирішення енергетичних проблем. У цьому аспекті вирішення енергетичних проблем шляхом підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, є ключовим напрямком розвитку енергетичних технологій. Сучасний світ потребує не лише застосування відновлюваних джерел енергії, але й значного підвищення ефективності технічних засобів їх використання, де сонячна енергія виходить на передній план [1].

На теперішній час використання сонячної енергії зосереджується на виробництві фотоелектричної енергії, використанні сонячної теплової енергії та їх поєднання в комбінованих системах. Сонячні колектори, як теплообмінники, перетворюють сонячне випромінювання в теплову енергію, маючи високу ефективність, простоту конструкції та можливість використання в опаленні, гарячому водопостачанні, для процесів сушіння та ін.[2].

Особливої уваги заслуговують сонячні колектори з вільною циркуляцією теплоносія. Їх переваги включають енергонезалежність, екологічність, простоту обслуговування та довговічність. Однак їх ефективність залежить від інтенсивності теплообміну між теплоносієм та абсорбером. Тому інтенсифікація теплообміну є критичною для підвищення продуктивності системи [3].

Сучасні методи інтенсифікації теплообміну досліджують через потребу зниження вартості теплообмінного обладнання, що дозволяє зменшити їх розміри, та збільшити коефіцієнт теплопередачі.

**Мета досліджень.** Порівняння сучасних методів інтенсифікації теплообміну в сонячних колекторах з вільним режимом циркуляції теплоносія.

**Основні матеріали досліджень.** Основні дослідження інтенсифікації теплообміну в сонячних водонагрівачах з вільним режимом циркуляції теплоносія можна поділити по трьом напрямках:

- дослідження впливу різних теплоносіїв;
- зміна конструкції сонячного колектора;
- зрив приграничного шару.

Одним з найефективним методом першого напряму є інтеграція нанофлюїдів для покращеного теплообміну. Використання нанофлюїдів як теплоносія становить інноваційний підхід до підвищення ефективності теплообміну. Нанофлюїди — це рідини, збагачені наночастинками високотеплопровідних матеріалів, таких як метали чи оксиди металів. Додавання наночастинок до традиційних теплоносіїв значно підвищує їхню теплопровідність, що призводить до більш ефективного перенесення теплоти [4].

Перевагою цього методу є можливість суттєвого підвищення коефіцієнта теплопередачі без значних змін у конструкції колектора. Це може призвести до зменшення розмірів колектора або підвищення його продуктивності [8].

Проте, існують певні недоліки, а саме: вартість виробництва нанофлюїдів є вищою, ніж у традиційних теплоносіїв, що може вплинути на економічну доцільність методу. Крім того, питання хімічної стабільності та довговічності нанофлюїдів залишаються відкритими. Наночастинки можуть бути схильні до агрегації або осадження, що знижує ефективність теплообміну та може спричинити проблеми в експлуатації системи [8].

Іншим методом інтенсифікації теплообміну є встановлення скручених стрічок всередині труб сонячного колектора. Ці стрічки діють як турбулізатори, викликаючи турбулентність у потоці теплоносія. Турбулентний потік сприяє кращому перемішуванню та рівномірному розподілу температури, що підвищує коефіцієнти теплопередачі [5].

Переваги методу включають можливість регулювання ступеня турбулентності шляхом вибору різних типів скручених стрічок. Це забезпечує гнучкість в адаптації системи до конкретних умов експлуатації. Крім того, збільшується ефективна площа поверхні для теплопередачі завдяки витіюватій формі стрічок.

Недоліками є підвищена складність конструкції та процесу виробництва, що може призвести до збільшення витрат. Ефективність методу також залежить від швидкості потоку та властивостей теплоносія, що потребує додаткових оптимізаційних розрахунків.

Технологія вдування бульбашок повітря через потік води є ефективним методом інтенсифікації теплообміну. Введення бульбашок змінює гідродинаміку рідини, що сприяє кращому змішуванню та турбулентності. Це підвищує теплопередачу за рахунок зменшення термічного опору між теплоносієм та стінками колектора [6].

Недоліками цього метода можуть бути складності в контролі та регулюванні процесу вдування повітря. Неправильне дозування або розподіл бульбашок може призвести до нерівномірного потоку або навіть утворення повітряних пробок, що негативно вплине на роботу системи. Також необхідно враховувати можливість корозії через присутність повітря в системі [6].

**Висновок.** Порівняння різних методів інтенсифікації теплообміну в сонячних колекторах вказує на те, що кожен з них має свої переваги та недоліки. Вибір найбільш ефективного методу залежить від конкретних умов експлуатації, технічних можливостей та економічної доцільності. Спрощення конструкції та використання високотеплопровідних матеріалів може знизити витрати, але має обмеження щодо регулювання температури та довговічності. Інноваційні підходи, такі як використання нанофлюїдів або технології вдування повітря, пропонують значне підвищення ефективності, але вимагають ретельного дослідження та вирішення технічних задач. Важливою є також оцінка довгострокових переваг та можливих ризиків, пов'язаних з впровадженням кожного з методів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lorand Szabo, "The history of using solar energy", The 7 th international conference on modern power systems, (MPS2017).
2. Chenyuan Diao, "Solar Heating industry in china and Sweden", university of Gavle, 2014.
3. Soteris A. Kalogirou, "Solar Energy Engineering", Second Edition, ISBN - 13:978-0-12-397270-5, 2014.
4. Smaism, Ghassan & AbdulHusseini, Widad & Abed, Azher. (2022). Enhancement of heat transfer from solar thermal collector using nanofluid. Open Engineering. 12. 968-976. 10.1515/eng-2022-0337.
5. Ameen, Braa & Al-hadithi, Mustafa. (2015). Heat Transfer Enhancement of Flat Plate Solar Collectors for Water Heating in Iraq Climatic Conditions. <http://www.iasj.net>. 18. 259-272.
6. Abbas, Sarah & Abdul Redha, Zeina & Rashid, Farhan. (2023). Thermal Performance of Flat Plate Solar Water Collector Using Air Bubble Injection. AIP Conference Proceedings. 2651. 050019-1. 10.1063/5.0133663.
7. Duffy J A, Beckman W A 2013 Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition
8. Sarafraz M.; Tlili I.; Baseer M.A.; Safaei M.R. 2019 Potential of Solar Collectors for Clean Thermal Energy Production in Smart Cities Using Nanofluids: Experimental Assessment and Efficiency Improvement.

## ВТОРИННА СИРОВИНА ЯК ДЖЕРЕЛО АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Грицай В. А., студент факультету механотроніки та інжинірингу,  
e-mail: [Gritsay\\_v@ukr.net](mailto:Gritsay_v@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

Братчикова О. В., викладач, e-mail: [olga19607755@gmail.com](mailto:olga19607755@gmail.com)

Братчиков О. С. викладач, e-mail: [xahter3@gmail.com](mailto:xahter3@gmail.com)

ВСП «Харківський фаховий коледж харчової промисловості ДБТУ»

У сучасному світі, де проблеми енергетичної безпеки та екологічної стійкості набувають все більшого значення, пошук та ефективне використання альтернативних джерел енергії стає критично важливим завданням. Одним із перспективних напрямків у цій галузі є використання біомаси, зокрема, відходів сільськогосподарського виробництва, для виробництва твердого біопалива.

Україна, будучи одним із провідних виробників соняшнику у світі, щорічно генерує значні обсяги відходів у вигляді соняшникового лушпиння. Традиційно це лушпиння вважалося малоцінним побічним продуктом, але сьогодні воно розглядається як цінна сировина для виробництва паливних гранул (пілет).

**Актуальність даного дослідження** обумовлена кількома факторами:

1. Енергетична незалежність: Використання місцевих відновлюваних ресурсів для виробництва енергії особливо під час такого скрутного часу як війна має велике значення для енергетики на яку іде більше всього навантаження під час настання морозів.

2. Екологічні переваги: Спалювання біомаси вважається CO<sub>2</sub>-нейтральним процесом, що робить його привабливим з точки зору боротьби зі зміною клімату.

3. Економічна ефективність: Утилізація відходів агропромислового комплексу дозволяє створити додаткову вартість та нові робочі місця у сільській місцевості, а також допомагає для збереження та відновлювання економіки що є важливим фактором під час війни.

4. Технологічний розвиток: Вдосконалення технологій виробництва та використання біопалива стимулює інновації у енергетичному та агротехнічному секторі, що на самперед, як для країна яка має самій великий процент по виробітку соняшnikової олії буде грати дуже велику роль.

**Мета даної роботи** полягає у обґрунтуванні параметрів ефективної тепловіддачі при спалюванні гранул з соняшникового лушпиння на основі комплексного дослідження їх властивостей та процесів горіння, адже ефективне використання паливних гранул з соняшникового лушпиння вимагає глибокого розуміння їх фізичних та паливних характеристик, оптимізації параметрів їх виробництва та спалювання для досягнення максимальної тепловіддачі.

1. Дослідити процес пресування соняшникового лушпиння та його вплив на якість отриманих паливних гранул.

2. Вивчити фізичні характеристики паливних гранул, включаючи їх вологість, щільність та міцність.

3. Провести аналіз паливних характеристик гранул, зокрема їх теплотворної здатності та емісійних показників.

4. Визначити оптимальні параметри процесу горіння гранул для забезпечення максимальної ефективності тепловіддачі.

Результати дослідження ефективності тепловіддачі при спалюванні гранул з соняшникового лушпиння (пілет) є актуальними і матимуть як теоретичне, так і практичне значення. Вони сприятимуть розширенню наукових знань про властивості та поведінку біопалива з агровідходів, а також допоможуть оптимізувати технологічні процеси виробництва та використання паливних гранул з соняшникового лушпиння в промислових та



побутових умовах, окрім того додамо, що тема використання відходів та вторинної продукції для перетворення її в щось корисне, дуже актуальна. Дослідження ідуть не лише в Україні, але вивчається в усіх країнах світу.

**Основні матеріали досліджень.** В процесі роботи над дослідженням та обґрунтуванням параметрів ефективної тепловіддачі при спалюванні гранул з соняшникової лузги аналізувалися: методи і завдання при дослідженні процесів пресування і спалювання паливних гранул, властивості та фізичні і паливні характеристики пілет.

Потенційне застосування отриманих результатів:

1. Виробництво паливних гранул: Результати дослідження можуть бути використані виробниками для оптимізації процесу пресування та покращення якості продукції. Це може призвести до зниження виробничих витрат та підвищення конкурентоспроможності продукту на ринку біопалива.

2. Проектування опалювальних систем: Отримані дані щодо ефективності тепловіддачі можуть бути використані інженерами при проектуванні котлів та печей, оптимізованих для роботи на паливних гранулах з соняшникового лушпиння.

3. Енергетичний менеджмент: Розроблена математична модель може стати основою для створення програмного забезпечення з оптимізації режимів роботи котельних установок, що працюють на біопаливі.

4. Екологічний моніторинг: Дані про викиди при спалюванні гранул можуть бути використані екологічними службами для оцінки впливу на навколишнє середовище та розробки відповідних нормативів.

5. Освіта та навчання: Результати дослідження можуть бути включені в навчальні програми з відновлюваної енергетики та біотехнологій у закладах вищої освіти.

6. Розвиток сільських територій: Рекомендації щодо економічної ефективності виробництва та використання гранул можуть сприяти розвитку малого та середнього бізнесу в сільській місцевості, створюючи нові робочі місця та підвищуючи енергетичну незалежність регіонів.

7. Міжнародне співробітництво: Отримані результати можуть стати основою для міжнародних проектів з обміну досвідом та технологіями в галузі використання агропромислових відходів для виробництва енергії.

8. Користь під час війни: використання набутих знань для ефективного використання ресурсу для зберігання екології, так і використання гранул як паливо для військових.

Під час війни, військові, що потребують ефективного та надійного джерела тепла для опалювання в холодні пори року, то на нашу думку розгляд цієї теми може не тільки покращити економічний стан нашої країни, а ще допомогти військовим.

Таким чином, очікувані результати дослідження мають широкий спектр потенційного застосування, від практичного використання у виробництві до стратегічного планування в енергетичному секторі, що підкреслює важливість та актуальність даної роботи, а також

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8358:2015 «Брикети та гранули паливні з деревини та рослинної біомаси»
2. <https://ukragroconhttps://eco-pellets.net.ua/>
3. [sult.com/news/sonyashnykovi-pelety-efektyvnishi-za-inshi-vydy-tverdogo-palyva-dosvid/](http://sult.com/news/sonyashnykovi-pelety-efektyvnishi-za-inshi-vydy-tverdogo-palyva-dosvid/)
4. <https://bio-uniq.com.ua/ua/pro-pelety-iz-lushpinnya-sonyashnika-2.html>
5. <https://biokray.eu/pelleta-z-lushpyynya-sonyashnyka>

## МОЖЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ НА ПРИКЛАДІ ЕНЕРГІЇ БІОМАСИ

Гук Я. В., аспірант (051 Економіка)

Бялковська О. А., доктор економічних наук, професор

Єрмаков С. В., завідувач навчально-наукової лабораторії «DAK GPS»,

e-mail: [dakgps@pdatu.edu.ua](mailto:dakgps@pdatu.edu.ua)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,

м. Кам'янець-Подільський, Україна

**Актуальність дослідження.** Актуальність розвитку відновлювальної енергетики, зокрема біоенергетики, в Україні зумовлена необхідністю зміцнення енергетичної незалежності, економічного зростання та екологічної безпеки в умовах глобальних кліматичних викликів.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є аналіз економічних перешкод і перспектив розвитку біоенергетики в Україні для забезпечення енергетичної незалежності та сталого розвитку.

### **Основні матеріали досліджень.**

Відновлювальна енергетика має критичне значення для економічної стабільності та розвитку України, адже вона сприяє зменшенню залежності від імпорту викопних енергоносіїв і підвищує енергетичну незалежність країни. Використання біомаси, що є доступним місцевим ресурсом, може дозволити Україні частково замінити газ і вугілля, особливо в опалювальний сезон, зменшуючи витрати на імпорт. Завдяки біоенергетиці, аграрні та лісові відходи отримують нову цінність, що дозволяє економніше використовувати ресурси і зменшувати кількість твердих відходів. Розвиток біоенергетики також сприяє створенню нових робочих місць, особливо в сільських регіонах, де зосереджені ресурси біомаси. Це стимулює економічне зростання в цих регіонах та сприяє підвищенню рівня життя місцевого населення. Окрім того, біомаса є екологічно чистим джерелом енергії, що дозволяє скоротити викиди парникових газів, зменшивши вплив на клімат та покращивши якість повітря. Це важливо для дотримання міжнародних кліматичних зобов'язань України. Завдяки зростаючому інтересу до біоенергетики, Україна може залучати іноземні інвестиції та впроваджувати сучасні технології, що сприятиме інноваційному розвитку країни. Біоенергетика, таким чином, відповідає концепції сталого розвитку, коли економічне зростання відбувається з урахуванням екологічної безпеки. Тож розвиток відновлювальної енергетики, особливо біомаси, стає стратегічним кроком для України в напрямку економічної незалежності та сталого розвитку.

Під час реалізації проєктів з запровадження відновлювальних джерел енергії завжди необхідно враховувати можливі труднощі (ризики), які істотно впливають на спосіб виконання, терміни окупності та кінцеві результати. Це створює перед виробниками певні виклики, які можна умовно поділити на ті, що виникають в наслідок особливостей даної сфери діяльності, та на ті, що зумовлені поточним станом національної економіки та нормативно-правового регулювання.

До першої групи належать: потреба в значних інвестиціях на початковому етапі, часовий інтервал між вкладенням капіталу та початком отримання доходу від реалізації продукції, а також складні логістичні процеси.

Що стосується енергії біомаси, то початковий етап інвестування для повного технологічного циклу, від поля до котла, передбачає польові роботи (для плантацій енергетичних культур) або заготівельні роботи (для сільськогосподарських культур), які включають придбання або оренду необхідної техніки, обладнання для обробки біомаси на біопаливо та облаштування місць для тимчасового зберігання. Переведення існуючих котелень на тверде біопаливо або будівництво нових об'єктів вимагає значних

капіталовкладень у придбання котельного обладнання, будівництво чи реконструкцію приміщень для котелень, складських приміщень для зберігання оперативного запасу палива, а також закупівлю обслуговуючої техніки (систем подачі палива, складського обладнання тощо).

Отримання доходу та повернення вкладених коштів можливе тільки після введення теплогенеруючого обладнання в експлуатацію та початку надання відповідних послуг. Найбільший часовий розрив мають проєкти, пов'язані з вирощуванням енергетичних культур, зокрема деревини, яка починає приносити врожай лише через 3-4 роки після закладання плантацій.

На успішність та термін окупності реалізації проєктів з застосування відновлювальних джерел енергії впливають вибір типу твердого біопалива, ефективність логістичної системи, технічні характеристики котельного обладнання, умови його експлуатації та тарифна політика відповідних органів. Окрім об'єктивних перешкод, ускладнює реалізацію проєктів і ряд економічних та правових факторів. Недосконале законодавство, зокрема, створює додаткові бюрократичні труднощі, пов'язані з виділенням земельних ділянок, отриманням будівельних дозволів і оформленням ліцензій для провадження діяльності. Складна економічна ситуація, в свою чергу, підвищує вартість кредитів, призводить до дефіциту бюджетних коштів і знижує платоспроможність споживачів, що ускладнює фінансування проєктів і робить прибутки менш стабільними.

Недостатній розвиток ринку біопалива також є суттєвою перешкодою, адже наразі на ньому представлена обмежена кількість постачальників твердих палив з біомаси, а кількість котелень на біопаливі та логістична інфраструктура є недостатніми для масштабного впровадження біоенергетики. Новим учасникам важко вийти на цей ринок через обмежений доступ до інформації, нестачу практичного досвіду, високу вартість необхідної техніки та високий рівень монополізації сфер тепло- та електропостачання. Як результат, проєкти стикаються з високими логістичними витратами, нестабільністю постачання біопалива, проблемами з його якістю та коливаннями цін. Подібні труднощі характерні для стартового етапу майже кожного нового виду діяльності й поступово зменшуються з накопиченням досвіду, розвитком технічного забезпечення, створенням інфраструктури та посиленням конкуренції.

**Висновок.** Дослідження показало, що біоенергетика має значний потенціал для посилення енергетичної незалежності та сталого розвитку України, однак її розвиток стримують високі початкові інвестиції, недостатня державна підтримка та слабка інфраструктура. Подолання цих бар'єрів через вдосконалення законодавства та залучення інвестицій може зробити біоенергетику вагомим альтернативним джерелом палива і сприяти екологічній та економічній безпеці країни.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Данчук І. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні. 2015. 157с.
2. Бялковська О. А., Гук Я. В., Єрмаков С. В. Економічні механізми стимулювання використання альтернативних джерел енергії. Scientific research: modern challenges and future prospects. MDPC Publishing. Munich, Germany. 2024. Pp. 309-315.
3. Kucher O. V., Yermakov S. V. Methodology of marketing research of bioeconomic processes. Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics. Economic sciences Issue 1 (38) 2023 P.132-139
4. Кучер О., Єрмаков С. Формування ринку біопалива в Україні. Актуальні проблеми управління та адміністрування. Кам'янець-Подільський, 2022. С.205-208
5. Єрмаков С. В., Гуцол Т. Д., Кучер О. В. Перспективи розвитку енергії біомаси з швидкоростучих деревних культур в Україні. Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика. Тернопіль: ЗУНУ. 2020. С.64-66

## ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ

Шовкун А. С., магістр, e-mail: [andreishovkun62@gmail.com](mailto:andreishovkun62@gmail.com)Дудніков С. М., к.т.н., доц., e-mail: [ivanenkovv@ukr.net](mailto:ivanenkovv@ukr.net)Середа А. І., к.т.н., доц., e-mail: [ais66@btu.kharkov.ua](mailto:ais66@btu.kharkov.ua)Попадченко С. А., магістр, ст. викл., e-mail: [svanp111@ukr.net](mailto:svanp111@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) сьогодні у світі 10% загальних потреб енергії в опаленні покрито завдяки встановленню теплових насосів у будівлях, а до 2030 року їх кількість збільшиться у 2-2,5 рази. Тепловий насос використовує тепло, розсіяне у навколишньому середовищі: у землі, воді, повітрі. Витративши 1 кВт електроенергії у приводі насоса, можна отримати 3-4 кВт теплової енергії, що є достатньо ефективним у застосуванні. До того теплові насоси є екологічно чистими джерелами енергії, використання яких покращить умови енергозбереження викопних палив, запаси яких майже вичерпались та мають постійну тенденцію до збільшення вартості. З іншої сторони у рамках відповіді Європейської спільноти на труднощі та порушення глобального енергетичного потенціалу, спричинені російською агресією в Україні, Європейська комісія представила план заходів REPowerEU щодо припинення постачання російського викопного палива, який включає збільшення поточного рівня індивідуальних теплових насосів до загальних 10 мільйонів одиниць протягом наступних 5 років. За даними Європейської асоціації теплових насосів у період з 2010 по 2022 роки було продано біля 3 мільйонів одиниць. Таким чином розвиток енергетики з тепловими насосами є достатньо перспективним напрямом, який прагне набирати обертів, але вимагає більш детального порівняного аналізу з іншими джерелами енергії [1].

**Мета досліджень.** Обґрунтувати доцільність використання систем енергопостачання з тепловими насосами.

**Основні матеріали досліджень.** З аналізу грошових та енергетичних витрат на забезпечення потреб присадибного господарства встановлено, що три четверті затрат йдуть на опалення [2]. Прийнято рішення виконати умови енергозабезпечення від теплових насосів (ТН) та порівняти його з іншими видами опалення. Використання ТН має свої переваги і недоліки: переваги – невичерпаність, екологічна чистота; висока енергоефективність; недоліки - розсіяність в доквіллі, висока вартість та металоємкість. Принцип роботи ТН пояснюється на рис. 1.

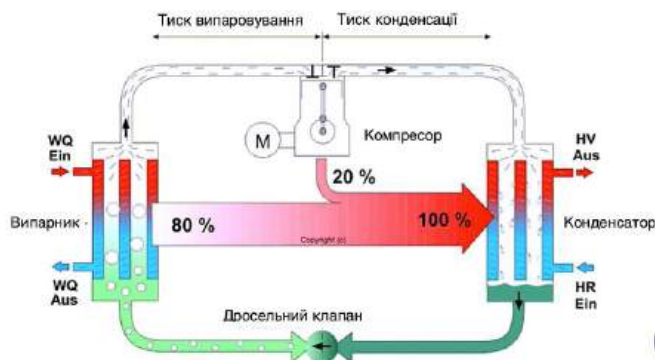


Рисунок 1 – Принципова теплова схема роботи теплового насоса

До складу ТН входять випарник, конденсатор та компресор, де компресором, який живиться електричною енергією виконується перенос тепла від випарника до конденсатора. Випарник встановлюється біля джерела природного тепла (повітря, вода, ґрунт), а конденсатор в середовищі для обігріву. Впровадження ТН дозволяє вбудувати його в будь-яку існуючу водяну систему опалення. Ефективність роботи ТН характеризується коефіцієнтом

COP, величина якого залежить від потужності живлення, тепловіддачі, різниці температур, принципу роботи ТН, властивостей холодоагенту.

$$COP = \frac{W_{вх}}{W_{вих}}, \quad (1)$$

де  $W_{вх}$  – вхідна електрична енергія для живлення компресора ТН, *кВт·год*;

$W_{вих}$  – вихідна теплова енергія, яку отримує споживач від ТН, *кВт·год*.

Так при значенні COP = 5 означає, що на кожен кВт електричної потужності, витраченої на роботу теплового насоса, буде видано 5 кВт теплової потужності для потреб споживача.

Результати аналізу економічної доцільності впровадження ТН в порівнянні з електро- та газовим котлом, представлено на рисунку 2. За умов розрахунків прийнято Динаміка витрат на купівлю та експлуатацію систем опалення будинку площею 100 м<sup>2</sup> за допомогою газового котла, електричного котла та теплового насоса (теплова потужність 18 кВт, тип роботи: ґрунт-вода ) фірми Valiant (Німеччина)

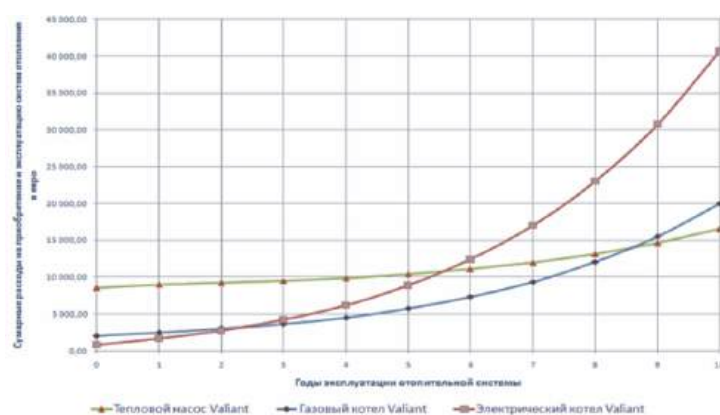


Рисунок 2 – Динаміка витрат на експлуатацію ТН та газового і електричного котла

Аналіз динаміки витрат вказує, що ТН, в порівнянні з електро- та газовим котлом, досягає позитивного економічного ефекту відповідно після 6 та 9 років експлуатації. З врахуванням, що термін експлуатації ТН від 20 років можна вважати позитивним економічний ефект від їх використання.

**Висновки.** Результати розрахунків сумарних витрат на купівлю та експлуатацію систем опалення накопичувальним шляхом показують, що за рахунок зниження частини оплачуваної початкової вартості теплового насоса та нижчих експлуатаційних витрат конкурентне перевищення теплового насоса починається:

- після 6 років експлуатації порівняно витрат - "тепловий насос" - "електричний котел";
- після 9 років експлуатації порівняно витрат - "тепловий насос" - "газовий котел".

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Methodological aspects of evaluating the effectiveness of using local energy systems with renewable sources [Electronic resource] / S. Dydnikov, O. O. Miroshnyk, S. J. Kovalyshyn, V. V. Ptashnyk, K. Mudryk // Renewable Energy Sources : 6th International Conference, Krynica, 12-14 June 2019. - Krynica, 2020. - Vol. 154. - DOI [10.1051/e3sconf/202015407013](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407013)

2. Development of Algorithm for the Operation of a Combined Power Supply System with Renewable Sources [Electronic resource] / M. Qawaqzeh, S. Dudnikov, O. Miroshnyk, O. Moroz, O. Savchenko, I. Trunova, V. Pazyi, D. Danylchenko, O. Iegorov, S. Halko, R. Buinyi // IEEE, KhPI Week 2022 : Conference Proceedings 3rd KhPI Week on Advanced Technology, Kharkiv, 03-07 October 2022. - Kharkiv, 2022. - Ст. 22186808. - DOI [10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372](https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372).



## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ

Козирський В. В., д.т.н., проф., e-mail: [kozyrskyivv@gmail.com](mailto:kozyrskyivv@gmail.com)

Компанія «ALOTEK technology», Польща

Бунько В. Я., к.т.н., доц., e-mail: [VBunko@gmail.com](mailto:VBunko@gmail.com)

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут», м.Бережани, Україна

**Актуальність дослідження.** Наявність унікальних властивостей функціональних сплавів (ФС) обумовлює їх належність до smart матеріалів SMA (Shape Memory Alloys) та високу актуальність їх дослідження та застосування у різних галузях, в тому числі в електроенергетиці.

Застосування функціональних сплавів з пам'яттю форми має актуальне значення, яке полягає у їх використанні при перетворенні низькотемпературного тепла в механічну роботу, а пізніше в електричну енергію на базі теплового двигуна, робочим органом якого являється колесо з пружинами, виготовлених із дроту на основі сплаву Ni-Ti-Cu.

**Мета досліджень.** Мета даного дослідження полягає у випробуванні та експериментальному визначенні термомеханічних характеристик функціонального сплаву у вигляді пружин, виготовлених на основі сплаву Ni-Ti-Cu (Nitinol).

**Основні матеріали досліджень.** Функціональні сплави з пам'яттю форми - це матеріали, здатні витримувати великі деформації в холодному стані, але повертатися до своїх початкових, «запам'ятованих» форм при нагріванні. Як і у випадку з дротом, деформація зазвичай передбачає подовження, тоді як відновлення форми - це стиснення до попередньо розтягнутої довжини. Ефект, зумовлений змінами в кристалічній структурі матеріалу, не пов'язаний з тепловим розширенням і стисненням [1].

Нітинолові сплави з пам'яттю форми автоматично відновлюють свою форму після певної термічної обробки та відповідного термозагартування. Ця зміна є характеристикою пам'яті форми сплавів Nitinol. Пам'ять форми можна розділити на односторонню, двосторонню та повну пам'ять форми відповідно до стану відновлення [2].

Для випробування використовувались пружини різної попередньої деформації (рис.1) на випробувальній установці, яка зображена на рис.2 [3].

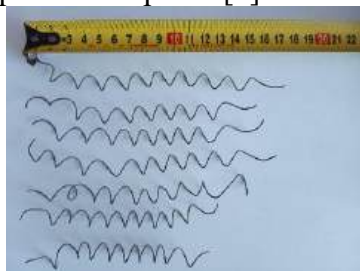


Рисунок 1 – Збірні пружини з сплаву Nitinol різної попередньої деформації

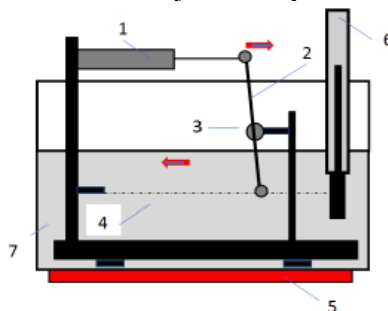


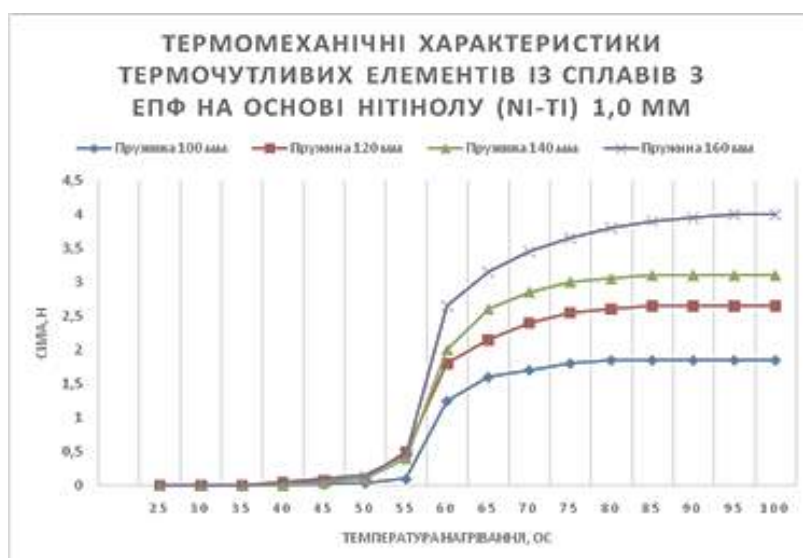
Рисунок 2 – Модель дослідної установки для зняття термомеханічних характеристик термочутливих елементів [3]: 1 – динамометр; 2 – важіль; 3 – шарнір; 4 – термочутливий елемент; 5 – нагрівач; 6 – термометр; 7 – ванна з водою

Випробування проводились із пружинами різної поперечної деформації, довжиною відповідно 100, 120, 140 та 160 мм (рис.1).

**Таблиця 1. Дані випробування пружин на основі сплаву Nitinol**

Температура нагрівання, °С	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Пружина 100 мм	0	0	0	0	0,02	0,04	0,1	1,25	1,6	1,7	1,8	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Пружина 120 мм	0	0	0	0,05	0,07	0,1	0,5	1,8	2,15	2,4	2,55	2,6	2,65	2,65	2,65	2,65
Пружина 140 мм	0	0	0	0	0,05	0,1	0,4	2,0	2,6	2,85	3,0	3,05	3,1	3,1	3,1	3,1
Пружина 160 мм	0	0	0	0,05	0,10	0,15	0,5	2,65	3,15	3,45	3,65	3,8	3,9	3,95	4,0	4,0

На основі даних таблиці 1, побудуємо графік залежності температури від зусилля, яке розвиває пружина під дією температурного середовища.



**Рисунок 3 – Термомеханічні характеристики функціональних елементів на основі нітінолу діаметром 1,0мм**

Як видно із графіка, при збільшенні деформації пружини, зусилля зростає, і складає для пружин довжиною 100 мм – 1,85Н, 120мм – 2,65Н, 140мм – 3,1Н та 160мм – 4,0Н відповідно.

**Висновок.** Таким чином, проведені дослідження дозволяють обґрунтувати, що при встановленні пружин у відповідне робоче колесо правильної геометричної форми, можна створити тепловий двигун для перетворення теплової енергії в механічну та відповідно в електричну.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Banks, R., "Getting Warmer: The Nitinol Engine," #12, R&D Innovator Vol. 1, No. 4, November 1992, [http://www.winstonbrill.com/bril001/html/article\\_index/articles/1-50/article12\\_body.html](http://www.winstonbrill.com/bril001/html/article_index/articles/1-50/article12_body.html), accessed 1-12-2002.

2. <https://ua.toptitech.com/info/characteristics-and-functions-of-nitinol-shape-79319974.html> (дата звернення 21.10.2024)

3. Бунько В. Я., Козирський В. В. Дослідження елементів з ефектом пам'яті форми та визначення їх термомеханічних характеристик при різних температурах загартування. Збірник наукових праць національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова. Наукове видання № 1 (494) 2024. Видавничий дім «Гельветика». 2024. С. 69-73.

МОДЕЛЮВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ  
В ПРОГРАМІ «CISCO PACKET TRACER»

Колодійчук Л. С., к.пед.н., доцент, e-mail: [kollub@ukr.net](mailto:kollub@ukr.net)  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Відновлювані джерела енергії набувають все більшого значення в сучасному світі та відіграють ключову роль у електроенергетиці, сприяючи зниженню впливу на навколишнє середовище. Гіпотетично моделювання відновлюваних джерел енергії, дозволяє наочно продемонструвати можливості інтеграції таких систем у різні середовища та дослідити потенційні переваги та недоліки їх застосування. Одним із таких інструментів для моделювання є програма Cisco Packet Tracer [1-3], яка дозволяє створювати розширені моделі мереж з використанням компонентів, що імітують джерела живлення, маршрутизатори, комутатори та інші елементи інфраструктури.

**Метою роботи** є розглянути можливості застосування симуляційного інструменту для створення моделей інфраструктури зі сонячними та вітровими електростанціями, а також для тестування взаємодії елементів мережевої інфраструктури з відновлюваними джерелами енергії.

**Основні матеріали досліджень.** Програма Cisco Packet Tracer в основному спеціалізується на мережевих рішеннях [4]. Проте може бути адаптована для імітації енергетичних систем із відновлюваними джерелами енергії. Зокрема. застосування модуля «Internet of Things» дозволяє додати компоненти, що симулюють сонячні панелі, контролери батарей, вітрові турбіни та інші пристрої. Це забезпечує можливість імітації реальних процесів у відновлюваних енергетичних системах і дозволяє досліджувати їх інтеграцію у локальні мережі, зокрема розумні будинки та мікромережі.

У ході дослідження з'ясовано переваги моделювання в середовищі Packet Tracer, зокрема:

1. моделювання різних топологій, що включають як централізовані, так і децентралізовані варіанти розподілу енергії;
2. реагування на зміни потужності, тобто можливість візуалізації, як мережа реагує на зміну інтенсивності сонячної радіації чи швидкості вітру;
3. автоматизація з використанням IoT-пристроїв для автоматичного керування споживанням та накопиченням енергії;
4. безпечне тестування з можливістю проводити досліди без ризику фізичних пошкоджень обладнання або втрати даних.

Для прикладу, моделювання фотоелектричної системи в Cisco Packet Tracer включає такі етапи:

1. додавання компонентів з модуля «IoT», включаючи сонячні панелі та контролери батарей. Сонячна панель у моделі буде генерувати енергію, яка може бути накопичена у батареї;
2. налаштування параметрів сонячної панелі, що дозволить змінювати її потужність відповідно до погодних умов і відтворити реальні сценарії;
3. додавання пристроїв-споживачів електроенергії до моделі, щоб дослідити, як відновлювана енергія підтримує їхню роботу.

Для моделювання вітрових турбін у Cisco Packet Tracer використовуються інші пристрої IoT, що імітують генерацію енергії вітром. Однак, подібно до сонячних панелей, вони налаштовуються з урахуванням умов, що дозволяють вивчати ефективність виробництва електроенергії за різних умов вітру.

Вважаємо, що моделювання відновлюваних джерел енергії (рис.1) в Packet Tracer є корисним інструментом для дослідження і використання в освітньому процесі підготовки

майбутніх фахівців електротехнічного профілю. Використовуючи симуляцію, можна отримати уявлення про взаємодію мережевих пристроїв зі системами відновлюваних джерел енергії, розраховувати споживання та запас енергії, що важливо для інтеграції таких систем у реальні енергомережі.



**Рисунок 1 – Видгляд фотоелектричної панелі, вітрової турбіни та лічильника енергоспоживання в Packet Tracer**

З'ясовано можливість створення електромережі з різними пристроями, налаштування споживання електроенергії й обмеження їх доступу до зовнішньої мережі, що імітує роботу автономної системи на основі сонячних батарей чи вітрогенераторів.

Окрім цього в Packet Tracer можна також створити умовні обмеження на споживання або виробництво електроенергії пристроями в певні години, що імітують природні цикли відновлювальних джерел, таких як сонце чи вітер.

У проектуванні енергетичних систем для розумних будівель часто застосовують гібридні системи, що поєднують традиційні та відновлювані джерела енергії. За допомогою Packet Tracer можна змодельовати невелику гібридну систему, що переходить з однієї мережі на іншу в залежності від умов: наприклад, використовуючи енергію від акумуляторів, які заряджаються від сонячних панелей, або переходячи на резервне живлення при відсутності сонця.

Тобто, Packet Tracer дозволяє візуалізувати поточне енергоспоживання системи, контролювати потоки живлення між компонентами мережі. Це надає додаткові можливості для оцінки ефективності використання відновлювальних джерел, дозволяє виявити слабкі місця у структурі енергоспоживання та оптимізувати їх роботу.

**Висновки.** Таким чином, програмне забезпечення Packet Tracer пропонує потужний інструментарій для моделювання відновлюваних джерел енергії за концепцією «Розумний дім», що дозволяє досліджувати та оптимізувати енергетичні системи у рамках мережевої інфраструктури. Використання симуляції допомагає тестувати різні сценарії автоматизації, візуалізувати роботу відновлюваних джерел енергії, розширює можливості для інтеграції в мережеві системи та сприяє покращенню навичок проектування таких систем у сучасному цифровому світі.

Гіпотетично за допомогою Cisco Packet Tracer, можна проектувати і складні системи управління енергією, що інтегрують сучасні технології й забезпечують ефективне використання ресурсів у різних сферах – від електроосвітлення до управління кліматом і безпекою.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Використання Cisco Packet Tracer. URL: <https://ua5.org/lan/1469-vykorystannya-cisco-packet-tracer.html> (дата звернення: 29.10.2024).
2. Кеньо Г. В. Моделювання розумного будинку в середовищі Cisco Packet Tracer. Практикум [Текст] : навч. посіб. / Г. В. Кеньо, В. В. Хома ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2022. - 103 с.
3. Коробейнікова Т. І. Технології захисту локальних мереж на основі обладнання CISCO [Текст] : навч. посіб. / Т. І. Коробейнікова, С. М. Захарченко; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2021. - 231 с.
4. Про програму Cisco Packet Tracer. URL: <https://rubydevelopers.org/t/cisco-packet-tracer/382> (дата звернення: 29.10.2024).

## ПРИРОДНІ ГЕОТЕРМАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА: ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЕНЕРГОРЕСУРС

Курепін В. М., к.е.н, доц., e-mail: [kypins@ukr.net](mailto:kypins@ukr.net)  
Миколаївський національний аграрний університет

**Актуальність дослідження.** Альтернативні джерела енергії набувають все більшого значення та популярності. Сьогодні маємо широкий вибір доступних варіантів, але є питання. Яке альтернативне джерело енергії найкраще підходить для потреб. Для відповіді на це питання необхідне аналіз видів альтернативних джерел енергії, їхніх плюсів та мінусів, зупинимося на природних геотермальних джерелах.

**Мета досліджень.** Проаналізувати унікальний набір переваг і недоліків геотермальних джерел енергії, різних факторів: місце розташування, потреби в енергії тощо. На основі аналізу прийняти обґрунтоване рішення щодо можливості та потрібності використання такої енергетики в Україні.

**Основні матеріали досліджень.** Технологію отримання електрики в промислових масштабах, що від вугільній ТЕС, що від сучасній АЕС можна вважати однаковою, Різниця в тому, що обертання турбіни генератора потужним потоком гарячої пари від води, що скипіла через примусове розігрів в ТЕС відбувається за рахунок спалювання вугілля, а в реакторі АЕС кип'ятять ТВЕЛі, які нагріваються в результаті керованої ланцюгової реакції. Це найстаріший і найпопулярніший на сьогоднішній день метод отримання електрики [1].

Людство, ще на початку минулого століття зрозуміло и почало використовувати пари природних геотермальних джерел (1904 рік італієць П'єро Джинорі Конті, перша у світі геотермальна електростанція). Використання природного тепла планети для отримання пари - це і є геотермальна енергетика [2]. Розглянемо детальніше. Тверде ядро Землі знаходиться на глибині близько 5100 км, температура поверхні ядра дорівнює приблизно 6000 °С. При наближенні до земної кори температура поступово знижується. Кожні 100 метрів на певній ділянці земної товщі відбувається зміна температури, у середньому це 3 °С (геотермічний градієнт).

Температурний градієнт, залежно від регіону, змінюється, наприклад, є регіони де на горизонті 12 км було зафіксовано температуру 220 °С (Кольська надглибока свердловина), у деяких достатньо пробурити від кількох сотень метрів за кілька кілометрів (від 0,5 до 3 км, штат Орегон, США, Південна Африка). Звідси висновок: хорошу геотермальну станцію будь-де не побудуєш. Треба переконатися що ділянка знаходиться в місці, де сильна геологічна активність (відбуваються землетруси, є діючі вулкани).

Залежно від джерела геотермальної енергії є види геотермальних електростанцій [3]. Розберемося, які вони бувають: а) гідротермальні станції - якщо є відповідне джерело пари, буде діяти спрощена схема гідротермальної електростанції прямого циклу - по трубі піднімається гаряча пара, яка розкручує турбіну генератора, а потім спрямовується в атмосферу. Якщо з свердловини б'є пароводяні суміші з температурою вище 150 °С, то буде потрібно станція комбінованого циклу; б) петротермальні станції - закачування води в глибоку свердловину з розігрітою породою, де рідина перетворюється на пару і повертається назад на турбіну електростанції.

Компактність та зручність, важливий плюс геотермальних електростанцій. Електропостачання для складних районів та віддалених областей із ізольованою інфраструктурою завдання непросте [4]. Воно ускладнюється ще більше при транспортній недоступності, рельєфі який може не підходить для будівництва традиційних електростанцій. Технологія будівництва проста: теплоносій береться із землі, машинний зал з турбіною, генератором та градирнею будуються на поверхні та займають дуже мало місця. Навіть у гористій місцевості для геотермальної електростанції знадобиться невелика ділянка (приблизно 400 м<sup>2</sup>) і автомобільна дорога.



Ще одним плюсом геотермальних електростанцій є їхня екологічність. Функціонування геотермальної станції практично нешкідливе, викид вуглекислого газу в атмосферу оцінюється в 45 кг CO<sub>2</sub> на 1 кВт/ч виробленої енергії. Для порівняння, зокрема: на ту ж кіловат-годину у нафтових припадає 840 кг CO<sub>2</sub>, у вугільних станцій - 1000 кг, газових – 469 кг.

Можливість паралельного видобутку корисних копалин є ще одною позитивною характеристикою геотермальних електростанцій. На деяких енергоблоках ГеоТЕС вже давно добувають газу і метали, розчинені в пароводяній суміші, що надходить з-під землі.

Але є і недоліки: робоча рідина - небезпечна. Не та, що виробляється ГеоТЕС, додаткових токсичних викидів немає, лише невеликий обсяг вуглекислого газу. Справа в тому, що підземні води та пара, це суміш із земних глибин, яка насичена газами та важкими металами властивими конкретній ділянці земної кори: миш'як, аміак, свинець, сірка, кадмій, цинк, фенол, бор тощо. У деяких випадках в атмосферу або водоймища трубами до ГеоТЕС тече вражаючий коктейль, який може викликати локальну екологічну катастрофу.

Уникати локальних екологічних катастроф допомагає дотримання екологічної безпеки [5]. Відправляючись в атмосферу, пар ретельно фільтрується від металів та газів, а конденсат закачується назад у свердловину. Але геотермальна станція в разі позаштатних ситуацій чи навмисного порушення технічного регламенту може нанести довікільню певної шкоди. Є інші недоліки, такі як: висока вартість за кіловат, відносно низька потужність, але екологічна безпека повинна бути надійною.

**Висновок.** Отже, прагнення нашої держави здійснити «зелений перехід» прискорює процес переходу на різні форми відновлюваної енергії, у тому числі і на потенціал геотермальної енергії. Україна має всі необхідні передумови, вона ставить за мету стати енергетично незалежною державою і досягти цілей кліматичної нейтральності.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бацуровська І. В. Особливості децентралізованих систем електропостачання на базі сонячних панелей // Стратегічні орієнтири розвитку науки, освіти, технологій і суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 5 листопада 2022 р.): у 2 ч. Біла Церква : ЦФЕНД, 2022. Ч. 1. С. 31-32. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13359>.

2. Курепін В.М. Марченко Д.Д. Сучасні технології захисту навколишнього середовища від впливу сонячних електростанцій. Modern Economics. 2024. № 44(2024). С. 79-84. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V44\(2024\)-13](https://doi.org/10.31521/modecon.V44(2024)-13).

3. Орешко К. Ф. Кліматично нейтральні малі та середні бізнес-компанії: уникнути, зменшити, компенсувати. Екологія, природокористування та охорона навколишнього середовища: прикладні аспекти : матеріали VII всеукраїнської науково-практичної заочної конференції (м. Київ, 17 травня 2024 р.). Київ : МДУ, 2024. С. 34-37. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18296>.

4. Курепін В. М., Іваненко В. С. Екологія та війна, погляд через минуле у майбутнє, глобальні виклики, загрози // Ekologia i racjonalne zarzadzanie przyrodą: edukacja, nauka i praktyka [Zasób elektroniczny]: materiały z międzynarodowej konferencji naukowo-praktycznej (Łomża – Żytomierz, 15.11.2023 r.). Łomża : MANS w Łomży, 2023. С. 265-275. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/16200>.

5. Batsurovska I., & Kurepin V. (2024). Prospects for the use of wind power plants: advantages and environmental safety. Traditions and new scientific strategies in the context of global transformation of society. Baltija Publishing, 1, 34-55. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-406-1-2>.

## ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МІКРОМЕРЕЖ

Мотайло М. С., аспірант, e-mail: [maksim.motaylo@gmail.com](mailto:maksim.motaylo@gmail.com)Тоберт М. Ю., аспірант, e-mail: [tobert.mikhail@gmail.com](mailto:tobert.mikhail@gmail.com)Мороз О. М. д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Законодавство України визначає енергетичну децентралізацію одним із пріоритетних завдань для зміцнення стійкості енергосистеми та підвищення енергобезпеки країни. З оглядом на це були створені умови для розвитку проектів розподіленої генерації [1]. Розосереджена генерація набуває все більшого впровадження в енергетичному секторі України, так, відповідно до розпорядження Кабінету міністрів України від 18 липня 2024 року [2] було схвалено Стратегію розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року, яка передбачає перегляд існуючого підходу до розбудови енергосистеми шляхом розвитку генеруючих розподілених потужностей [3]. Таким чином, актуальність зумовлена зростаючими вимогами до надійності, стійкості та екологічності енергопостачання в світі та в Україні. Із розвитком відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і потребою зменшити викиди парникових газів, мікромережі стають важливим елементом енергетичної інфраструктури, здатним ефективно інтегрувати ВДЕ, акумулювати електроенергію та забезпечувати її стабільне постачання, навіть у разі аварій в основній мережі.

**Мета досліджень.** Проведення аналізу щодо проблем та перспектив розвитку мікромереж в світі та в Україні.

**Основні матеріали досліджень.** Мікромережа — це локальна мережа з'єднаних між собою електричних пристроїв, якими можна керувати, під'єднуючись або від'єднуючись від великої електромережі, конфігурація цих пристроїв може розрізнятися.

Компонентами мікромережі, як правило, є пристрої зберігання та генерації електроенергії, такі як акумулятори та джерела розосередженої генерації: сонячні електростанції (СЕС), вітроенергетичні установки (ВЕУ), біогазові установки (БГУ), резервні генератори, зокрема дизельні. Такі мережі мають засоби моніторингу, які можуть працювати без участі людини, а також здатні від'єднуватися від основної мережі і працювати автономно, навіть якщо центральна розподільча мережа вийшла з ладу [4].

Міністерство енергетики США (Department of Energy — DOE) визначає мікромережу як «групу взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергетичних ресурсів у чітко визначених електричних межах, яка діє як єдиний керований об'єкт по відношенню до енергосистеми. Мікромережа може підключатися і відключатися від мережі, що дозволяє їй працювати як в мережевому, так і в автономному (острівному) режимах» [5]. Крім того, DOE стверджує, що «мікромережі були визначені як ключовий компонент “розумної мережі” для поліпшення надійності та якості електроенергії, підвищення енергоефективності системи та забезпечення можливості енергонезалежності для окремих об'єктів кінцевих споживачів». Станом на 2022 рік у США було встановлено близько 10 ГВт потужності мікромереж. Це значення не є великим, але нові мікромережі проектується і будуються, наразі в США налічується 4347 мікромереж [6,7]. Перевагами мікромереж є здатність до інтеграції з розподільними мережами, використання в них технологій інтелектуальних мереж, а також можливість зниження пікового навантаження. Значною перевагою є забезпечення енергопостачання комплексів із критичною потребою в електроенергії і можливість відпускати електроенергію в об'єднану мережу.

Згідно з енергетичною стратегією України [8], однією з цілей майбутнього розвитку енергетичної системи України стане досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності. Мікромережі сприяють цьому, оскільки мають в своїй архітектурі СЕС, ВЕУ, БГУ та інші ВДЕ. На відміну від традиційної електричної мережі мікромережі спираються на розподілені та екологічно чисті джерела, що робить енергосистему стійкішою, більш гнучкою та знижує викиди CO<sub>2</sub> [5].

У кожному регіоні країни можуть бути доступні свої енергетичні ресурси. Наприклад, БГУ можуть бути корисними в сільських районах, де є значні об'єми органічних відходів, а гідроенергетика — в гірських і водних зонах. Мікромережі дають змогу адаптувати структуру енергопостачання під особливості місцевості, забезпечуючи більшу енергетичну автономію, особливо об'єктів критичної інфраструктури. Відповідно до умов воєнного часу, такі об'єкти крім ракетних ударів зазнають кібератак. Кібербезпека мікромереж є важливим і складним завданням, оскільки їхня робота залежить від цифрових технологій і мережевого управління. Впровадження розумних датчиків, цифрових систем управління і технологій інтернету речей робить мікромережі вразливими до кібератак, що може призвести до серйозних наслідків для енергопостачання. З оглядом на це, в 2019-му році були досліджені технології захисту мікромереж та випробувано їх відновлення після хакерських атак. Ця система [4] має три рівні: 1) на першому рівні системи енергоменеджменту працюють на рівні розподільчої системи для забезпечення ситуаційної обізнаності про стан місцевої мережі, прогнозування доступності енергоресурсів, а також дозволяють провести швидке переключення між джерелами або накопичувачами у разі відключення електропостачання; 2) другий рівень дозволяє розподіленим енергоресурсам спільно підтримувати електропостачання без центрального контролю. Навіть якщо така подія, як кібератака, виведе з ладу диспетчерську, мікромережі можуть ефективно “спілкуватися” одна з одною, щоб визначити стан сусідніх мікромереж і, за потреби, долучитися до їхнього виробництва енергії. Цей рівень також здатен підтримувати базовий рівень енергопостачання критично важливих навантажень, таких як лікарні, пожежні станції тощо; 3) третій рівень забезпечує автономне відновлення енергосистеми без втручання людини. Команда успішно ресинхронізувала чотири мікромережі, незважаючи на короткі замикання та великі навантаження, а потім змогла перезапустити всю мережу.

Вбудований інтелект цієї трирівневої архітектури управління є унікальним, оскільки дозволяє мережі функціонувати без втручання людини, значно скорочуючи час, необхідний для відновлення електропостачання після відключення, з годин і днів до декількох хвилин.

**Висновок.** Мікромережі є перспективним напрямком розвитку енергетики, що дозволяє створювати локальні енергосистеми з розподіленими джерелами та відновлюваними енергетичними ресурсами. Вони можуть працювати автономно, забезпечуючи надійне енергопостачання навіть у разі відключення центральної мережі. Важливою перевагою є можливість адаптації під місцеві ресурси, що підвищує стійкість і зменшує викиди CO<sub>2</sub>, підтримуючи цілі кліматичної нейтральності. Необхідність кібербезпеки та захисту від атак залишається викликом, який вимагає розвитку інтелектуальних систем управління.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Виклики та можливості розвитку розподіленої генерації та мікромереж в громадах. URL: <http://surl.li/hmlkbe> (дата звернення: 31.10.2024).
2. Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року: URL: <http://surl.li/venuie> (дата звернення: 31.10.2024).
3. Уряд схвалив стратегію розвитку розподіленої генерації до 2035 року. URL: <http://surl.li/maykqy> (дата звернення: 31.10.2024).
4. Success Story—Using Renewable Microgrids to Keep the Lights On. URL: <http://surl.li/qopyjo> (дата звернення: 31.10.2024).
5. Microgrid Fundamentals How They Work & The Roles Generators Play. URL: <http://surl.li/kgprjo> (дата звернення: 31.10.2024).
6. US microgrid outlook 2024. URL: <http://surl.li/onejhg> (дата звернення: 31.10.2024).
7. US microgrid outlook 2022. URL: <http://surl.li/esfdtk> (дата звернення: 31.10.2024).
8. Енергетична стратегія до 2050 року. URL: <http://surl.li/wpbyog> (дата зверн.: 31.10.2024).

АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ.  
ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ  
ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

Оберемок Д. О.<sup>1</sup>, аспірант, e-mail: [dimaoberemok1992@gmail.com](mailto:dimaoberemok1992@gmail.com)

Kamil Wittek<sup>2</sup>, Wiktor Solorz<sup>2</sup>, Wiktor Michalak<sup>2</sup>, Taras Shchur<sup>3</sup>,

Миргород Д. Г.<sup>1</sup>, аспірант, e-mail: [19mirgoroddenis92@gmail.com](mailto:19mirgoroddenis92@gmail.com)

Мірошник О. О.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [omirosnyk@btu.kharkiv.ua](mailto:omirosnyk@btu.kharkiv.ua)

Серета А. І.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [ais66@btu.kharkiv.ua](mailto:ais66@btu.kharkiv.ua)

Пазій В. Г.<sup>1</sup>, ст. викл., e-mail: [pazziy@btu.kharkiv.ua](mailto:pazziy@btu.kharkiv.ua)

Державний біотехнологічний університет<sup>1</sup>

Silesian University of Technology, Poland<sup>2</sup>

Cyclone Manufacturing Inc, Mississauga, Ontario, Canada<sup>3</sup>

**Актуальність дослідження** полягає у проблемі формування сценаріїв перспективного розвитку електричних мереж, перспективи інтеграції новітніх технологій та оптимізацію роботи об'єднаної енергетичної системи. Рівні споживання електроенергії впродовж доби, місяця або року не є сталими, а генерація на електростанціях які працюють на твердому паливі (ТЕС, АЕС) не мають можливості постійно змінювати свої потужності. Зміни режиму роботи генераторів ТЕС і АЕС негативно впливає на ресурс та собівартість обладнання станцій. В цей час генерація сонячних та вітрових електростанцій залежить від погодних умов та часу доби, і не завжди співпадає з попитом споживачів. Тому моделювання розвитку генеруючих потужностей та аналіз сценаріїв розвитку попиту та пропозиції електричної енергії повинні, зокрема, враховувати вплив заходів з енергоефективності та потенціал управління попитом, розвиток технологій збереження енергії, а також вплив складнопрогнозованих технологій виробництва електричної енергії (ВЕС та СЕС) та необхідність забезпечення достатності резервних потужностей для компенсації коливань виробітку електричної енергії такими технологіями. [1].

**Мета досліджень.** Аналіз стану електричних мереж та можливості інтеграції сонячних електростанцій та систем зберігання енергії в електричній мережі.

**Основні матеріали досліджень.** Пошук та створення нових джерел електричної енергії зумовлена постійним зростанням споживання та нерівномірністю розподілу за часом та за місцем розташування споживачів електричної енергії. Альтернативна енергетика постійно розвивається, тому її частка в енергоринку збільшується.

В Україні за 2022-2024 роки велика частина електрогенеруючого обладнання була пошкоджена або повністю зруйнована. На відновлення цих генеруючих потужностей витрачаються великі кошти, також для збереження електричних мереж потрібні додаткові видатки на створення захисних споруд. Це все призводить до зростання вартості електроенергії. Високий рівень зношеності класичного енергообладнання, що працює на твердому паливі, робить більш привабливим інвестування коштів в новітні альтернативні джерела енергії. В цей час розвиток новітніх технологій в галузі відновлювальної енергетики та оптимізація технологічних процесів призводить до зниження собівартості обладнання для сонячних систем. Це стимулює розвиток альтернативної енергетики та сприяє інвестуванню в цю галузь економіки [1].

Крім цього в Україні є великий потенціал для побудови сонячних електростанцій для використання як у промисловості так і у частих домоволодіннях. Вартість електроенергії для побутових споживачів за останні роки зростає майже втричі, тому зараз генерація сонячної електроенергії має конкурентну спроможність. Перевагою сонячної енергетики є доступність та невичерпність джерела.

Розвиток сонячної енергетики підтримується державою. При правильному проектуванні сонячних електростанцій – окупність складатиме не більше 10 років. Економічний механізм

винагороди за генерацію електроенергії з альтернативних джерел, таких як сонце або вітер, та стимулювання розвитку відновлювальної енергетики у вигляді «зеленого тарифу» запроваджено у нашій країні з 2008 року. Даний тариф дозволяє продавати електричну енергію, згенеровану з відновлювальних джерел електроенергії за пільговими тарифами не менше 10 років. Сонячна енергетика займає найбільшу частину ринку відновлювальних джерел енергетики (близько 60%).

Відновлювальні джерела електроенергії на даний час не здатні повністю замінити собою електростанції на твердому паливі. Тому актуальним питанням зараз є системи накопичення електричної енергії. Крім класичних методів збереження електроенергії (гідроакumuлюючі станції, гідроелектростанції) активний розвиток мають системи для збереження електричної енергії, створені на базі акумуляторних батарей – акумуляторні системи накопичення енергії (АСНЕ) (Battery energy storage system, BESS). Найбільша користь акумуляторних систем полягає у миттєвій зміні своєї потужності від 0 до номінальної, що позитивно впливає на стійкість електричних мереж при ненормальних режимах роботи [3]. Також маневреність акумуляторних систем може використовуватися для підтримання сталої частоти електричної мережі або для регулювання напруги у споживачів, віддалених від джерела генерації.

Актуальним питанням є використання сонячних панелей та акумуляторних систем для створення автономних систем при якому надлишок сонячної енергії в часи мінімального споживання буде зберігатися в акумуляторних батареях, а у часи пікового навантаження – генерувати в мережу.

На сьогоднішній день існують працюючі системи накопичення електроенергії, що створені на базі акумуляторних батарей від компанії Tesla, потужністю 100МВт та ємністю 129 МВт·год, які накопичують електроенергію та генерують її в години пікових навантажень, сприяючи стабілізації роботи та зменшення навантаження на електричну мережу.

В Україні перша система накопичення енергії запрацювала в 2021 році в м. Енергодар потужністю 1 МВт та ємністю 2,25 МВт·год, а вже в 2025 році в Україні планується встановлення систем, загальною потужністю 200 МВт.

Ці системи будуть використовуватися для балансування енергетичної системи та живлення критичних споживачів.

У системах зберігання енергії відсутні важкі елементи такі як: статори та ротори генераторів, обмотки силових трансформаторів. Батареї мають достатньо компактні розміри, що дає можливість встановлювати їх під землею, в захищених спорудах.

**Висновок.** В результаті проведеного аналізу зроблено висновок, що системи зберігання енергії та сонячні електростанції мають достатній потенціал для їх використання в електричних мережах, що призведе до вагомого внеску у стійкість електричної мережі та сталого електропостачання споживачів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кодекс системи передачі. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text> (дата звернення: 25.10.2024)
2. O. Savchenko et al., "Improving the Efficiency of Solar Power Plants Based on Forecasting the Intensity of Solar Radiation Using Artificial Neural Networks," 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 137-140, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570009>.
3. Miroshnyk O, Moroz O, Shchur T, Chepizhnyi A, Qawaqzeh M, Kocira S. Investigation of Smart Grid Operation Modes with Electrical Energy Storage System. *Energies*. 2023; 16(6):2638. <https://doi.org/10.3390/en16062638>



НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ БАЛАНСУВАННЯ  
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Оксенич Р. В.<sup>1</sup>, аспірант, e-mail: [okrus785@proton.me](mailto:okrus785@proton.me)

Katarzyna Markowska<sup>2</sup>, Agata Markowska<sup>2</sup>,

Мірошник О. О.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [omiroszhyk@btu.kharkiv.ua](mailto:omiroszhyk@btu.kharkiv.ua)

Мороз О. М.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@btu.kharkiv.ua](mailto:moroz.an@btu.kharkiv.ua)

Пазій В. Г.<sup>1</sup>, ст. викл., e-mail: [pazziy@btu.kharkiv.ua](mailto:pazziy@btu.kharkiv.ua)

Державний біотехнологічний університет<sup>1</sup>

Warsaw University of Technology<sup>2</sup>

**Актуальність дослідження.** Сучасний стан об'єднаної енергосистеми України свідчить про необхідність накопичення резервної потужності, для покриття пікового навантаження. Та створення розосередженої генерації якомога ближче до споживача. З можливістю накопичення надлишків виробленої енергії і «технології» Smart Grid, для подальшого використання.

**Мета досліджень.** Проаналізувати системи накопичення енергії (СНЕ), їх режими роботи, довговічність та економічну складову.

**Основні матеріали досліджень.** Відповідно до директиви Європейського Парламенту та Ради 2019/944 від 5 червня 2019 року про загальні правила внутрішнього ринку електроенергії, що вносить зміни до директиви [1]. То виходить, що до СНЕ відносять устаткування для накопичення енергії.

На зараз є такі актуальні технології СНЕ [2]:

- ГАЕС – наразі це найбільш потужний та відомий спосіб акумуляції енергії [3];
- Акумулятори свинцево Рb-кислотні – спосіб роботи якого заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю в кислому сірчаному середовищі;
- Накопичувачі стисненого повітря (CAES);
- Маховики (Flywheel Energy Storage);
- Акумуляторні батареї на основі Li-Ion;
- Акумуляторні батареї проточні;
- Іоністори (суперконденсатори);
- Гравітаційні накопичувачі енергії;
- Надпровідниковий магнітний акумулятор (SMES);
- Підземні накопичувачі.

Найбільш розповсюдженими серед вищенаведеного переліку є ГАЕС, які введені в експлуатацію ще на початку 20 століття. На сьогоднішній день на них припадає близько 125 ГВт потужності на планеті, що відповідає 3% відсоткам світової генерації електроенергії та 99% світових потужностей по зберіганню енергії.

Останнім часом стають найбільш популярними СНЕ на базі Li-Ion батарей. На початок 2019 року частка реалізації проектів на базі СНЕ склала 90%. Тільки в Австралії було відкрито СНЕ «The Victorian Big Battery» на базі літій-іонних батарей 450 МВт. А по останнім даним загальна встановлена потужність на базі літій-іонних батарей склала 45,4 ГВт.

Аналіз останніх досліджень показав, що зараз існує тенденція застосування СНЕ разом з джерелами розосередженої генерації, в переважній більшості з відновлювальними джерелами енергії, генеруючими об'єктами, що знаходяться поруч, або з кінцевим споживачем. За рахунок накопичувачів знижуються втрати в мережах та зростає надійність електропостачання в цілому.

На рис.1 наведено функціональну схему СНЕ на основі акумуляторних батарей. Компоненти системи на даній схемі розділені на батареї, елементи підключення до мережі та системи, що необхідні для нормальної роботи.

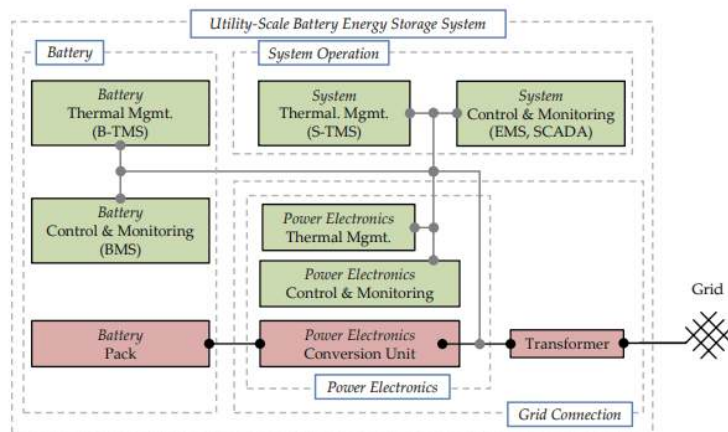


Рисунок 1 – Функціональна схема СНЕ

За контроль та моніторинг відповідає диспетчерська система контролю і збору інформації (SCADA), за контроль споживання управління та розподіл електроенергії відповідає система (EMS). Система управління (S-TMS) відповідає за температурний режим установки. СНЕ складається з батареї, системи контролю моніторингу стану батареї (BMS), основною функцією якої є захист від низької та високої напруги, температури, а також для балансування кожного з елементів батареї. Ці дані передаються до модулю контролю (EMS), який аналізує стан заряду та вчасно виконує оперативне примикання на мережу. Система B-TMS відповідає за контроль температури в межах специфікації батареї та забезпечує функціональність батареї для тривалого терміну служби. Запропонована схема дозволить працювати енергосистемі в статичних та динамічних режимах роботи та покривати пікові навантаження.

**Висновок.** Серед важливих переваг СНЕ, що створені на базі літій-іонних батарей, є можливість забезпечення стабільності та ефективності енергетичної системи. Дослідження показали, що такі системи є найбільш популярними та ефективними серед існуючих технологій накопичення енергії. Вони дозволяють знижувати втрати в електричних мережах, забезпечують надійне електропостачання та дозволяють вирішувати проблеми з піковим навантаженням. Разом з тим, важливо враховувати всі компоненти системи, включаючи системи моніторингу та управління, для забезпечення оптимальної роботи та тривалого терміну служби. Такий підхід до балансування енергетичної системи сприяє підвищенню її надійності, ефективності та стійкості, що є важливим для подальшого розвитку сучасної енергетики.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kyrylenko O. V., Yakimenko Yu. I., Zhuikov V. J., Denysyuk S. P. Inventors of parameters of electricity in Smart power systems. Pratsi Institutu Elektrodynamiki of NAS of Ukraine. Spets. Vypusk. Kiev: IED NAS (Proceedings of the International scientific conference "Intelligent Energy Systems - IES'10"). Kiev: IED NAS. 2010. P. 17-23.
2. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings. 2021. P. 132-136. <https://10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>
3. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>

## ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДОМОГОСПОДАРСТВА

Опаленік А. В., бакалаврант, e-mail: [tolyanopalenik@gmail.com](mailto:tolyanopalenik@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

**Актуальність дослідження.** Для проходження зими 2024-2025 рр Україні потрібно 17 ГВт потужності [1] Частина із цих потреб, зокрема 3 ГВт може бути покрита за рахунок промислових СЕС, 1 ГВт – за рахунок домашніх СЕС, 2,5 ГВт – іншими відновлювальними джерелами енергії, 2 ГВт за рахунок підключення до мереж ЄС. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року [2] передбачає досягнення 27% частки ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні.

У зв'язку із значним дефіцитом доступної потужності генерації, що виник внаслідок цілеспрямованих обстрілів критичної енергетичної інфраструктури російськими військами, виникла потреба будівництва СЕС, в тому числі і фізичними особами (населенням), які мають малі терміни будівництва та введення в експлуатацію.

Стратегією розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року [3] передбачається сприяння здійсненню суб'єктами господарювання приватної форми власності будівництва та введення в експлуатацію усіх видів розподіленої генерації зокрема шляхом доступного кредитування в рамках державної програми “Доступні кредити 5—7—9 %”. Також інструментом підтримки розвитку відновлюваної енергетики є механізм самовиробництва електричної енергії (net billing) [4], який дозволяє домогосподарствам (ДГ) продавати надлишки електроенергії за ринковими цінами.

**Мета дослідження.** Визначення етапів будівництва автономної сонячної електростанції домогосподарства, визначення споживачів та аналіз електроспоживання домогосподарства, вибір обладнання, розрахунок помісячної та середньоденної генерації СЕС, визначення можливостей станції для забезпечення потреб в електроенергії домогосподарства, розрахунок економічних показників, зокрема терміну окупності СЕС.

**Основні матеріали досліджень.** Будівництво автономної СЕС ДГ передбачає такі етапи:

- 1) Визначення доступної площі та конфігурації поверхні для розміщення фотоелектричних модулів (ФЕМ);
- 2) Визначення потужності та об'ємів споживання електроенергії ДГ;
- 3) Розрахунок кількості та потужності ФЕМ СЕС, які можна розмістити на доступній площі;
- 4) Вибір гібридного інвертора;
- 5) Вибір електротехнічного обладнання та іншого обладнання СЕС;
- 6) Розрахунок витрат на обладнання СЕС та його монтаж;
- 7) Оцінка фінансових можливостей власників ДГ.

В якості прикладу розглянемо ДГ, яке розташоване у м. Кропивницький. Основні пристрої цього домогосподарства, їх потужності, усереднені періоди роботи та споживання електроенергії за добу наведені в таблиці 1.

Аналіз даних таблиці 1 показав, що сумарна потужність електрообладнання домогосподарства складає 9 кВт, а споживання електроенергії за добу змінюється тільки за рахунок годин роботи освітлення та телевізорів, і коливається від 20,06 кВт·год взимку до 17,96 кВт·год влітку. Найбільшими споживачами е.е. є електромобіль, роутер та відеокамери і телевізори. Критичними споживачами електроенергії, тобто приладами, які повинні забезпечуватися електроенергією в першу чергу, є холодильник, освітлення, роутер і відеокамери.

**Таблиця 1. Електричні пристрої та споживання електроенергії домогосподарством**

№ з.п.	Електричний пристрій	Потужність, кВт	Години роботи			Споживання електроенергії за добу, кВт·год
			Зима	Літо	Весна, осінь	
1	Мікрохвильова піч	2,2	7:50-8:00 12:30-12:40 18:10-18:20	7:50-8:00 12:30-12:40 18:10-18:20	7:50-8:00 12:30-12:40 18:10-18:20	1,1
2	Освітлення	0,3	16:00-23:00	21:00-23:00	18:00-23:00	2,1/0,6/1,5
3	Пральна машина	1,5	11:00-12:00	8:00-9:00	8:00-9:00	1,5
4	Телевізори	0,6	17:00-23:00	18:00-23:00	18:00-23:00	3,6/3,0/3,0
5	Роутер, відеокамери	0,15	00:00-23:59	00:00-23:59	00:00-23:59	3,6
6	Електромобіль NISSAN LEAF	2	23:00-2:00	08:00-11:00	09:00-12:00	6
7	Холодильник	0,25	00:00-23:59	00:00-23:59	00:00-23:59	1,5
8	Утюг	2	7:40-7:50	7:40-7:50	7:40-7:50	0,33
9	Фен	2	7:30-7:40	7:30-7:40	7:30-7:40	0,33
	Всього (з/л/в і о)	9				20,06/17,96/18,86

Результати вибору обладнання для СЕС та його вартість наведені в таблиці 2.

**Таблиця 2. Вибір обладнання для СЕС домогосподарства та його вартість**

№ з.п.	Обладнання	К-сть, шт.	Потужність, кВт	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн.
1.	ФЕМ Risen RSM120-8-590M [5]	5	590×5= 2,95	7581	37905
2.	Інвертор POWMR 4500/24 [6]	1	4,5	19790	19790
3.	Volt Polska LiFePO4 12,8V 200Ah (150A) + BMS (6AKLI20012) [7]	1	1,92	27539	27539
4	Кріплення, кабель, захист				12000
5	Монтаж і наладка				13000
	Всього				110234

Доступна площа даху, для розміщення ФЕМ 15 м<sup>2</sup>, тому враховуючи розміри ФЕМ, для якого потрібна площа 2,83 м<sup>2</sup>, можливо розмістити 5 модулів.

При виборі акумуляторних батарей (АКБ) для СЕС домогосподарства розглядалося 2 варіанти:

1) АКБ Volt Polska LiFePO4 12,8V 200Ah (150A) + BMS (6AKLI20012). Ці літій-залізо-фосфатні АКБ з вбудованою системою BMS характеризуються великою кількістю робочих циклів (приблизно 6000 циклів при DoD (Depth of discharge – глибина розряду АКБ) 100% і підтримці в середньому 80% номінальної ємності).

2) АКБ Ultracell UCG150-12 GEL 12V 150 Ah [9] – це різновид акумуляторів, у яких рідкий електроліт доведений до желеподібного стану завдяки додаванню до нього сполук кремнію. Термін служби АКБ GEL в середньому 300 циклів заряд-розряд. Вартість такого АКБ 12999 грн.

При першому варіанті рекомендований діапазон SOC ( State of Charge – рівень заряду) АКБ Volt Polska 95-20%, відповідно ємність такої батареї – 1920 Вт·год. При другому варіанті враховуючи, що рекомендований діапазон SOC такої АКБ 95-40% маємо, що ємність такої батареї – 990 Вт·год. Для забезпечення мінімальних потреб домогосподарства потрібно не менше 2 АКБ, тоді загальна ємність буде майже 2 кВт·год. Враховуючи, що кількість циклів АКБ Volt Polska майже у 20 разів більша ніж АКБ Ultracell UCG150-12, то доцільним є вибір

АКБ Volt Polska. Їмність АКБ Volt Polska майже відповідає ємності 2 АКБ Ultracell UCG150-12.

Розрахунок генерації СЕС домогосподарства, яке має координати 48,466<sup>0</sup> п.ш і 32,289<sup>0</sup> сх.д., проводиться за допомогою програми PVGIS [9]. Вхідними даними при розрахунку були такі дані: потужність СЕС – 2,95 кВт; кут нахилу поверхні – 50<sup>0</sup>; азимут поверхні – -90<sup>0</sup> (орієнтація на схід), втрати в системі – 14%. Результати помісячної та середньогодинної генерації наведені в таблиці 3.

**Таблиця 3. Помісячна та середньогодинна генерація СЕС**

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Рік
Місячна генерація, кВт·год	59	97	186	269	343	363	371	331	249	153	64	45	2530
Середньоденна генерація, кВт·год	1,9	3,5	6,0	9,0	11,1	12,1	12,0	10,7	8,3	4,9	2,1	1,5	6,9

Річна генерація СЕС становить 2530 кВт·год, прогнозна змінність річної генерації за даними розрахунків у програмі PVGIS, становить 112 кВт·год, тобто біля 4,4%. Середньоденна генерація у грудні 1,5 кВт·год, березні – 6 кВт·год, липні – 12 кВт·год. Таким чином видно, що СЕС не може забезпечити середньодобові потреби домогосподарства у електроенергії в жодному місяці року.

Розрахунок економічних показників такої СЕС показав, що при ціні електроенергії 4,32 грн/(кВт·год), станція може зекономити 10930 грн за рік, і це при умові, що вся згенерована електроенергія буде споживатися домогосподарством. У цьому випадку термін окупності СЕС буде становити 10,1 років.

**Висновки.** Річна генерація автономної сонячної електростанції домогосподарства потужністю 2,9 кВт по модулях, яка розташована в м. Кропивницький, становить 2530 кВт·год за рік, середньоденна генерація СЕС змінюється від 1,5 кВт·год у грудні до 12 кВт·год у липні, середньоденна генерація протягом року становить 6,9 кВт·год. Для накопичення електроенергії краще використовувати літій-залізо-фосфатні АКБ. Термін окупності СЕС, з вибраним обладнанням, буде становити 10,1 років.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Виклики та можливості розвитку розподіленої генерації та мікромереж в громадах. URL: <http://surl.li/smguzw>.
2. Україна затвердила Національний план з енергетики та клімату в день початку перемовин про вступ до ЄС. URL: <http://surl.li/uhgfgp>.
3. Розпорядження КМ України «Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024 — 2026 роках». URL: <http://surl.li/fgycnf>.
4. Савченко Ольга. Самовиробництво електричної енергії (net billing). URL: [https://ecoclubrivne.org/netbilling\\_instruction/](https://ecoclubrivne.org/netbilling_instruction/).
5. Сонячна батарея 590Вт моно, RSM120-8-590M. URL: <http://surl.li/bbnovp>.
6. Гібридний інвертор Powmr POW-HVM4.5K-24V-P, 24 В, 4500 Вт. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/391845384/p391845384/>.
7. Акумулятор Volt Polska LiFePO4 12,8V 200Ah (150A) + BMS (6AKLI20012). URL: <http://surl.li/wkxehu>.
8. Акумулятор Ultracell UCG150-12 GEL 12V 150 Ah. URL: <http://surl.li/krflwo>.
9. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en).



ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕС ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ  
НАСОСНИХ СТАНЦІЙ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Павлов А. О., інженер СК Монолит, e-mail: [andriy\\_pavlov@me.com](mailto:andriy_pavlov@me.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Мірошник О. О., д.т.н., проф., e-mail: [omiroshnyk@ukr.net](mailto:omiroshnyk@ukr.net)

Пазій В. Г., аспірант, e-mail: [pazziy@ukr.net](mailto:pazziy@ukr.net)

Середа А. І., к.т.н., доцент., e-mail: [ais66@ukr.net](mailto:ais66@ukr.net)

**Актуальність дослідження.** В умовах воєнної агресії РФ проти України та постійних ударів по енергетичних об'єктах України об'єднана енергетична система (ОЕС) України на початку весни 2024 року втратила понад 55% генерації [1]. Для забезпечення безпеки постачання електричної енергії споживачам, виникла нагальна потреба в забезпеченні об'єктів критичної інфраструктури резервними джерелами електропостачання. У відповідності із стратегією розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року, затверджену КМ України 18.07.2024 року [2] одним із об'єктів електроенергетики, використання яких є доцільним для створення систем розподіленої генерації та розв'язання проблеми недостатності генеруючих потужностей в ОЕС України є об'єкти відновлюваної енергетики. Одним із об'єктів критичної інфраструктури є системи водопостачання населених пунктів та підприємств.

**Основні матеріали досліджень.** До об'єктів відновлювальної енергетики відносяться на ряду із вітровими, біоенергетичними станціями та гідроелектростанціями і сонячні електростанції (СЕС) – електроустановки, які призначені для виробництва електричної енергії, які є економічними, екологічними, мають короткий строк будівництва та введення в експлуатацію. Водночас СЕС мають негарантований графік виробництва електричної енергії, який залежить від рівня сонячної інсоляції, яка має добову та річну періодичність. При цьому середньодобові обсяги виробництва електричної енергії у зимовий період значно (шестикратно) нижчі за аналогічні показники у період літнього максимуму сонячної інсоляції. Такі режими роботи СЕС призводить до утворення профіцитів електричної енергії у денні години весняно-літнього періоду [2]. Виробники, які генерують надлишки енергії, мають можливість продажу електричної енергії на ринку електричної енергії.

В Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року [2] передбачається встановлення на об'єктах критичної інфраструктури, зокрема об'єктах централізованого водопостачання та водовідведення, об'єктів відновлюваної енергетики, які повинні забезпечувати автономне живлення струмоприймачів, необхідних для функціонування об'єктів критичної інфраструктури. В умовах воєнних дій в Україні насосні станції (НС) систем водопостачання є важливими об'єктами критичної інфраструктури, що забезпечують життєво важливі послуги для населення та промисловості. В умовах воєнного стану НС можуть стикатися з рядом суттєвих специфічних викликів та загроз, зокрема у питаннях забезпечення електроенергії: руйнування енергетичної інфраструктури, що може призвести до відключення насосів від електромережі [3]. Питання електрозабезпечення НС систем водопостачання в таких умовах можливо частково вирішити за рахунок СЕС.

Для систем водопостачання селищ або невеликих міст, як правило, використовуються артезіанські свердловини, які забезпечують високі санітарно-гігієнічні показники води. Для таких систем водопостачання характерна схема, яка складається із насосної станції 1-го підймання, резервуару чистої води, насосної станції 2-го підймання, водонапірної башти (ВБ) та розподільної мережі. Насосна станція 1-го підймання повинна забезпечувати максимальну добову витрату споживачів систем і вона працює у рівномірному режимі. Насосна станція 2-го підймання розраховується на максимальну годинну подачу, тому вона працює у циклічному режимі в залежності від рівнів води у ВБ [4].

Розглянемо приклад системи водопостачання із зазначеним вище компонованням, яка забезпечує подачу за добу 100 м<sup>3</sup> води. НС 1-го підймання, потужність електричного двигуна

насоса якої 5,5 кВт, і яка подає воду в резервуар чистої води, працює протягом 6 годин за добу і споживає 35 кВт·год електроенергії. НС 2-го підймання, потужність електричного двигуна насоса якої 2,2 кВт, і яка що подає воду у ВБ Рожновського, працює протягом 8 годин за добу і споживає 18 кВт·год. Таким чином загальне споживання електричної енергії в середньому складає 43 кВт·год, макс. потужність насосів 7,7 кВт.

У якості обладнання для СЕС розглянемо використання фотоелектричних модулів (ФЕМ) Longi Solar Hi-MO 6 LR5-72HTH-585M [5], ці модулі мають потужність 585 Вт і ККД 22,6%, та гібридний інвертор Growatt 15 кВт 3ф MID 15KTL3-ХН номінальною потужністю 15 кВт [6]. Цей гібридний інвертор має пікову потужність 25 кВт, вихідну напругу змінного струму 230/400 В, початкова напруга 200 В, кількість трекерів MPPT – 2. Враховуючи параметри інвертора до нього можливо підключити 25 ФЕМ, але враховуючи що такий інвертор має 2 MPPT трекери, то на кожний трекер буде під'єднано стрінг по 12 модулів і загальна кількість модулів буде 24 штуки. Напруга стрінга буде 628 В, що відповідає параметрам вхідної напруги інвертора. Максимальна потужність 24 ФЕМ становить 14 кВт, що також задовольняє параметри інвертора.

Розрахунки прогнозованої генерації СЕС потужністю 14 кВт по панелях, яка розміщена у м. Мерефа Харківської області, за допомогою програми PVGIS Calculator [7] показали, що максимальна річна генерація при оптимальних кутах нахилу та азимуту модулів буде складати 15853 кВт·год. Розрахунки генерації СЕС по місяцях показані в табл. 1. Також там приведені дані місячного споживання електроенергії та різниця між споживанням та генерацією. З аналізу видно, що дефіцит електроенергії спостерігається у 01-03 та 10-12 місяцях, а профіцит – з квітня по вересень. Річний небаланс складає 158 кВт·год.

**Таблиця 1. Прогнозна генерація СЕС потужністю 14 кВт та економічні показники**

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Рік
Генерація СЕС, кВт·год	562	752	1270	1643	1894	2009	2021	2027	1648	1127	564	338	15853
Споживання НС, кВт·год	1333	1204	1333	1290	1333	1290	1333	1333	1290	1333	1290	1333	15695
Різниця, кВт·год	-771	-452	-63	353	561	719	688	694	358	-206	-726	-995	-158
Вартість е.е., яку зекономила СЕС, грн	13330	12040	13330	12900	13330	12900	13330	13330	12900	13330	12900	13330	156950
Вартість е.е., яка продана за Net-billing, грн	-	-	-	530	842	1079	1032	1041	537	-	-	-	5060
Загальна сума доходу, грн	13330	12040	13330	13430	14172	13979	14362	14371	13437	13330	12900	13330	162010

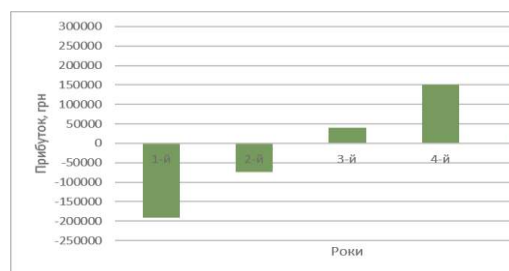
Для попереднього техніко-економічного обґрунтування приймемо такі дані: вартість одного ФЕМ становить 5450 грн, вартість інвертора 80600 грн, загальна вартість лічильника та системи моніторингу – 12400 грн, кріплення модулів, конектори, кабельна продукція та апарати захисту – 28800 грн, логістика та витратні матеріали – 18000 грн, монтажні та інші роботи – 38000 грн. Загальні капітальні витрати на будівництво СЕС будуть складати 308600 грн. Вартість електроенергії для комунальних підприємств у вересні 2024 року складала біля 10 грн/кВт·год. Оскільки СЕС в певні місяці генерує більше електроенергії ніж споживає, то підприємство, що забезпечує водопостачання, зможе продавати надлишки електроенергії по програмі Net-billing [8]. За програмою Net-billing розрахунки обсягів віддачі електричної енергії в мережу та прийому електричної енергії з мережі оператора систем розподілу (ОСР) здійснюється за даними автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії, встановленої на об'єкті споживача. Вартість електричної енергії відпущеної в мережу ОСР визначається за ціною, що склалася на ринку «на добу наперед» (РДН) у розрахунковому періоді (годині). Так 22.10.2024 року ціна електроенергії на РДН з 12 до 16 години складала біля 3,9 грн/кВт·год [9], а 17.07.2024 року ціна на електроенергію з 13 до 14 складала 0,1

грн/кВт·год. В інші годин дня ціни значно вищі, так 17.07.2024 року з 8 до 9 години ціна складала 4,9 грн/кВт·год, а з 18 годин – 9 грн/кВт·год. Виходячи з аналізу цін на РДН доцільно планувати режими роботи електрообладнання НС таким чином, щоб насоси працювали в години максимальної генерації СЕС, а в години високих цін на РДН СЕС віддавала електроенергію в мережу ОСР. Для розрахунків приймемо ціну відпуску електроенергії на РДН 1,5 грн/кВт·год.

Дані розрахунку економічних показників системи водопостачання із СЕС потужністю 14 кВт приведені в таблиці 2, а графік повернення інвестицій – на рис. 1. При проведенні економічних показників крім капітальних витрат були також враховані операційні витрати у сумі 24 тис. грн за рік, експлуатаційні витрати у сумі 20 тис. грн за рік, а також було враховано зменшення генерації за рахунок деградації ФЕМ.

**Таблиця 2. Дані розрахунку економічних показників**

Рік	Витрати, грн	Дохід, грн	Прибуток, грн
1-й	352600	162000	-190600
2-й	44000	160000	-74600
3-й	44000	158000	39400
4-й	44000	156000	151400
5-й	44000	154000	261400
Разом:	528600	790000	187000



**Рисунок 1 – Графік повернення інвестицій**

**Висновки.** Підвищення надійності електрозабезпечення систем водопостачання в умовах військової агресії рф можливо забезпечити за рахунок встановлення СЕС. Так для системи водопостачання, яка має насосні станції першого та другого підймання із максимальною сумарною потужністю насосів 7,7 кВт, і які споживають за добу в середньому 43 кВт·год, доцільним є встановлення СЕС потужністю 14 кВт. Така СЕС дозволяє повністю забезпечити електропостачання насосних станцій з квітня по вересень, і частково у інші місяці. Розрахунок економічних показників показав, що вже на 3 рік експлуатації СЕС кошти повністю відшкодовуються і за 5 років експлуатації прибуток буде складати 187 тис. грн.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буславець О. А., Лежнюк П. Д. Відновлювана енергетика в сучасному енергобалансі України. URL: <http://surl.li/jmhftm>.
2. Розпорядження КМ України «Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024 — 2026 роках». URL: <http://surl.li/fgycnf>.
3. Кравчук, О., Андріященко, О., Левітін, В., Єремченко, Л., & Лаврухіна, К. (2024). Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268>.
4. Орлов В. О., Зошук А. М. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання. Навч. посібник. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2005. – 252 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2249/1/622286%20zah.pdf>.
5. Сонячні панелі батереї Longi Solar Hi-MO 6 LR5-72HTH-585M, HPBC. URL: <http://surl.li/iqtycs>.
6. Гібридний інвертор Growatt 15 кВт 3ф MID 15KTL3-XH. URL: <http://surl.li/rknfro>.
7. PVGIS Calculator. URL: <https://pvgis.com/>.
8. Про затвердження Порядку продажу та обліку електричної енергії, виробленої активними споживачами, та розрахунків за неї. URL: <http://surl.li/mbujbu>.
9. Аналіз РДН та ВДР. URL: <http://surl.li/zcltwl>.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО  
КОМПЛЕКСУ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

Павлюк Д. О., аспірант, e-mail: [pavlyukmusic@gmail.com](mailto:pavlyukmusic@gmail.com)

Галько С. В., к.т.н., доц., e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Актуальність дослідження.** В умовах підвищення вартості електроенергії та забезпечення вимог до енергоефективності промислових і побутових об'єктів постає завдання створення та впровадження сучасних методів управління енергетичними ресурсами. Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячної, у вигляді когенераційних фотоелектричних модулів (ФЕМ) є перспективним підходом для зниження навантаження на основну мережу, а також зменшення викидів вуглекислого газу. Локальні мережі дають можливість створити гнучку систему енергозабезпечення з високим рівнем незалежності від центральних енергопостачальників.

Когенераційні ФЕМ забезпечують не тільки генерацію електроенергії, але й допомагають підтримувати необхідний температурний режим за рахунок використання надлишкового тепла [1-3]. Актуальність обраної тематики обумовлена тим що оптимізація роботи такого електротехнічного комплексу вимагає врахування великої кількості факторів: інтенсивності сонячного випромінювання, погодних умов, поточних навантажень на систему та інших параметрів, що не досягають максимальної енергоефективності [4].

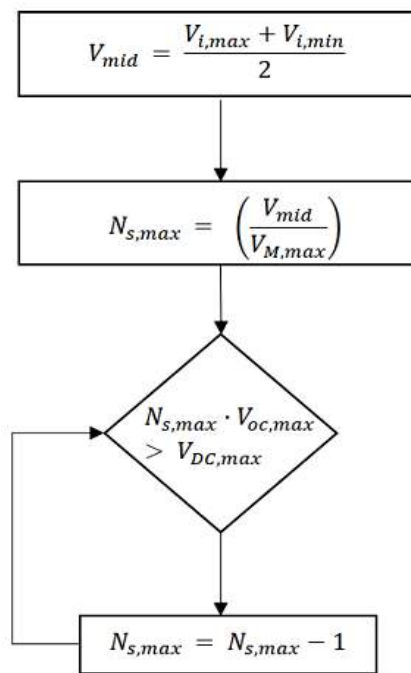
**Мета досліджень.** Аналіз методів оптимізації для роботи локальних мереж із ФЕМ та дослідження основних етапів розробки математичної моделі для визначення оптимальних параметрів роботи енергоефективного комплексу.

**Основні матеріали досліджень.** Забезпечення енергоефективності локальних електромереж є важливим аспектом для стабільного та ефективного використання енергетичних ресурсів, особливо коли йдеться про системи з інтегрованими ВДЕ, такими як когенераційні ФЕМ. Енергоефективність локальних мереж із ФЕМ залежить від здатності таких систем адаптуватися до зовнішніх умов.

У сучасній практиці використовують системи моніторингу на основі SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) та інтелектуальні моделі, що забезпечують балансування потужності за рахунок ВДЕ. Розподілені системи управління або мікромережі дають можливість автономного управління локальною електромережею, де когенераційні модулі та інші джерела енергії можуть працювати незалежно від основної мережі. Це дозволяє забезпечити гнучкість в управлінні енергією та стабільність у випадку зовнішніх збоїв. Переваги розподілених систем управління включають: адаптацію до змінних умов (мікромережа може самостійно регулювати виробництво та споживання енергії на основі поточних даних); інтеграцію ВДЕ (розподілені системи дають змогу більш ефективно використовувати відновлені джерела за рахунок локального управління та можливості швидкої адаптації до генерації змінених умов) [5].

Важливою складовою при розробці системи управління енергоефективністю локальних мереж є використання математичного моделювання. Для опису оптимального режиму роботи когенераційних ФЕМ необхідно використовувати моделі із параметрами розрахунку прогнозованої потужності, температурних коливань, а також розглядати можливості використання акумуляторних батарей для зберігання надлишкової енергії, що виробляється в період високої сонячної активності. Алгоритм, який використовується для розрахунку максимальної кількості ФЕМ (Рис.1) бере до уваги показники максимальної і мінімальної вхідної напруги ( $V_{i,max}$ ,  $V_{i,min}$ ) та кількість фотоелементів, які з'єднані послідовно ( $N_{s,max}$ ).

Таким чином, з використанням методів лінійного програмування та оптимізаційних алгоритмів розраховують оптимальні значення параметрів, які дозволяють зменшити загальні втрати електроенергії та забезпечити максимальну ефективність роботи електротехнічного



**Рисунок 1 - Максимальна кількість ФЕМ у послідовному алгоритмі**

комплексу. Для оцінки ефективності використання когенераційних ФЕМ необхідно проводити серію експериментів, які показали, що з використанням надлишкового тепла, яке належить до процесу генерації, можна підвищити загальні коефіцієнти корисної дії системи. Когенераційні модулі показали здатність ефективно працювати в умовах високого навантаження, забезпечуючи як електричну, так і теплову енергію.

Застосування комплексних підходів до управління енергоефективністю локальних електромереж, особливо за участі когенераційних ФЕМ, дозволяє суттєво підвищити загальну ефективність системи, знизити витрати та зменшити залежність від традиційних джерел енергії. Усі зазначені підходи можуть інтегруватися в єдину систему управління, яка здатна адаптуватися до поточних умов і забезпечити оптимальний баланс між генерацією і споживанням енергії.

**Висновок.** Беручи до уваги вище сказане, можна стверджувати, що практичний інтерес науковців зосереджений на розробці математичних моделей та відповідних алгоритмів оптимізації для досягнення максимальної енергоефективності системи. Прогнозується, що подальші дослідження необхідно спрямовувати на розробку інтелектуальних

інформаційних систем управління, які дозволять ефективніше контролювати роботу електротехнічних комплексів у режимі реального часу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р. Луцьк: МЦНД. 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.
2. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130-141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.
3. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica, 24 de abril de 2020. Barcelona, España: Plataforma Europea de la Ciencia. 2020. Vol. 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.
4. Dydnikov S., Miroshnyk O.O., Kovalyshyn S.J., Ptashnyk V.V., Mudryk K. Methodological aspects of evaluating the effectiveness of using local energy systems with renewable sources [Electronic resource]. Renewable Energy Sources: 6th International Conference, Krynica, 12-14 June 2019. Krynica, 2020. Vol. 154. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407013>.
5. Бондаренко Р. В., Довгалюк О. М., Омеляненко Г. В., Піротті О. Є., Сиромятникова Т.В. Підвищення надійності функціонування розподільних електричних мереж. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Харків: ХНТУСГ. 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 69-71.



## ВПЛИВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Рамш В. Ю., к.т.н., доцент кафедри, e-mail: [ramsh\\_v@ukr.net](mailto:ramsh_v@ukr.net)

Потапенко М. В., к.т.н., доцент кафедри, e-mail: [m.potapenko19@gmail.com](mailto:m.potapenko19@gmail.com)

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Сонячна енергія є одним із найбільш перспективних напрямів відновлюваної енергетики. Вона має ряд переваг, до основних з яких можна віднести: екологічність, невичерпність та відновлюваність ресурсів, відсутність витрат на капітальний ремонт фотоелектричних модулів тривалий період часу експлуатації та ін.

Фотоелектричні перетворювачі або сонячні елементи – це напівпровідникові вироби, які перетворюють сонячне випромінювання в електричний струм. Існують різні технології виготовлення сонячних елементів, конструкція яких відрізняється як фізичними принципами перетворення сонячного випромінювання в електричний струм, так і менш істотними деталями [1]. Фотоелектричні перетворювачі мають широкий типорозмірний ряд і класифікуються за конструктивним виконанням (використання різних матеріалів та домішок).

Підвищення конкурентоспроможності сонячних електростанцій, що мають у своєму складі фотоелектричні перетворювачі, є актуальним завданням, але перш ніж енергія Сонця зможе використовуватися повною мірою, необхідно вирішити ряд проблем, основні з яких: висока вартість фотоелектричних перетворювачів, їх здатність надійно працювати в автоматичному режимі протягом тривалого часу та підвищення надійності енергопостачання.

**Мета дослідження.** Оцінка методів та засобів підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів

**Основні матеріали дослідження.** Сонячне випромінювання залежить багатьох факторів: широти і довготи місцевості, її географічних і кліматичних особливостей, стану атмосфери, пори року тощо. У цілому можна виділити як закономірні особливості зміни сонячного випромінювання, так і значну частку його випадкової складової.

Інтенсивність сонячного випромінювання змінюється протягом доби та має сезонний характер. Параметри сонячного випромінювання, які реєструються метеостанціями, необхідні для розрахунку сонячних фотоелектричних установок [2]. Однак дані метеостанцій є усередненими і добові значення значно відрізняються від середніх значень.

Оскільки сонячне випромінювання є випадковою величиною, то для визначення параметрів сонячної електростанції, більш коректно говорити про інтенсивність сонячного випромінювання, гарантованого з певною, наперед заданою, ймовірністю. Така ймовірність інтенсивності сонячного випромінювання відповідає ймовірності попадання випадкової величини в заданий інтервал, і може бути визначена:

$$P(\lambda_x \leq \lambda \leq \lambda_{max}) = \int_{\lambda_x}^{\lambda_{max}} \lambda(t) dt, \quad (1)$$

де  $P(\lambda_x \leq \lambda \leq \lambda_{max})$  – ймовірність того, що інтенсивність сонячного випромінювання буде знаходитись в інтервалі  $\lambda_x \dots \lambda_{max}$ ;  $\lambda_x$  – гарантована інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda_{max}$  – максимально можлива інтенсивність сонячного випромінювання в даній місцевості, Вт/м<sup>2</sup>.

Враховуючи те, що інтенсивність сонячного випромінювання розподілена за нормальним законом, то шукану ймовірність можна визначити:

$$P(\lambda_x \leq \lambda \leq \lambda_{max}) = F\left(\frac{\lambda_{max}-m(\lambda)}{\sigma_c}\right) - F\left(\frac{\lambda_x-m(\lambda)}{\sigma_c}\right), \quad (2)$$

де  $m(\lambda)$  – математичне сподівання інтенсивності сонячного випромінювання (за даними метеостанцій), Вт/м<sup>2</sup>;  $\sigma_c$  – стандартне відхилення інтенсивності сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

У переважній більшості випадків використання тільки фотоелектричних перетворювачів не зможе забезпечити необхідний графік навантаження навіть у літні місяці. Це пояснюється добовими змінами інтенсивності сонячного випромінювання, що змушує застосовувати акумулювання електроенергії з її подальшим використанням у періоди провалів генерації енергії з допомогою фотоелектричних перетворювачів. Ємність акумуляторів при використанні надмірної сонячної енергії можна визначити за виразом:

$$C = \frac{P_n \cdot \Delta T}{U_n}, \quad (3)$$

де  $C$  – ємність акумуляторних батарей, А·год;  $P_n$  – потужність випромінювання при нормативній освітленості в  $j$ -тий період, Вт;  $\Delta T$  – період відсутності достатньої інтенсивності сонячного випромінювання;  $U_n$  – номінальна напруга, В.

При використанні фотоелектричних перетворювачів з ранньої весни до пізньої осені виникає ряд труднощів. Це зумовлено тим, що при розрахунку сонячної електростанції на весняну або осінню інтенсивність сонячної енергії, батареї фотоелектричних перетворювачів у літній час потрапляють під підвищений потік сонячної радіації, і, як наслідок з'являється ряд негативних факторів, що знижують їх ККД, а в деяких випадках, можуть привести і до виходу фотоелектричної установки з ладу. Температура фотоелектричних перетворювачів залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, що є функцією часу. Таким чином, слід враховувати, що ККД фотоелектричних перетворювачів не постійний і є функцією часу або температури. Застосування сонячних концентраторів дає можливість збільшити інтенсивність сонячного випромінювання, що поступає на фотоелектричні перетворювачі, тим самим збільшуючи кількість електроенергії, що надходить від них [3]. Також це дозволяє збільшувати ККД перетворення сонячного випромінювання.

Отримувати найбільшу кількість енергії від фотоелектричних перетворювачів можна за допомогою систем активного слідування за Сонцем, що забезпечують надходження найбільшої кількості випромінювання на поверхню сонячної панелі, а також дозволяють збільшити денний інтервал одержання електричної енергії. Такі системи, що використовуються в фотоелектричних установках, за рівнем просторової орієнтації поділяються на дві основні категорії: з частковою чи повною орієнтацією.

Системи з частковою орієнтацією дешевші та надійніші, але на відміну від систем з повною орієнтацією не здатні забезпечити перпендикулярне падіння сонячних променів на поверхню фотоелемента протягом всього світлового дня.

Використання систем з частковою орієнтацією в середньому дає можливість збільшити добове вироблення енергії фотоелектричними установками на 19-24%, а з повною до 33%. До переваг таких систем відносять можливість додаткового підвищення енерговидачі, за рахунок їх використання в комплексі з деякими типами сонячних концентраторів. Це стає можливим за рахунок забезпечення рівномірного освітлення відбитим випромінюванням всіх сонячних елементів установки.

**Висновки.** Найбільш важливим завданням, яке постає перед сонячною енергетикою є зниження питомої вартості сонячної фотоелектричної установки. Одним із шляхів зниження питомої вартості є підвищення ефективності, шляхом застосування більш економічних структур електрообладнання, зокрема, сонячних концентраторів та слідувальних систем.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вамболь С. О., Сичікова Я. О., Дейнеко Н. В. Енергоефективність фотоелектричних перетворювачів для забезпечення екологічно чистої енергетики: монографія. Бердянськ: Видавець Ткачук О.В., 2016. 256 с.
2. Глушко О. В., Степенко С. А. Параметри, характеристики і фактори, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних перетворювачів у складі електроенергетичних систем. *Технічні науки та технології*. 2021. № 1 (23). С. 249-264.
3. Li G., Xuan Q., Pei G., Su Y., Ji J. Effect of non-uniform illumination and temperature distribution on concentrating solar cell-a review. *Energy*. 2018. №144. P. 1119-1136.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРІВ  
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОКСлущкий Д. М. студент, e-mail: [denys.sluskyi@ieec.khpi.edu.ua](mailto:denys.sluskyi@ieec.khpi.edu.ua)Шевченко В. В. д. т. н., проф., e-mail: [zurbagan8454@gmail.com](mailto:zurbagan8454@gmail.com)

Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут»

**Актуальність дослідження.** Актуальність даного дослідження полягає в тому, що розвиток відновлюваних джерел енергії є одним із найперспективніших напрямків сучасної електроенергетики. В умовах глобальної енергетичної та екологічної кризи, в умовах необхідності зменшення залежності від викопного палива, вітроенергетика стає важливим джерелом енергії. Вибір генераторів для вітроенергетичних установок (ВЕУ), зокрема для тих, що мають невелику потужність, в системі збудження використовують постійні магніти, що мають достатньо високу енергоефективності та надійності. В промисловості та в електроенергетиці використовують магніти різних типів, які мають свої переваги та недоліки, тому їх порівняльний аналіз для визначення оптимального варіанту є необхідним.

**Мета дослідження.** Метою цього дослідження є проведення порівняльного аналізу постійних магнітів, які використовуються у генераторах ВЕУ невеликої потужності, до 15-20 кВт, з метою визначення найбільш ефективного типу магніту. Основна увага приділяється аналізу таких параметрів, як щільність магнітного потоку, стійкість до температур та корозії, вартість та тривалість збереження магнітних показників. Це дозволить зробити висновки щодо найкращого вибору для забезпечення тривалої та стабільної роботи вітроенергетичних систем.

**Основні матеріали дослідження.** Натепер найбільш досліджуємим напрямком серед всіх галузей електроенергетики є розвиток енергетики від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Для України перспективними напрямками є вітро- та сонячна електроенергетика, для яких важливими перевагами є можливість максимального наближення джерела електроенергії до споживачів, їх розосередження, що підтвердила війна і постійні атаки агресора по енергетичним системам [1, с. 97].

Вибір оптимального типу генератора для ВЕУ, з найкращими енергетичними показниками та високою надійністю є однією з важливіших задач. Існують різні методи такого вибору, вибору, в першу чергу, в залежності від потужності. Наприклад, для цього використовують вибір по критерію Вальда ( $r_{ij}$ ), який ще називають метод вибору по міні-максимальному критерію (по ММ-критерію), [1, с. 112].

В результаті проведеного нами статистичного аналізу визначилось, що натепер для генераторів вказаного діапазону потужності найчастіше використовують генератори з магнітоелектричним збудженням, а їх ефективність залежить від типу постійних магнітів, що використовуються в конструкції генератора. Це неодимові, самарієві та феритові магніти, [2]. Кожен з них має свої унікальні характеристики, тому порівнюємо їх по показникам, що є головними для електричних машин, табл. 1.

По результатом порівняння параметрів різних типів магнітів, табл. 1, можна зробити висновки:

- неодимові магніти найпотужніші по магнітним характеристикам, що дозволяє використовувати їх для генераторів та двигунів з високими вимогами до продуктивності. Вони мають високу щільність магнітного потоку, але вразливі до високих температур і корозії [3], тому їх треба захищати спеціальними покриттями;

- самарієві магніти мають відмінну термостійкість; вони стійкі до корозії тому що більшість цих магнітів містять мало заліза; зберігають свій магнетизм навіть при дуже низьких температурах, що робить їх ідеальними для використання в різних температурних умовах та в агресивних середовищах, [3]. Однак мають дуже високу вартість, дуже крихкі, і, головне, підтримують магнітні характеристики не дуже довго;

**Таблиця 1 – Головні характеристики сучасних постійних магнітів**

Параметри	Неодимові (NdFeB)	Самарієві (SmCo)	Феритові
Щільність магнітного потоку, Вб/м <sup>2</sup>	Висока	Середня	Низька
Стійкість до температур (максимальне значення), °С	До 80°С	До 300°С	До 250°С
Стійкість до корозії	Низька, потрібне захисне покриття	Висока, додатковий захист не потрібен	Висока, захист не потрібен
Вартість (Ціна \$ за 1 кг)	Висока (90)	Дуже висока (200)	Низька (1-2)
Магнітна індукція, Вδ, Тл	0,8-1,3	0,75-1,15	0,3-0,4
Коерцитивна сила магніту, H <sub>c</sub> , кА/м	400-1100	500-1300	120-220
Щільність матеріалу, г/см	7,55	8,0	5,0
Підтримка значення коерцитивної сили та магнітної індукції на протязі строку, роки	10-15	1-2	2-3
Магнітна енергія W <sub>max</sub> , кДж/м <sup>3</sup>	200-400	100-300	22-28
Головне застосування	Двигуни і генератори промисловості та електроенергетики	Генератори та двигуни, що короткочасно працюють в важких умовах	Невідповідальні пристрої, де головним показником є вартість

- феритові магніти є найдоступнішими за ціною, але їх магнітні характеристики, магнітна потужність і строк підтримки коерцитивної сили значно нижчі, ніж у інших типів магнітів. Вони добре, але не довго, працюють у вологих і корозійних середовищах, що завжди слід враховувати.

**Висновок.** За результатами дослідження вважаємо, що неодимові магніти (NdFeB) є найбільш підходящим варіантом для використання у генераторах ВЕУ з магнітоелектричним збудженням. Вони мають найкращі магнітні характеристики, високу коерцитивну силу та тривалий термін служби, що робить їх ефективними для ВЕУ потужністю до 20-25 кВт. Стабільність роботи та економічна вигода протягом експлуатації роблять їх оптимальним вибором для сучасних вітроенергетичних систем.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шевченко, В. В. Стала та відновлювана електроенергетика: навч. посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.В. Шевченко // Харків: НТУ «ХПІ, 2024. – 443 с. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/popnqb>
2. Гудь, В. М. Методи та прилади контролю якості постійних магнітів. / В. М. Гудь // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2015. – № 5(94). – С. 32 – 37. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [https://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2015\\_5\\_32-5-2015.pdf](https://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2015_5_32-5-2015.pdf)
3. Slusarek, B. Magnetic properties of permanent magnets for magnetic sensors working in wide range of temperature / B. Slusarek, K. Zakrewski // Przegląd elektrotechniczny. (Electrical Review) – 2012. – № 7b. – Pp. 123 – 126. URL: <http://pe.org.pl/articles/2012/7b/32.pdf>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМИ SYSTEM ADVISOR MODEL ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Сотнік О. В., аспірант, e-mail: [sidi.leha@gmail.com](mailto:sidi.leha@gmail.com)

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** У 2022 році кількість сонячних електростанцій (СЕС) у світі зросла на 239 ГВт, це на 45% більше, ніж роком раніше. Експерти прогнозують глобальний прогноз розвитку сонячної енергетики близько 800 ГВт енергії від сонячних панелей у 2027 році [1-4]. У 2020 році середня світова вартість виробництва електроенергії на сонячних електростанціях становила 0,131 \$/кВт·год [2]. За оцінками аналітичних агентств, в найближчі 10-20 років слід очікувати значного зниження вартості обладнання, що входить до складу сонячної електростанції. Зокрема, International Renewable Energy Agency (IRENA) прогнозує зниження вартості фотоелектричних модулів на 59% до 2025 року [3], Bloomberg – на 60% до 2040 року [3]. За прогнозами IRENA, до 2030 року вартість свинцево-кислотних та літій-іонних систем зберігання енергії знизиться на 48% та 58% відповідно. З метою прогнозування техніко-економічних показників при прийнятті рішень щодо проектування сонячної СЕС використовуються різноманітні комп'ютерні прикладні програми, зокрема програма System Advisor Model (SAM), яка розроблена National Renewable Energy Laboratory (США).

**Мета дослідження.** Дослідження можливостей програми System Advisor Model (SAM) для проектування та прогнозування режимів роботи СЕС.

**Основні матеріали дослідження.** SAM [5] - це пакет, що містить бібліотеки основи симуляції Simulation Core (SSC) та набір інструментів для розробки програмного забезпечення, які дозволяють розробникам моделей створювати власні інтерфейси для модулів симуляції, як веб- так і настільних додатків. Процес проектування фотоелектростанції (ФЕС) у SAM включає декілька етапів, від визначення цілей проєкту до вибору обладнання та налаштування системи. SAM надає такі можливості [6]:

1. Створення проєкту: початкова сторінка SAM дозволяє користувачам створювати нові проєкти, вибирати енергосистему (наприклад, ФЕС) та обирати між детальною моделлю ФЕС SAM або спрощеною моделлю PVWatts для отримання попередніх результатів.

2. Вибір компонентів: користувачі можуть вибирати модулі та інвертори з бібліотеки SAM або вводити специфікації, якщо бажане обладнання відсутнє у списку. SAM надає детальну інформацію про кожен компонент, що сприяє ухваленню обґрунтованих рішень.

3. Розрахунок стрінгів та орієнтація: SAM потребує вказання кількості модулів у стрінгу, конфігурації інвертора та орієнтації підмасивів для оптимальної роботи системи.

4. Дані про погоду: SAM інтегрує метеорологічні дані з таких джерел, таких як National base of solar radiation (NSRDB), для точного моделювання кліматичних умов. Користувачі можуть вказувати параметри, обраної ними місцевості, такі як широта та довгота, для завантаження найбільш релевантних метеорологічних даних.

5. Моделювання продуктивності та фактори втрат: модель продуктивності SAM розраховує вихідну потужність системи на погодинній основі з урахуванням ключових змінних, таких як доступність сонячного світла, температура навколишнього середовища, затінення, забруднення та інші фактори навколишнього середовища. Важливі моменти включають: а) втрати через затінення, забруднення та сніг: SAM враховує втрати енергії через ці фактори, які змінюються залежно від пори року та погодних умов; б) ефективність інвертора та модуля: програмне забезпечення дозволяє вибирати модулі з високою ефективністю або конкретні конфігурації інвертора для оптимізації виходу та зменшення втрат енергії.

6. Аналіз P50/P90: цей аналіз особливо корисний для фінансового планування, оскільки проєктує ймовірність виробництва енергії від 50% до 90%, надаючи інвесторам уявлення про можливу мінливість річного виробництва.

7. Програма SAM вміщує в собі інструменти для симуляції та прогнозування показників продуктивності. Симуляційний механізм SAM є потужним інструментом для візуалізації та



аналізу вихідних даних за різними сценаріями. Він включає різні види перегляду для погодинного, місячного та річного виробництва, а також такі показники як: річний вихід енергії (SAM розраховує загальний обсяг виробленої енергії за рік, що є корисним для оцінки, чи відповідає системним цілям при виробництві енергії); фактор потужності (відсоток фактичного виходу відносно максимально можливого за певний період, що вказує на ефективність системи); енергетичну віддачу та коефіцієнт продуктивності (показники енергії на одиницю потужності та ефективності за різних умов експлуатації). SAM має вкладку аналізу температурних втрат, яка наочно показує, де втрачається енергія в системі, від втрат опромінення до втрат ефективності інвертора, надаючи чітке уявлення про продуктивність системи.

8. Розширені опції проектування за допомогою параметричного аналізу. Параметричний аналіз у SAM дозволяє користувачам запускати кілька симуляцій для визначення оптимального дизайну та компоновки для різних за потужністю ФЕС. Основні конфігурації включають: ground coverage ratio (GCR), цей коефіцієнт є показником щільності розташування рядів панелей на землі. Нижчий GCR мінімізує використання землі, але збільшує затінення, тоді як вищий GCR зменшує затінення, але вимагає більше використання земельних площ. Цей баланс є вирішальним для проектів, так як буде збільшено орендну плату за використання землі.

9. Варіанти трекінгу: SAM дозволяє користувачам експериментувати з фіксованими та одно- або двовісними трекарами. Трекінгові системи суттєво підвищують вихідну потужність модулів, відслідковуючи рух сонця, але вони вимагають більш високих витрат на установку.

10. Інтеграція зовнішніх даних і стандартних модулів [7]: SAM сумісний з різними форматами даних, що дозволяє користувачам імпортувати реальні дані або дані з інших моделей, таких як PVsyst, для порівняння продуктивності системи. Ця можливість корисна для користувачів, які проводять паралельний аналіз програмного забезпечення або працюють з попередньо записаними даними.

11 Двосторонні модулі та моделювання ФЕС. Двосторонні модулі стають дедалі популярнішими у ФЕС завдяки здатності захоплювати сонячне світло з обох боків. SAM пропонує функцію моделювання двосторонніх модулів, що дозволяє користувачам вводити параметри, такі як коефіцієнт передачі та висота над землею, для точного моделювання.

**Висновок.** SAM надає комплексну і гнучку платформу для моделювання ФЕС від невеликих домогосподарств до великих комунальних проектів. Завдяки інтеграції погодних даних, бібліотек компонентів та детальних варіантів моделювання SAM допомагає користувачам оптимізувати продуктивність системи та оцінити життєздатність проектів, що робить його цінним інструментом в галузі сонячної енергетики.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Global Market Outlook for Solar Power 2024–2028 URL: <https://solarpowereurope.org>
2. P. Komada, et al, “The incentive scheme for maintaining or improving power supply quality,” *Przeglad Elektrotechniczny*, 2019, 95 (5), pp. 79-82. <https://doi.org/10.15199/48.2019.05.20>.
3. E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. Adelodun, and Ki-Hyun Kim. “Solar energy: Potential and future prospect,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, № 1, pp. 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.094> “Renewable Energy Statistics 2022,” IRENA, 2022.
4. P. Lezhniuk, V. Komar, M. Belik, O. Rubanenko and I. Smaglo, “Analysis of technical conditions influencing the operation of PV power stations cooperating with controlled power grids,” 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005686>.
5. System Advisor Model (SAM). URL: <https://sam.nrel.gov/>.
6. System Advisor Model (SAM). URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/72360.pdf>
7. System Advisor Model (SAM). URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/67399.pdf>

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОТОКІВ СУБСТРАТУ У БІОГАЗОВОМУ  
РЕАКТОРІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИСподоба М. О., доктор філософії (PhD), e-mail: [spmisha@ukr.net](mailto:spmisha@ukr.net)Сподоба О. О., доктор філософії (PhD), e-mail: [sp1309@ukr.net](mailto:sp1309@ukr.net)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Біогазові технології посідають одне з перших місць у формуванні сучасної енергетичної системи країн. У Іспанії, Німеччині, Бельгії, Франції та інших країнах світу стрімкими темпами відбувається зростання попиту на використання побутових біогазових реакторів малого об'єму, у якому зброджуються харчові відходи [1, 2]. Одним з перших та відомих виробників малих біогазових установок є компанія Home Biogas. Використання біогазових установок на присадибних ділянках дозволить вирішити кілька питань економічної, енергетичної та екологічної важливості. Перероблені харчові відходи у таких біогазових установках дозволяє їх подальше використання у якості добрив для вирощення екологічно чистих продуктів на власних присадибних ділянках. Поруч з цим важливим аспектом є отримання цінного енергетичного ресурсу у вигляді біогазу, який можна використовувати у власних потребах для опалення житлових та виробничих приміщень, приготування їжі, підігріву води та інших потреб.

Рентабельність біогазових установок залежать від енергетичної ефективності процесів необхідних для підтримки сприятливих для утворення метану параметрів мікроклімату [3, 4].

Вищезазначені позитивні фактори від використання малих біогазових установок у присадибних ділянках дають перспективні напрями для досліджень, а саме: використання раціональних параметрів систем інтенсифікації для забезпечення рівномірного та максимального виходу біогазу з мінімальними витратами на підтримку необхідного мікроклімату. Процес анаеробного зброджування відходів є довготривалим, тому одним з основних методів інтенсифікації біогазового виробництва є їх перемішування [3, 4]. Основне завдання якого полягає у створенні однорідної субстанції з однаковою температурою, кислотністю та іншими фізико-хімічними складовими у будь-якій точці об'єму. Тому, актуальними дослідженнями є встановлення впливу швидкості перемішування субстрату на швидкість розповсюдження потоків субстрату у біогазових реакторах.

**Мета дослідження.** Визначення векторів розповсюдження потоків субстрату у біогазовому реакторі циліндричної форми, при використанні лопатевої двоярусної мішалки.

**Основні матеріали досліджень.** Згідно з метою дослідження, було проведено моделювання перемішування у вертикальному циліндричному біогазовому реакторі з лопатевою двоярусною мішалкою. Для цього виконано наступні дії: створено тривимірну модель біогазового реактора з перемішувальним пристроєм; використовуючи рівняння Нав'є-Стокса та програмний комплекс SolidWorks із додатком Flow Simulation [5], виконано моделювання перемішування субстрату.

Для проведення 3D моделювання використано такі початкові умови: фізико-хімічні

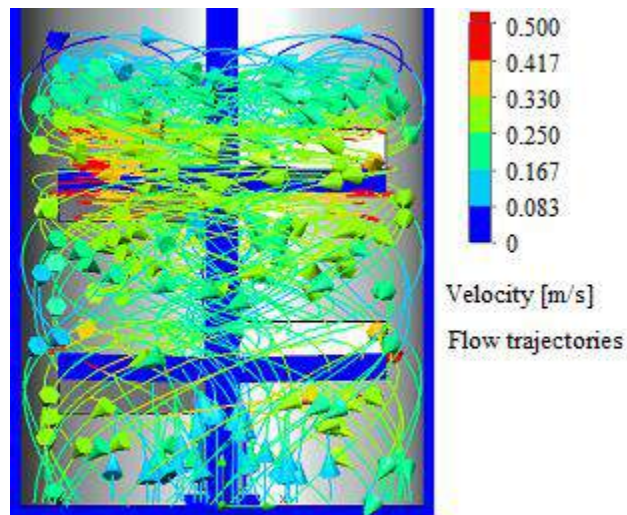
параметри субстрату: в'язкість  $\mu = 0,048 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , густина  $\rho = 1024 \text{ кг} / \text{м}^3$ . Вертикальний циліндричний біогазовий реактор з наступними геометричними параметрами: об'єм реактора

$V_{\text{реак}} = 0,05 \text{ м}^3$ , діаметр  $D = 0,37 \text{ м}$ , висота субстрату у біогазовому реакторі  $H = 0,44 \text{ м}$ .

Висота від днища біогазового реактора до нижньої частини лопаті мішалки  $s = 0,09 \text{ м}$ ; висота

лопатей  $h = 0,01 \text{ м}$ , діаметр мішалки  $d_m = 0,3 \text{ м}$ . Швидкість обертання робочого органу двоярусної лопатевої мішалки, при встановленні лопатей під кутом  $45^\circ$  дорівнює  $n = 40 \text{ об/хв}$ .

У результаті проведення моделювання перемішування субстрату, згідно з початковими умовами, отримано картини траєкторій переміщення елементарних об'ємів та швидкостей потоків субстрату у біогазовому реакторі (рис. 1).



**Рисунок 1 – Траєкторії переміщення елементарних об'ємів та швидкостей потоків субстрату у біогазовому реакторі.**

При швидкості обертання мішалки 40 об/хв (рис. 1) переміщення потоків набувають максимальних швидкостей біля країв лопатей перемішуючого пристрою. При цьому, у верхніх шарах речовини та між ярусами лопатей швидкість потоків знаходиться у межах від 0,1 до 0,417 м/с [5]. Середня швидкість переміщення потоків у об'ємі субстрату становить 0,273 м/с (рис. 1). У нижній частині реактора спостерігаються ділянки інтенсивного підйому речовини із днища реактора, які виникають внаслідок появи всмоктувального ефекту, що пов'язано з відцентровими силами. Підйом речовини з днища біогазового реактора забезпечує відсутність ущільнення осаду. Така картина розподілу швидкостей забезпечує встановлення однакої середньої швидкості потоків у всьому об'ємі речовини та рівномірного перемішування субстрату у біогазовому реакторі малого об'єму [5].

**Висновки.** Встановлено, що при частоті обертання мішалки 40 об/хв у біогазовому реакторі відбувається встановлення однакої середньої швидкості потоків у всьому об'ємі субстрату. Забезпечується рівномірне перемішування, а також розподілення однакої концентрації твердих та рідких фракцій субстрату по об'єму біогазового реактора. Зниження ущільнення осаду призводить до збільшення поживних речовин для метаноутворюючих бактерій, підвищення розкладу органічної речовини та виходу об'єму біогазу. Отримані результати вказують на доцільність подальших досліджень щодо впливу швидкості перемішування субстрату на швидкість розповсюдження потоків субстрату у біогазових реакторах за різних типів субстратів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hatsenko K. V. Voloshin N. D. Technology of biogas production on the basis of food waste. Collection of scientific works of the Dnipro State Technical University (technical sciences). Dnipropetrovsk, 2019. Vol. 1, № 34. P. 131-136. DOI: [10.31319/2519-2884.34.2019.26](https://doi.org/10.31319/2519-2884.34.2019.26)
2. WBA. Global Potential of Biogas; World Biogas Association: London, UK, 2019.
3. M. Zablodskiy, M. Spodoba, O. Spodoba. "Experimental investigation of energy consumption for the process of initial heating of a substrate for the use of electric heat-mechanical system." Electrical Engineering and Power Engineering, №1, 2022, pp. 49–59.
4. Zablodskiy M.M., Spodoba M.O. Rationale for creating an electrothermomechanical system for mixing and heating biomass. Energy and Automation, Kyiv, no. 5, pp. 136-148, 2020. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.05.136>
5. M. Zablodskiy and M. Spodoba, "Determination of energy efficient level of the speed of mixing body of electromechanical system", Kremenchuk: Electromechanical and energy saving systems, vol. 4, no. 52, pp. 17-26, 2020. <http://dx.doi.org/10.30929/2072-2052.2020.4.52.17-26>



ПОРІВНЯННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЕНЕРГОВИТРАТ  
ЗА УМОВ НАГРІВАННЯ СУБСТРАТУ В МЕТАНТЕНКУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Сподоба М. О., доктор філософії (PhD), e-mail: [spmisha@ukr.net](mailto:spmisha@ukr.net)

Сподоба О. О., доктор філософії (PhD), e-mail: [sp1309@ukr.net](mailto:sp1309@ukr.net)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Розвиток біогазових технологій є важливою складовою для формування сучасних і майбутніх енергетичних систем чистої енергії, тому особлива увага до її енергоефективності. В наш час, утилізація відходів на біогазових установках є одним із найпрогресивніших, екологічно та економічно вигідних рішень для виробництва енергії з відходів у вигляді біогазу. Про це, свідчить велика кількість наукових досліджень, спрямованих на збільшення виходу біогазу [1-3]. Однак, через зростання попиту на споживання біогазу для побутових та виробничих цілей виникає необхідність у підвищенні ефективності біогазових установок та технологій підготовки сировини до зброджування так і самого зброджування. Оскільки, енергоносії та тарифи на них є основними факторами, що визначають сталий розвиток економіки, актуальним є теоретичні (математичні моделі) та практичні дослідження направлені на зниження споживання енергії на процес анаеробного зброджування. Розробка математичних моделей, що здатні з високою точністю описати реальні процеси у біогазових реакторах та інших технологічних процесах і операціях є актуальним питанням в будь-якій країні світу та галузі виробництва [3-5].

**Мета дослідження.** Порівняння теоретичних та експериментальних даних енерговитрат на підігрів субстрату у метантенку циліндричної форми.



**Рисунок 1 – Зовнішній вигляд експериментальної біогазової установки**

**Основні матеріали досліджень.** Для досягнення поставленої мети було поставлено наступне завдання: перевірити адекватність розробленої математичної моделі для динамічного аналізу енергетичних витрат при нагріванні субстрату електронагрівачем, розміщеним на зовнішній стінці біогазового реактора, шляхом аналізу розбіжностей між теоретичними та експериментальними даними, про зміну температури субстрату під час нагрівання останнього в метантенку та визначення енергії, витраченої на нагрів.

Експериментальне дослідження енергетичних витрат на підігрів субстрату проводили на експериментальній установці – біогазовому реакторі з механічним змішувачем, електричним нагрівачем, розміщеним на стінці реактора та захищеним металевим кожухом. Зовнішній вигляд установки наведено на (рис. 1). Геометричні параметри резервуару: висота 0,6 м, діаметр 0,37 м, об'єм 0,06 м<sup>3</sup>.

Резервуар ізольований шаром мінеральної вати товщиною 100 мм та захищений сталевим кожухом [3, 5]. Як субстрат використовували попередньо подрібнені рештки картоплі масою 10 кг, розведені чистою водою в об'ємі 30 л, з подальшим завантаженням у біогазовий реактор на 2/3 загального об'єму [5, 6]. Для проведення теоретичних досліджень використано систему рівнянь (рис. 2), що описують динаміку зміни температури об'єктів при конструкції реактора зображеного на рис. 1. Опис складових системи рівнянь наведено у роботі [3]. На рис. 3 зображено графічні залежності зміни температури субстрату, отримані за теоретичними (математичне моделювання) та експериментальними дослідженнями.

$$\frac{dT_{cn}}{d\tau} = \frac{P \cdot \xi + k_{i3} \cdot F_{cn} \cdot (T_{i3} - T_{cn})}{c_{cn} \cdot m_{cn}};$$

$$\frac{dT_{i3}}{d\tau} = \frac{1}{c_{i3} \cdot m_{i3}} \cdot (k_{i3} \cdot F_{cn} \cdot (T_{cn} - T_{i3}) + k_c \cdot F_k \cdot (T_c - T_{i3}) + k_{вм} \cdot F_{к.вм} \cdot (T_{навк} - T_{i3}));$$

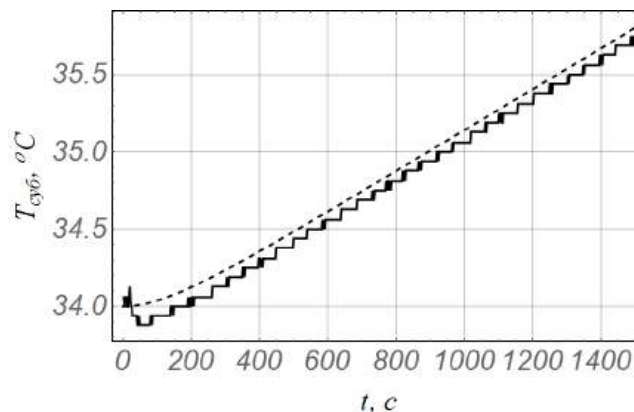
$$f(\xi) = \begin{cases} \xi = 0, & \text{якщо } T_{i3} \geq T_{к.ном}; \\ \xi = 1, & \text{якщо } T_{i3} < T_{к.ном}; \end{cases}$$

$$Q_{нагр} = \frac{\pi \cdot (T_{i3} - T_{суб})}{R_1 + R_2} \cdot H_k;$$

$$\frac{dT_c}{d\tau} = \frac{1}{c_p \cdot m_p} \cdot (k_c \cdot F_k \cdot (T_{i3} - T_c) + \alpha_1 \cdot F_c \cdot (T_{суб} - T_c) + k_l \cdot (H_l - H_k) \cdot (T_{навк} - T_c));$$

$$\frac{dT_{суб}}{d\tau} = \frac{Q_{нагр} + \alpha_1 \cdot F_c \cdot (T_c - T_{суб})}{c_{суб} \cdot m_{суб}}.$$

**Рисунок 2 – Математична модель для динамічного аналізу енергетичних витрат на нагрівання субстрату електронагрівачем [3]**



**Рисунок 3 – Порівняння графічних залежностей температури субстрату: ---- теоретичні дані; – експериментальні дані**

З графічної залежності зміни температури субстрату при розміщені електричного нагрівального кабелю на стінці біогазового реактора (рис. 3) видно, що відхилення між теоретичними та експериментальними даними за середньою температурою складає 0,3%, за значенням максимальної температури 0,1%. Максимальне відхилення температури субстрату становить 0,4%, у момент часу 75 секунд. Проведений порівняльний аналіз кількості витраченої енергії на нагрів субстрату встановлено розбіжність між експериментом та математичним моделюванням, яка становить 4,3% [5, 6].

**Висновки.** Відхилення між теоретичними та експериментальними даними температури субстрату знаходяться у діапазоні 0,1-0,4%, що знаходиться у межах похибки вимірювання. Проведений аналіз енергетичного споживання системою підігріву вказав на розбіжність між експериментом та математичним моделюванням, яка становить 4,3%. Що свідчить про адекватність розробленої математичної моделі для динамічного аналізу енергетичних витрат при нагріванні субстрату електронагрівачем, розміщеним на стінці біогазового реактора.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. EBA. EBA Statistical Report 2018; European Biogas Association: Brussels, Belgium, 2019.
2. WBA. Global Potential of Biogas; World Biogas Association: London, UK, 2019.
3. Zablodskiy, M., Spodoba, M., & Spodoba, O. (2022). Experimental investigation of energy consumption for the process of initial heating of a substrate to the fermentation temperature. *Problemele energeticii regionale*, (1), 83-96.
4. Loveikin V., Romasevych Yu., Spodoba O., Loveikin A., Pochka K. Mathematical model of the dynamics change departure of the jib system manipulator with the simultaneous movement of its links. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2020. Issue 104. P. 175-190.
5. M. Zablodskiy and M. Spodoba, "Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption when Heating the Substrate in a Biogas Reactor", 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), pp. 01-04, 2022.
6. M. Spodoba, M. Zablodskiy, O. Spodoba "Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption on the Use of Electrothermomechanical System". In 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, IEEE. pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402429>



БІБЛІОГРАФІЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ  
ПРО ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ПУБЛІКАЦІЙ

Тоберт М. Ю., аспірант, e-mail: [tobert.mikhail@gmail.com](mailto:tobert.mikhail@gmail.com)

Мотайло М. С., аспірант, e-mail: [maksim.motaylo@gmail.com](mailto:maksim.motaylo@gmail.com)

Мороз О. М. д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@ukr.net](mailto:moroz.an@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Правильне бібліографічне оформлення є вагомою частиною серед вимог написання наукових робіт. Належне оформлення списку літератури у контексті відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) допомагає молодим науковцям, дослідникам та практикам легше знаходити необхідну інформацію та перевіряти надану. Однією із вимог статті 42 Академічна доброчесність Закону України про освіту [1] є посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей. Таким чином, актуальність даного дослідження зумовлена в підвищенні якості наукових публікацій та дотриманні вимог академічної доброчесності через впровадження стандартів цитування.

**Мета досліджень.** Проведення дослідження впливу бібліографічного оформлення на якість наукових публікацій в сфері відновлювальної енергетики.

**Основні матеріали досліджень.** Відновлювальна енергетика стрімко розвивається з кожним роком, протягом останніх двох Україна ввела 660 МВт нових потужностей ВДЕ [2]. Динаміка зростання ВДЕ в енергетичному секторі країни супроводжується написанням нових наукових робіт, які часто містять в собі цитування попередніх досліджень. Як правило, таке цитування супроводжується посиланням на джерело звідки була взята інформація або на її підтвердження і оформлюються в тексті у квадратних дужках “[ ]”, на основі цих посилань складається загальний список використаної літератури в кінці роботи, їх перелік може відповідати порядковому номеру праці або джерела, розташовуватись в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків, чи у хронологічному порядку [3].

Науковий метод передбачає, що результати досліджень можуть бути перевірені та відтворені іншими науковцями. Для цього необхідно, щоб робота була оформлена чітко і структуровано: усі гіпотези, теорії, методи, результати та висновки мають бути описані детально [4]. Якщо робота не оформлена належним чином, інші дослідники не зможуть повторити експерименти і переконатися в правильності результатів. Науковий метод вимагає логічної побудови аргументів і висновків, оформлення наукових робіт стандартизовано для того, щоб зробити їх легкими для читання та зрозумілими для широкої аудиторії. Відповідно, правильне оформлення бібліографічних посилань є невід’ємною частиною кожної наукової роботи з погляду на академічну доброчесність і відповідність науковим стандартам.

Бібліографічне посилання — це сукупність бібліографічних відомостей про цитований, розглядуваний або згадуваний у тексті праці інший документ, що є необхідними й достатніми для його загальної характеристики, ідентифікації та пошуку [5].

В Україні використовуються як державні, так й міжнародні стилі цитування. До державних відноситься ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [5], це найновіший стандарт. Він містить в собі загальні правила складання посилань і широко застосовуються при оформленні списків використаної літератури університетами, науковими журналами та видавництвами.

Відповідно до Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» [3], стиль ДСТУ 8302:2015 може застосовуватися для складання бібліографічного опису списку використаних джерел у дисертаційній роботі здобувача ступеня доктора філософії.

Стандарт визначає три види посилань: позатекстові, внутрішньотекстові та підрядкові. Список бібліографічних посилань можуть наводити нумерованим або нунумерованим. Зазвичай використовують нумерований список джерел, посилаючись на відповідні праці в тексті роботи через порядковий номер джерела та номер цитованої сторінки.

Правила складання бібліографічного посилання за ДСТУ 8302:2015 складні та передбачають значну кількість нюансів: від вимог щодо наведення даних авторів до застосування граматичної та приписаної пунктуації. Посилання можуть робитися на книги, веб-сторінки, статті в журналах, відеоматеріали тощо. Для книги мають бути вказані у наступному порядку: номер бібліографічного посилання, назва, тип видання (підручник, монографія, навч. посібник), номер видання, місто, автор, рік видання, кількість сторінок, а також номер сторінки, на яку зроблене посилання в роботі. Посилання на нормативні акти і державні стандарти оформлюється іншими способами, для більш зручної роботи з оформленням зносок можуть використовуватися цифрові інструменти [6].

В Додатку 3 Наказу МОН України [3] зазначений рекомендований перелік стилів оформлення списку наукових публікацій. Відповідно до нього, для переліку джерел можуть бути використані наступні міжнародні стилі цитування: MLA (Modern Language Association) style, APA (American Psychological Association) style, Chicago/Turabian style, Harvard style, ACS (American Chemical Society) style, AIP (American Institute of Physics) style, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) style, Vancouver Style, OSCOLA, APS (American Physics Society) style, Springer MathPhys Style. Як правило, у наукових роботах зазвичай використовується тільки один стиль цитування для всіх джерел, щоб зберегти єдність та послідовність, тому слід відповідально віднестися до правильного вибору стилю оформлення списку джерел. Кожен стиль є унікальним і використовується для тієї чи іншої наукової галузі [7]. Відповідно, для наукових досліджень про відновлювальну енергетику підходять наступні міжнародні стилі оформлення: APA, IEEE та Chicago/Turabian. Застосування стилю APA підходить для соціальних наук, в яких ВДЕ можна досліджувати в багатьох напрямках. IEEE та Chicago/Turabian є найбільш доцільними стилями цитування в галузі ВДЕ, оскільки IEEE призначений саме для технічних та інженерних дисциплін, а Chicago/Turabian є універсальним і підходить для широкого спектра дисциплін, включаючи наукові технічні та гуманітарні дослідження.

**Висновок.** Вірне оформлення бібліографічних посилань є вагомою частиною наукової роботи у будь-якій сфері. Дотримання цих правил забезпечує точність і прозорість дослідження, що дозволяє іншим науковцям легко знаходити й перевіряти джерела, полегшує відтворюваність результатів досліджень, яка є основою наукового методу, без чіткого оформлення посилань їх повторення ускладнюється. Використання відповідних стилів цитування не лише підкреслює професіоналізм автора, але й полегшує інтерпретацію результатів для читача. Дотримання цих правил сприяє розвитку науки, допомагаючи ефективно передавати й використовувати наукову інформацію.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про освіту». URL: <http://surl.li/gxjqmh> (дата звернення: 17.10.2024).
2. Україна протягом двох років ввела 660 МВт нових потужностей ВДЕ – Міненерго. URL: <http://surl.li/kziejz> (дата звернення: 17.10.2024).
3. Міністерство освіти і науки України. Наказ № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». URL: <http://surl.li/dqyhcn> (дата звернення: 17.10.2024).
4. Важинський С. Е., Щербак Т. І. Методика та організація наукових досліджень: навч. посіб. Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. 260 с. URL: <http://surl.li/fvjdxq> (дата звернення: 17.10.2024).
5. ДСТУ 8302:2015. URL: <http://surl.li/ylrtoh> (дата звернення: 17.10.2024).
6. Онлайн-генератор посилань за ДСТУ 8302:2015. URL: <http://surl.li/pxgdab> (дата звернення: 17.10.2024).
7. За яким стилем оформлювати список літератури? URL: <http://surl.li/ouhdhi> (дата звернення: 17.10.2024).

ВПЛИВ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ  
ЕНЕРГОСИСТЕМ

Тоберт О.Ю.<sup>1</sup>, аспірант, e-mail: [tobert.sasha@gmail.com](mailto:tobert.sasha@gmail.com)

Qihan Zhang<sup>2</sup>, Yiao Meng<sup>2</sup>,

Мірошник О.О.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [omiroshtnyk@btu.kharkiv.ua](mailto:omiroshtnyk@btu.kharkiv.ua)

Мороз О.М.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [moroz.an@btu.kharkiv.ua](mailto:moroz.an@btu.kharkiv.ua)

Пазій В.Г.<sup>1</sup>, ст. викл., e-mail: [paziy@btu.kharkiv.ua](mailto:paziy@btu.kharkiv.ua)

Миргород Д.Г.<sup>1</sup>, аспірант, e-mail: [19mirgoroddenis92@gmail.com](mailto:19mirgoroddenis92@gmail.com)

Галько С. В.<sup>3</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [galkosv@gmail.com](mailto:galkosv@gmail.com)

Mohamed Qawaqzeh<sup>4</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [qawaqzeh@bau.edu.jo](mailto:qawaqzeh@bau.edu.jo)

Державний біотехнологічний університет<sup>1</sup>,

Silesian College of Intelligent Science and Engineering at Yanshan University Yanshan University<sup>2</sup>,  
Qinhuangdao, P. R. China

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного<sup>3</sup>,

Al Balqa Applied University<sup>4</sup>

**Актуальність дослідження** впливу розосереджених джерел енергії на стабільність та надійність енергосистем визначається кількома ключовими факторами, що відображають сучасні виклики та тенденції в енергетиці, такі як глобальний перехід до відновлюваних джерел енергії, енергетична безпека та децентралізація, стабільність енергосистем, зростання попиту на електроенергію.

**Метою дослідження** є аналіз впливу розосереджених джерел енергії на стабільність та надійність енергосистем, визначення основних викликів їхньої інтеграції та розробка шляхів підвищення ефективності і стійкості енергомереж шляхом впровадження сучасних технологій і механізмів регулювання.

**Основні матеріали досліджень.** Розосереджені джерела енергії (РДЕ), такі як сонячні, вітрові, малі гідроелектростанції та біоенергетичні установки, стають дедалі популярнішими в глобальній енергетичній політиці. Вони мають низку переваг, включаючи зниження викидів вуглецю, доступність у віддалених регіонах і сприяння енергетичній незалежності країни. Світова спільнота активно рухається до зменшення залежності від викопних видів палива та підвищення частки відновлюваних джерел енергії. Згідно з Паризькою кліматичною угодою та іншими міжнародними зобов'язаннями, багато країн запроваджують стратегії декарбонізації економіки [1]. Це призводить до активного впровадження РДЕ, таких як сонячна та вітрова енергетика. Водночас збільшення частки таких джерел в енергобалансі потребує вирішення питань стабільності та надійності енергосистем, особливо з огляду на їхню нестабільну природу.

Розосереджені джерела енергії відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки країн, особливо в контексті зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв [2]. Децентралізація виробництва електроенергії, зокрема завдяки РДЕ, дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з центральними системами енергопостачання, та підвищити стійкість до зовнішніх загроз, таких як природні катаклізми або конфлікти. Це особливо важливо для віддалених або ізольованих регіонів, де підключення до централізованих систем є складним або економічно недоцільним. РДЕ можуть забезпечити резервне живлення у випадках аварій на магістральних лініях електропередачі, що підвищує стійкість енергосистеми до зовнішніх загроз, таких як природні катаклізми чи техногенні аварії.

Інтеграція великої кількості РДЕ у традиційні енергосистеми породжує нові технічні виклики, оскільки такі джерела відрізняються нестабільністю виробництва енергії. Наприклад, недостатня кількість потужностей для акумуляції енергії або відсутність гнучких резервних джерел може призвести до перебоїв у постачанні електроенергії. Крім того, неефективна координація між різними видами генерації (традиційними та РДЕ) може ускладнити

управління енергосистемою та зменшити її надійність. Сонячна та вітрова енергія залежать від погодних умов, що ускладнює прогнозування та регулювання електропостачання. Важливість дослідження полягає в пошуку шляхів ефективної інтеграції РДЕ з метою забезпечення стабільної роботи енергосистеми, зокрема через впровадження систем накопичення енергії, резервних потужностей та інтелектуальних мереж.

Зростання споживання електроенергії в умовах цифровізації, електрифікації транспорту та промисловості підвищує потребу в гнучких та надійних енергосистемах. Розосереджені джерела енергії можуть не лише задовольняти цей попит, але й сприяти розвитку нових бізнес-моделей, зокрема через децентралізовані рішення на рівні домогосподарств і малих підприємств. Сучасні дослідження впливу РДЕ на енергосистеми стимулюють розробку інноваційних технологій, таких як інтелектуальні мережі (smart grids), що дозволяють автоматизувати процеси управління електропостачанням. Інтеграція таких рішень сприяє підвищенню надійності та ефективності роботи енергосистем [3]. Однак, ці технології потребують дослідження для максимального використання їхнього потенціалу в умовах швидкозмінних і розосереджених джерел енергії.

Інтелектуальні мережі являють собою технологічний комплекс, який використовує цифрові технології для управління виробництвом, передачею та розподілом електроенергії в режимі реального часу. Основною метою впровадження smart grids є забезпечення гнучкості енергосистеми, покращення її адаптивності до змін в енергобалансі та підвищення загальної надійності постачання електроенергії. В умовах широкої інтеграції РДЕ ці мережі стають критично важливими для забезпечення стабільної роботи енергосистем.

Одним із ключових аспектів інтелектуальних мереж є здатність до інтеграції децентралізованих джерел енергії з мінімальним впливом на стабільність мережі. Використання розподілених обчислювальних потужностей та сенсорів дозволяє автоматично коригувати потоки енергії в залежності від змін у виробництві РДЕ. Наприклад, коли зростає продуктивність сонячних електростанцій вдень, мережа може перерозподіляти потоки енергії, забезпечуючи оптимальне використання виробленої електрики. Крім того, smart grids дозволяють зменшувати навантаження на центральні мережі за рахунок інтеграції локальних систем накопичення енергії, таких як акумулятори, що забезпечують резерв енергії у пікові моменти споживання.

Smart grids сприяють активній участі споживачів у регулюванні енергосистеми. Застосування інтелектуальних лічильників та систем управління дозволяє споживачам автоматично коригувати своє енергоспоживання в залежності від вартості або наявності електроенергії. Це сприяє більш ефективному використанню ресурсів і зменшенню навантаження на мережу під час пікових періодів споживання.

**Висновок.** Інтелектуальні мережі відіграють ключову роль у підвищенні стабільності та надійності енергосистем у сучасних умовах інтеграції розосереджених джерел енергії. Вони сприяють автоматизації процесів управління, покращенню прогнозування та ефективності використання енергії, а також активному залученню споживачів до регулювання системи.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink and G. J. M. Smit, "Management and Control of Domestic Smart Grid Technology," in IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, vol. 1, no. 2, pp. 109-119, <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2055904>.

2. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings. 2021. P. 132-136. <https://10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.

3. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.



## АГРОВОЛЬТАІКА — ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Червінський Л. С., д.т.н., проф., e-mail: [Ichervinsky@nubip.edu.ua](mailto:Ichervinsky@nubip.edu.ua)  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність.** Агровольтаїка — це сучасний інноваційний підхід до ведення сільського господарства, що стає все більш популярним у світі, який передбачає поєднання виробництва рослинної продукції засобами агрономії та виробництва електричної енергії з використанням сонячних панелей на одній земельній ділянці.

**Основні результати дослідження.** Це система, що дозволяє вирощувати сільськогосподарські культури на землі, над якою розташовані сонячні батареї, або ж використовувати спеціальні конструкції (наприклад, сонячні ферми), які дозволяють висаджувати рослини під панелями, що перетворюють сонячну енергію на електричну.



Рисунок 1 – Агровольтаїка в дії

Прикладом агровольтаїки може бути ділянка землі над якою, на певній висоті, достатній для проведення відповідних агрокультурних робіт з рослинами, розміщуються фотоелектричні панелі з регулюванням їх нахилу до Сонця. (Рис.1).

Під фотоелектричними («фотовольтаїчними») панелями на землі висаджуються овочі, салати, редис, морква, капуста, кавуни, дині, тощо і обробляються у відповідності до технології вирощування. При необхідності на конструкціях, де розміщуються сонячні панелі, можуть бути підвішені різні засоби для підвищення чи контролю за продуктивністю рослин. Зокрема, засоби автоматизованого крапельного поливу, мінеральної підкормки, тощо.

Панелі розташовуються на певній висоті, що дозволяє проходити під ними техніці для обробки культур. Це забезпечує оптимальні умови для рослин, оскільки панелі можуть зменшувати пряму сонячну радіацію, знижуючи ризик перегріву і зберігаючи вологу в ґрунті.

Перспективи розвитку та переваги агровольтаїки:



1. Економія простору: Поєднання сільського господарства та виробництва енергії дозволяє ефективніше використовувати землю під фотоелектричними панелями та їх конструкціями.

2. Стійкість до кліматичних змін: Зниження та регулювання нахилом панелей температури під панелями може позитивно вплинути на врожайність.

3. Виробництво чистої енергії: Селянські господарства можуть реалізувати надлишки енергії, отримуючи додатковий прибуток.

4. Додатковий дохід: Фермери можуть отримувати доходи від продажу електроенергії та врожаю одночасно.

5. Екологічність: Зменшення викидів вуглецю та використання відновлювальних джерел енергії для ведення сільського господарства.

6. Підвищення врожайності на сухих ґрунтах: Вода зберігається краще, і рослини можуть отримувати оптимальну кількість світла.

При цьому, на даний час доцільно вказати недоліки, які спримують їх широке впровадження.

Це наступні положення:

1. Високі початкові витрати: Інсталяція сонячних панелей може вимагати значних інвестицій.

2. Технічні обмеження: Необхідність у спеціалізованому обладнанні і технологіях може бути перешкодою для деяких фермерів.

3. Залежність від погоди: Непередбачувані погодні умови можуть впливати на продуктивність як сільського господарства, так і виробництва сонячної енергії.

4. Переміщення та обслуговування: Підтримка і обслуговування сонячних панелей можуть потребувати додаткових ресурсів та зусиль.

## **Висновки**

Узагальнюючи вище викладене, визначено необхідні дії, шляхи та напрямки розвитку перспективності впровадження:

1. *Інноваційні технології*: Розвиток нових технологій у сфері агровольтаїки може покращити продуктивність і зменшити витрати.

2. *Екологічна свідомість*: Зростаюче зацікавлення відновлювальними джерелами енергії та сталим фермерством може стимулювати інвестиції.

3. *Державні програми підтримки*: Багато країн пропонують субсидії та пільги для впровадження відновлювальної енергії в сільському господарстві.

4. *Розширення ринків*: Зростання попиту на екологічні продукти може стимулювати розвиток агровольтаїки.

## **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. <https://avenston.com/services/commercial-pv/agrovoltatics/#>
2. <https://latifundist.com/blog/read/3096-agrovoltayika-finansova-vigoda-energonezalezhnist-ta-prikladi-vikoristannya-u-krayinah-svitu>
3. <https://eco-tech.com.ua/ua/a482085-agrovoltayika-polza-dlya.htm>
4. <http://agrivoltaic.org.ua/>
5. <https://landlord.ua/news/ahrovoltayika-i-plavuchi-soniachni-elektrostantsii-mozhut-staty-rishenniam-posukhy-v-ievropi/>

## ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЯХ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ІНФРАСТРУКТУР

Чушкіна К. В., магістр, e-mail: [kateryna.chushkina@kname.edu.ua](mailto:kateryna.chushkina@kname.edu.ua)

Герасименко В. А., к.т.н., доцент, e-mail: [vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua](mailto:vitaliy.gerasimenko@kname.edu.ua)

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

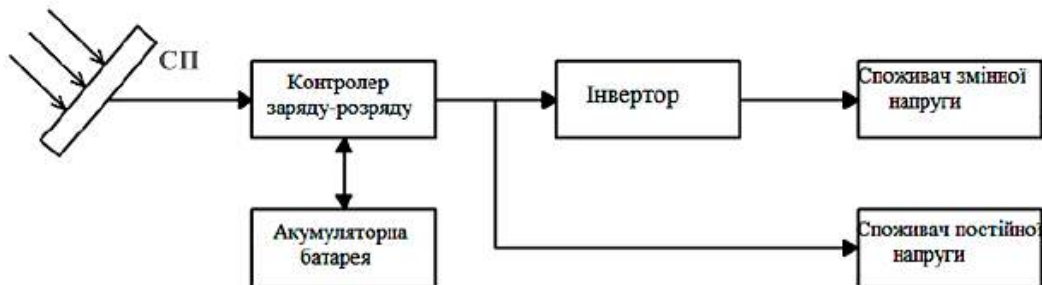
У сучасних умовах дедалі більшої уваги приділяють альтернативним джерелам енергії, зокрема використанню сонячної енергії. Впровадження сонячних панелей для живлення систем освітлення стає одним із ключових рішень у створенні автономної інфраструктури, що дозволяє забезпечувати стабільне освітлення в умовах віддаленості від мереж електропостачання, зниження витрат на електроенергію та мінімізації екологічного впливу.

Системи освітлення на сонячних панелях є важливою складовою розвитку «зелених» технологій та енергетичної незалежності. За оцінками Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) [1], ринок сонячних панелей зростає щорічно, завдяки їх доступності та екологічним перевагам. Зокрема, зниження вартості сонячних панелей на 70% за останні десять років дозволило значно підвищити їх доступність, сприяючи поширенню як у комерційному, так і в приватному секторах. Однією з основних сфер застосування сонячних систем освітлення є віддалені та сільські райони, де встановлення стандартних систем енергопостачання часто є неможливим або економічно недоцільним.

Розробка надійних та енергоефективних систем освітлення на основі сонячних панелей є також важливим елементом для міської інфраструктури. Використання сонячної енергії дозволяє зменшити витрати на електроенергію, забезпечуючи стабільне освітлення як для громадських місць, так і для приватних територій. Система на сонячних панелях потребує мінімального обслуговування, що значно знижує експлуатаційні витрати та робить її економічно вигідною в довгостроковій перспективі. Зважаючи на важливість скорочення викидів вуглецю та забезпечення екологічної безпеки, питання впровадження автономних систем освітлення на сонячних панелях є актуальним для наукових досліджень та практичних рішень.

Метою даної роботи є розробка принципів та підходів до проєктування систем освітлення на сонячних панелях, що забезпечують ефективне функціонування автономної інфраструктури.

Системи освітлення на сонячних панелях включають кілька основних компонентів (рис. 1): самі сонячні панелі, акумуляторні батареї, контролери заряду-розряду та LED-освітлювальні прилади. Кожен з цих компонентів відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та надійності системи.



**Рисунок 1 – Блок-схема освітлювальної установки на сонячних панелях**

Вибір сонячних панелей для системи освітлення залежить від кількох факторів: інтенсивності сонячного випромінювання, географічного розташування об'єкта та специфічних умов експлуатації [2-3]. Панелі на основі монокристалічного кремнію забезпечують вищий коефіцієнт перетворення енергії, але є дорожчими порівняно з

полікристалічними аналогами. Панелі мають бути захищені від механічних пошкоджень, що може бути досягнуто шляхом встановлення спеціальних рамок або покриттів, які забезпечують додатковий захист.

Одним з ключових компонентів автономної системи є акумулятори, які забезпечують стабільну роботу системи в умовах обмеженого сонячного випромінювання або в нічний час. Найбільш поширеними акумуляторами для сонячних систем є літій-іонні та літій-полімерні батареї.

Для стабільної роботи системи освітлення важливою є роль контролерів заряду-розряду, які регулюють процес зарядки акумулятора, захищаючи його від надмірного заряду та розряду. Найчастіше використовують контролери з технологією MPPT (Maximum Power Point Tracking), яка дозволяє оптимально використовувати енергію сонця в умовах змінного освітлення, що особливо актуально в регіонах з неоднорідними кліматичними умовами.

Вибір LED-освітлення є виправданим через його високу енергоефективність, тривалий термін експлуатації та низьке енергоспоживання. Крім того, LED-лампи мають високий ступінь світловіддачі, що дозволяє зменшити кількість необхідних приладів. Важливими параметрами при виборі LED-освітлення є кут розсіювання світла та кольорова температура, які забезпечують оптимальне освітлення території [3].

Важливо, щоб система освітлення була гнучкою, універсальною та масштабованою, здатною адаптуватися до різних розмірів і типів інфраструктурних об'єктів. Вибір оптимальних компонентів, зокрема сонячних панелей, акумуляторних батарей, контролерів заряду та LED-освітлювальних приладів, є ключовим фактором у забезпеченні стабільної та економічно вигідної роботи таких систем. Ефективність автономних освітлювальних систем на сонячних панелях значною мірою залежить від правильної орієнтації панелей та врахування кліматичних умов конкретного регіону.

Завдяки розвитку технологій, пов'язаних з відновлюваною енергією, та підтримці на рівні державної політики, системи освітлення на сонячних панелях стають дедалі більш доступними для широкого використання. Переваги таких систем не тільки в економії електроенергії, але й у створенні екологічно чистих рішень, які сприяють збереженню навколишнього середовища. Впровадження автономних систем освітлення на сонячних панелях є важливим кроком на шляху до сталого розвитку, який дозволить забезпечити освітлення у віддалених місцевостях та підвищити рівень енергетичної незалежності.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IRENA (2023). Renewable Energy Statistics 2023 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023>
2. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Підручник / С. О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
3. Литвиненко А. С. Автономна система освітлення гібридного типу / А. С. Литвиненко, О. М. Діденко, Ю. О. Васильєва, Л. Д. Гуракова, К. І. Юффе // Світлотехніка та електроенергетика. – 2016. – №1. – С. 12-18.
4. Перетворювальна техніка: підручник / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Т. Морозов [та ін.]; за ред. В. С. Руденка. – Харків: Фоліо, 2000. – Ч. 2. – 360 с.

### СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 1615Z249Т

#### THE IMPLEMENTATION OF ROBOTICS INTO HUMAN'S LIFE

Zakaryayev Z. N., Deputy head of the department of electronics and telecommunications

Military Institute named after Haydar Aliyev, Baku, Azerbaijan,

e-mail: [zekeryeyev.zaur1976@gmail.com](mailto:zekeryeyev.zaur1976@gmail.com), ORCID ID 0009-0007-2764-9749

Zakarya N. Z., BSc of computer science

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

**Abstract:** The world is currently changing at a concomitant rate. Robots, which were being imagined to facilitate the labour force in the earlier centuries, due to the digitalization and modernization, began to develop and implement in a society. Nowadays, there is an increasing demand for the help of these robots in different areas. Therefore, the society in which we live today requires a broad knowledge of technology, as XXI is considered to be the century of robotics.

Robots are automated machines, which are highly capable of performing functions of humans within the interaction. They have been thought and dreamed to be made up for long centuries, and are now in charge of facilitating the way of living. Undoubtedly, their main mission is to make our life more comfortable by diminishing “hand working” from difficult labor force and increase productivity. The robot is built on computer technology, the consciousness is a computer with which information can be read and transferred to a separate medium. They are not treated as humans, but can be repaired by entering the appropriate diagnostic programs. Robots are frequently met in manufacture, where with their assistance, the majority of industrial tasks are completely managed to be done. However, despite this, smart devices are also involved in military industries, medicine, in the sphere of hospitality and consumed sections. Robotics is a new branch of science and technology based on the fields of mechanics, electronics and microprocessor technology, computer science and computer control of machine movement. Robots and robotic systems are designed to perform work operations with the transfer of a person to heavy, dangerous work, from micro meters to macro-dimensions. Earlier they only executed repeated routine objectives on programs, and nowadays their level reached on a high level, affording interactions with us, communicating in their machine languages, understand our gestures and emotions. In addition to this, by using specialized platforms each has an opportunity to influence an industry, create their programs and add new functions into robotics. Hereby, developing from simple mechanisms, robots have chances to affect the community and become our friends. Industrial robots are often used in factories and enterprises. They are used for controlling, moving and moving functions in various production processes. Their main feature is that they do not get tired. Robots can work around the clock without any human presence, since their functioning requires only an approved program in which they operate. They can only perform certain actions, but they are most often used in auto mated production systems. In recent years, the whole world has been closely following the development of autonomous cars that will transport people without their participation in the process. Now the closest to un manned vehicles is the Uber taxi service. But manufacturers such as Ford, Mercedes, Toyota, BMW and Tesla regularly demonstrate progress in technology development. Robots are also actively used in agriculture. These include radio-controlled tractors and plows, but un manned aerial vehicles, which are used to map their land and regularly inspect crops, are increasingly used. With the advent of more up-to-date robots, in medicine they contribute enormously in many factors. First and foremost, contemporary operative equipped with new facilities, allowing to do operations more accurately and with a few risks for patient's health in a con sequence. Furthermore, technologies afford to enhance the quality of preparation of doctors. Nanorobotics that deliver medicinal preparation to the disease destination; the intervention of robotics into the typical life of a per son and a mobile device, all this is a promising area of robotics in medicine. One of the primary objective of current engineers is the establishment of such a robot that will not exclusively shift through large arteries, but also through narrow blood vessels. This could allow operations without traumatic surgery. Micro robots can also be useful for treating cancer.

In addition, there is a growing number in un manned aerial vehicles, which have long passed from exclusively military applications to civilian ones. Drones are used for a wide variety of tasks - from entertainment to surveillance and professional video. The leadership in this sector belongs to the Chinese manufacturer DJI. Their latest Spark is considered the most advanced selfie drone launched and controlled by gestures.

**Problems.** In spite of all the technological advances, robotics are not used ubiquitously, as they are mostly seen in science-fiction movies. This is mainly related with nearby factors. First of all, our infrastructure is not simply ready for this: roads, streets, buildings and houses. Robots perceive the world in a different way and not able to distinguish just a chair from another chair, in which talking about permanent changing conditions of our life. Second of all, the right system of authority is not ready: the utilization of those user-friendly machines requires more appropriate laws, so that they would coexisted “peacefully” with us. Finally, in any case there must be an attentive responsibility for their actions. Third of all, some researchers claim that it is necessary to carefully appeal to those mechanical machines, as with the further active development of the artificial intelligence they might literally enslave us. Those concerns hold back investigations and the distribution of them too seriously. As we see, robots have already implemented in the views of various intelligent gadgets, household facilities and smart-systems. However, until ideal forms, created by human imagination, we still need to the highly advanced level of technological process. All they can actually do is to perform of programmed commands of humans. Therefore, software engineers are now making huge attempts to create machines highly competitive as well as interaction with them is more straightforward, natural and most importantly accessible to everybody.

**Future forecasts.** According to the statistics of the Tractica organization, the number of people using robots will reach 31,2 million by 2020 across the world. Moreover, the leadership on the market will come to the household robots, overtaking industrial and military that will certainly lead to the high demands in use. Scientists predicted that by 2018 years the overall facilities accessed to the Internet will be counted at 6 billion around the world. Those facilities will appeal people to build new business plans for serving those facilities. By 2020 approximately 40% interactions with mobile devices will be implemented through “smart” agencies. In fact, this forecast is based on the fact that our world is moving towards a computerized era of applications in which services such as Amazon Alexa, Microsoft Cortana and Apple Siri will play a vital role in a universal inter face for human interaction with devices. As we now have an access only cleaning robots, drones as well as personal assistants, the fact that we will have a great opportunity make that device more functional, not depending on producers makes us happier. More advantageously, ordinary people are not yet mentally ready to accept robots in a similar way to them. This is primarily due to the lack of information about the achievements of scientific and technological progress. Additionally, people have a mistaken opinion about robots that have been repeatedly featured in science fiction films.

**Conclusion.** All in all, we cannot replace the labour force of humans with smart machines’ although that is more productive and without tiring. And it is to note that communicative skills with robots will not be less useful rather than with people. We see as modern and state-of-the-art technologies combine people and smart machines into a large social-hardware network. And this is only the beginning of the difficulty, but of the very fascinating travel into the future.

#### REFERENCES:

1. R. Kelly and R. Carelli, “A class of nonlinear PD-type controllers for robot manipulators,” *Journal of Robotic Systems*, vol. 13, no. 12, pp. 793–802, 2010.
2. S. Kawamura, F. Miyazaki, and S. Arimoto, “Is a local PD feedback control law effective for trajectory tracking of robot motion?” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 1335–1340, 2015.
3. K. S. Narendra and A. M. Annaswamy (2011), *Stable Adaptive Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 484 Priyank Jain & Dr. M.J. Nigam



АВТОМАТИЗОВАНО–ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ВИБУХОЗАХИСТУ  
НА ПІДПРИЄМСТВІ З ВИГОТОВЛЕННЯ АРОМАТИЗОВАНОГО ТЮТЮНУ

Багно В. І., магістр. e-mail: [vladislavbagnu@gmail.com](mailto:vladislavbagnu@gmail.com)

Когдась М. Г., д.т.н., проф. e-mail: [kogdasmax@gmail.com](mailto:kogdasmax@gmail.com)

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Актуальність дослідження.** Автоматизація підприємств на сучасному рівні вимагає створення єдиної автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП), оскільки дана надбудова дає можливість не тільки керувати процесом в автоматичному і ручному режимах (дії оператора), але й має ряд інших корисних аспектів. Наприклад, значна частина підприємств використовує вибухонебезпечні суміші та устаткування, яке може спричинити руйнівні наслідки при аваріях або неправильній експлуатації персоналом, що не допустимо як з урахуванням значних економічних збитків, так і з ризиком втрати персоналом життя або здоров'я.

Як зазначають автори роботи [1]: «За деякими оцінками щорічний збиток, що наноситься світовій економіці техногенними катастрофами і аваріями, за останні 30 років збільшився в 3 рази і досяг 200 мільярдів доларів, і це без урахування екологічного збитку. На сьогоднішній день збиток від аварій і катастроф у світі складає від 5 до 10 % величини валового національного продукту»

Отже, враховуючи вище сказане, ми бачимо насущні проблеми з забезпечення надійного рівня безпеки, але в той же час безпомилкового керування технологічним процесом підприємства.

**Мета дослідження.** підвищити рівень повноти безпеки (SIL) на вибухонебезпечному об'єкті підприємства з виготовлення ароматизованого тютюну від рівня SIL 1 до рівня SIL 2. Це дозволить зменшити ризик небезпечних ситуацій на підприємстві і зберегти життя і здоров'я працівників а також матеріальних цінностей.

**Основні матеріали досліджень.** В основі дослідження покладено ряд методик, які дозволять визначити вимоги щодо надійності в даній системі, а саме:

- HAZOP-аналіз;
- дерево відмов;
- Чепменівська модель стохастичних процесів;
- варіаційна Баєсівська модель.

За допомогою першого методу проведено визначення найбільш небезпечних контурів та взагалі тих елементів системи, якій мають підвищений ризик виходу з ладу [2]. Один елемент системи є джерелом збурення, а інший приймачем, тобто тим на кого діє збурення. У першому елементі розглядаються причини виникнення відхилення, а у другому – наслідки, до яких це збурення/відхилення призводить, і як це впливає на реакцію системи.

Чепменівські випадкові процеси є математичними моделями, що використовуються для аналізу систем, що розвиваються в часу та характеризуються властивістю без пам'яті, відомим як властивість Чепмена. Вони засновані на теорії ймовірностей та теорії випадкових процесів. Чепменівські моделі надійності в даному дослідженні були використані для опису надійності систем у часі. Вони дозволили проаналізувати ймовірності переходів системи між різними станами, які можуть бути пов'язані з нормальною роботою, відмовами чи відновленням після аварії. Аналітична модель включає основні компоненти системи (датчик, контролер, актюатор), їх стани та ймовірності переходів між ними [3]. Використання цього методу в дослідженні є важливим, так як дає можливість розрахувати параметри системи, коли вона буде стійка до зовнішніх випадкових збурень і прорахувати реакцію системи на збурення, що мають імовірніший характер.

Варіаційна Баєсівська модель є важливим інструментом теорії чепменівських процесів, включаючи моделі надійності. Вони були використані для опису ймовірностей переходу між

станами у часі в рамках марківських моделей [4]. Модель складається з наступних елементів [5]:

- стану елемента;
- ймовірності переходу;
- інтенсивності відмов та відновлення.

Тому на основі цих принципів моделювання та відповідних розрахунків, було створено модель в програмному середовищі для моделювання стохастичних процесів Möbius. Модель та результати моделювання представлені на рис. 1 нижче.

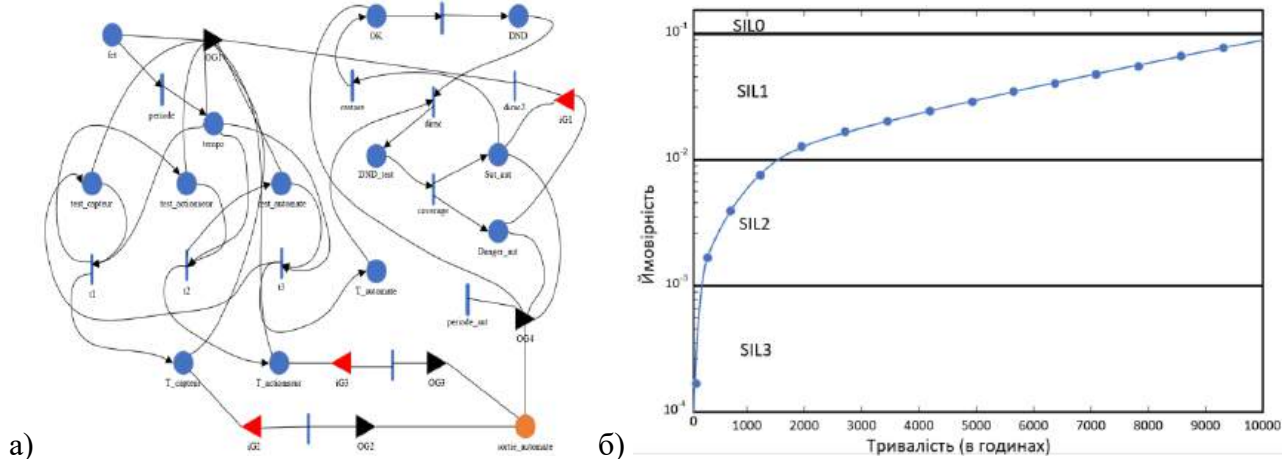


Рисунок 1 – а) Модель архітектури безпеки 1001D; б) Результат моделювання у напівлогарифмічному представленні

У результаті моделювання визначено вимоги до системи, мінімальний рівень SIL для відповідної ймовірності небезпечних відмов в даній системі автоматичного управління, апаратне забезпечення для АСУ було обрано таке, щоб в розрізі небезпечних відмов потрапило в границі SIL2-SIL3.

**Висновок.** Формалізація задачі, побудова дерева відмов, HAZOP-аналіз і розрахунки моделі Чепмена і варіаційної Баєсовської моделі дозволили побудувати модель, яка найбільш приближена до реальної системи, оскільки включає всі елементи системи, їх характеристики і параметри, стани та імовірності переходів з одних станів в інші. Власне комп'ютерна імітаційна модель АСУ з архітектурою безпеки 1001D і аналіз отриманих результатів (ілюстрованих графіками, гістограмами і у вигляді таблиць) довів її підвищену надійність перед архітектурою 1001. Показник ефективності (IP) для даної АСУ 1001D становить 0,037 для небезпечних відмов, в кінцевому результаті надійність системи складає 99,77%.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки з дипломного проектування систем автоматизації вибухонебезпечних виробництв / Укл. : Г.І. Манко, К.О. Довгопола. – Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ. – 2015. – 60 с.
2. Mkhida A. Contribution to the dependability assessment of safety instrumented systems including intelligence : дис. докт. техн. наук : INPL / Mkhida A. – Lorraine, 2008. – 196 с.
3. Яковуна V. S. Програмний модуль розв'язування систем диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена для автоматизації надійнісного проектування / V. S. Яковуна, М. М. Seniv, V. V. Lytvyn. // Scientific Bulletin of UNFU. – 2019. – №5. – С. 141—146.
4. Коротка Л. Нечіткі та нейромережеві технології під час розв'язання деяких класів систем диференціальних рівнянь / Л. Коротка. // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. – 2023. – №4. – С. 92–99.
5. The Möbius Modeling Tool [Електронний ресурс] // University of Illinois Urbana-Champaign. – 2004. – Режим доступу: <https://www.mobius.illinois.edu/>.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТАХОГРАМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ  
АГРЕГАТУ РІЗАННЯ ТА ПАКУВАННЯ ПРОКАТУ АРПП-1700

Безсудний І. В., магістрант, e-mail: [Ihor.Bezsudnyi@iee.khpi.edu.ua](mailto:Ihor.Bezsudnyi@iee.khpi.edu.ua)

Тукалов І. О., к.т.н., доц., e-mail: [Ihor.Tukalov@iee.khpi.edu.ua](mailto:Ihor.Tukalov@iee.khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність теми** зумовлена тим, що економічна ситуація вимагає, не підвищення продуктивності, а зниження витрат на виробництво продукції [1]. Більшість наявних систем керування летючих ножиць розроблялася в 70-80-х роках попереднього століття і відповідала можливостям керуючих засобів того часу, зокрема, вони не реалізують повною мірою можливості ресурсозбереження.

**Мета досліджень.** Летючі ножиці агрегату поперечного різання та пакування металопрокату АРПП-1700 - це потужний високодинамічний механізм, тому розробка електроприводу, вибір і оптимізація законів регулювання за критерієм мінімізації енерговитрат є досить важливими.

**Основні матеріали досліджень.** Широкий діапазон довжин, що відрізаються ножицями, досягається регулюванням середньої швидкості ножиць барабанного типу при незмінній швидкості подачі прокату та електричним вирівнюванням цих швидкостей к моменту зустрічі ножів зі смугою. При такому способі вирівнювання швидкостей, підвищуються вимоги до динамічних і статичних характеристик електроприводу, які забезпечують точність різання, а частота включень приводу (циклів різання) досягає, в деяких випадках, декількох тисяч на годину. Іншими словами, електропривод постійно працює в режимі зміни швидкості. Тому в цих умовах велике значення має формування тахограм руху, що забезпечують зниження нагрівання двигуна та зменшення енерговитрат.

Ножиці агрегату АРПП-1700 оснащені автоматизованим електроприводом і системою автоматичного керування розрізанням полоси на мірні довжини. Електропривод безредукторний, з барабанним механізмом, що виконує різ під час кожного оберту. Розрізання прокату на задані мірні довжини здійснюється зниженням швидкості ножів  $\omega$  щодо швидкості прокату  $\omega_c$ . Вибір закону зміни швидкості на ділянці роботи на зниженій швидкості проводиться з двох основних міркувань: ступеня завантаження двигуна за теплом і ступеня складності системи управління, що реалізує закон руху механізму. На рис. 1 наведено три основні тахограми швидкості летючих ножиць [2].

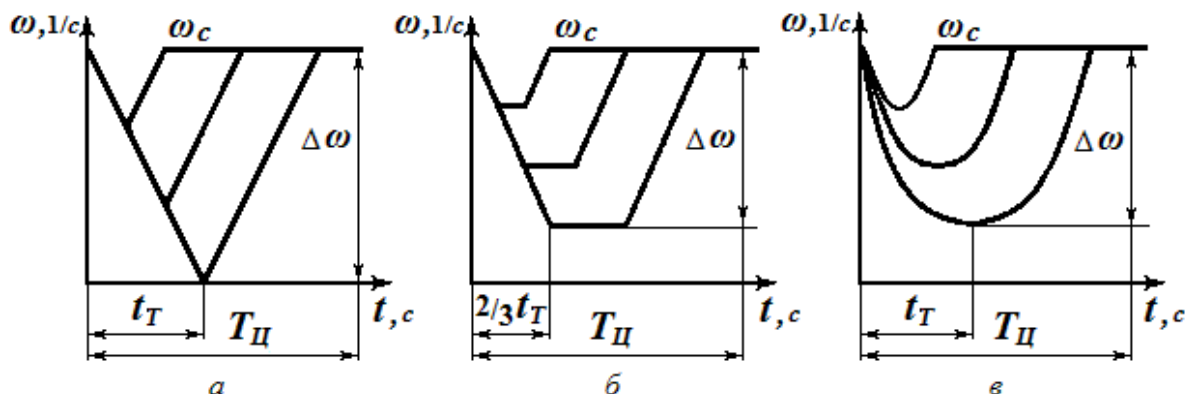


Рисунок 1 – Закони зміни швидкості електроприводу летючих ножиць:  
а – трикутний; б – трапецеїдальний; в – параболічний

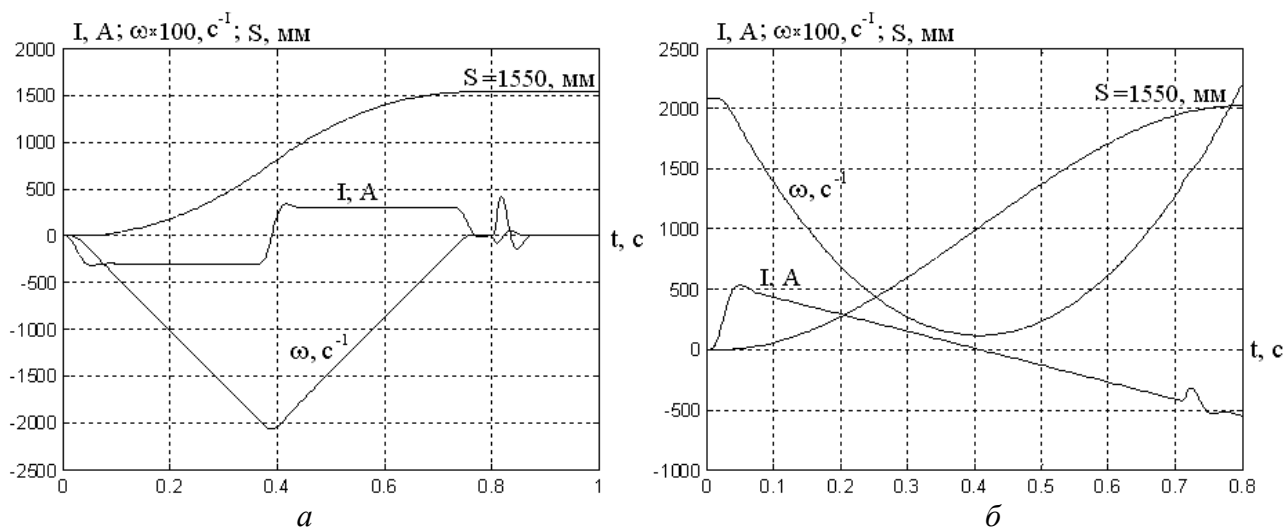
Найбільш економічними з погляду енергетичних витрат є параболічні закони зміни швидкості, рис. 1в. Для їх розрахунку використовують ізопериметричні варіаційні закони Лагранжа та Ейлера. Теоретично економія енерговитрат при порівнянні трикутної,

трапецієподібної та синусоїдальної тахограм з параболічною складає відповідно 33 %, 12,5 % та 4,7 %. Реалізація оптимальних за енергозбереженням тахограм поки що не знайшла широкого розповсюдження.

У електроприводі летючих ножиць АРПП-1700 був використаний двигун постійного струму типу 4П-355-43-110УЗ,  $P_n=110$  кВт,  $U_n=440$  В,  $I_n=300$  А,  $n_n=200$  об/хв,  $J=18$  кгм<sup>2</sup>.

Для впровадження розглядалися вказані трикутна, трапецієподібна, синусоїдальна та параболічна тахограми. Було розроблено достатньо просту структуру задаючого пристрою, що реалізує як оптимальні процеси зміни швидкості електропривода, так і розв'язує завдання мірного різку. Дослідженнями розробленої системи на ЕОМ, за методиками розглянутими в [3], підтверджено перспективність використання оптимального керування для реалізації мірного різку металопрокату.

Як приклад, на рис. 2 показані перехідні процеси при роботі електропривода за трикутною та параболічною тахограмами у процесі відпрацювання неузгодженості за шляхом ножів ножиць і прокату під час відрізання смуги довжиною більшою, ніж базова.



**Рисунок 2 – Перехідні процеси зміни швидкості електроприводу летючих ножиць: а – трикутний; б – параболічний**

**Висновок.** Проведений аналіз перехідних процесів за різних законів зміни швидкості розробленого електроприводу летючих ножиць агрегату АРПП-1700 підтвердив теоретичні положення. Слід зазначити, що реальна економія, навіть, дещо перевищує теоретичну, оскільки графіки не є ідеальними. Сучасний розвиток засобів керування дає змогу однозначно рекомендувати перехід до реалізації оптимальних параболічних тахограм, як за допомогою додаткових пристроїв з параболічними задавачами інтенсивності, так і засобами мікропроцесорної техніки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жовтянський В. А. Енергозбереження: роль і місце в енергетичній стратегії України// Проблеми загальної енергетики. – 2011. – №5. – С.22-24.
2. Тукалов І. О., Асмолова Л. В. Порівняльний аналіз енергетичних витрат за різних законів зміни швидкості приводу летючих ножиць// Вісник НТУ "ХПІ". Збірка наукових праць. Тематичний випуск 10. – Харків, НТУ ХПІ, 2001. – С.360-362.
3. Безсудний І. В., Григор'єв В. Р., Тукалов І. О. Комплексне моделювання – завершальний етап бакалаврського проекту // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: наукові пошуки молоді Всеукр. наук.-практ. конф., 11 квітня 2023. –Харків: ДБТУ, 2023. – С. 93.

ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ  
ВНАСЛІДОК НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Бондаренко М. О., аспірант, e-mail: [miwanya2008@ukr.net](mailto:miwanya2008@ukr.net)

Лисиченко М. Л. д.т.н., проф., e-mail: [lprlysychenko@biotechuniv.edu.ua](mailto:lprlysychenko@biotechuniv.edu.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Відомо, що основним споживачем електричної енергії є електропривод робочих машин і механізмів (до 60 %). За умови недостатньої якості електричної енергії на Україні, внаслідок руйнування електричних мереж, рівень втрат відчутний для підприємств і господарства країни в цілому. Руйнування енергетичної системи злочинними діями країни агресора, призводить до погіршення керованості енергетичної системи. Така ситуація не дозволяє використовувати можливості схемних рішень для вирівнювання якісних показників. В пріоритеті стає підтримання працездатності енергетичної системи, в той час як якісні показники відходять на другу чергу. І це також призводить до зростання втрат в енергетичній системі. Так, за даними довоєнної статистики втрати електричної енергії в електромережах у 2020 році зросли до 10,4 %, що коштувало країні та споживачам десятки мільярдів гривень, причому за останні два роки величина втрат електроенергії в мережах збільшилася майже на 2 % [1]. Безпосередньо величина втрат електричної енергії може розглядатися як додатковий маркер ступеня розвитку країни [2]. Для підприємств, робота яких забезпечує життєві потреби населення – погана якість електричної енергії не є критерієм. Основна мета підтримати працездатність. До таких підприємств відносяться житлово-комунальні господарства, зокрема теплові мережі мікрорайонів. Примусовий рух теплоносія в мережі створюється тільки за допомогою електричних насосів, які отримують обертальний момент від асинхронних електричних двигунів.

Для таких двигунів характерні підвищені втрати електричної енергії за умови зниження її якості що є однією із обов'язкових умов щодо ефективності насосних станцій.

В тепловій мережі частіше використовуються насоси типу *Atmos GIGA-I 50/85-1,5/2*, такі як, наприклад (рис. 1), який має параметри: - максимальна продуктивність – 390 м<sup>3</sup>/год; - максимальний натиск – 42 м; - номінальна напруга – 3~400 В; - номінальний струм – 54,5 А; - номінальна потужність – 30 кВт.



Рисунок 1 – Насос Atmos GIGA-N 100/160-30/2

**Мета досліджень.** Провести моніторинг відхилень напруги по фазам на насосній станції забезпечення житлового мікрорайону м. Полтава.

**Основні матеріали досліджень.** Для постачання теплоносієм району міста із щільною забудовою використовують декілька насосів. Напруга живлення насосів трифазна 0,4 кВ. Для зручності використання насоси встановлюють в спеціальних будівлях – насосних підстанціях, а живлення для підстанцій здійснюється від електричної мережі мікрорайону міста з підстанції 10/0,4 кВ. Саме міська електрична мережа має найбільший вплив на якісні показники, а значить і вплив неякісної електричної енергії на циркуляційні насоси теплової мережі є безпосереднім.



Якість електроенергії залежить не тільки від умов електропостачання, але і від електроустаткування, що експлуатується та від самих умов експлуатації обладнання. Зрозуміло, що відповідальність за якість електроенергії несуть всі суб'єкти системи електропостачання [3]. Вимогами ДСТУ EN 50160:2014 [4] встановлено такі показники якості електроенергії: – відхилення напруги від свого номінального значення; – коливання напруги від номіналу; – несинусоїдальність напруги; – несиметрія напруги; – відхилення частоти від свого номінального значення; – тривалість провалу напруги; – імпульс напруги; – тимчасове перенапруження.

В проведеному дослідженні, вимірювали відхилення напруги у фазах А, В, С (рис.2).

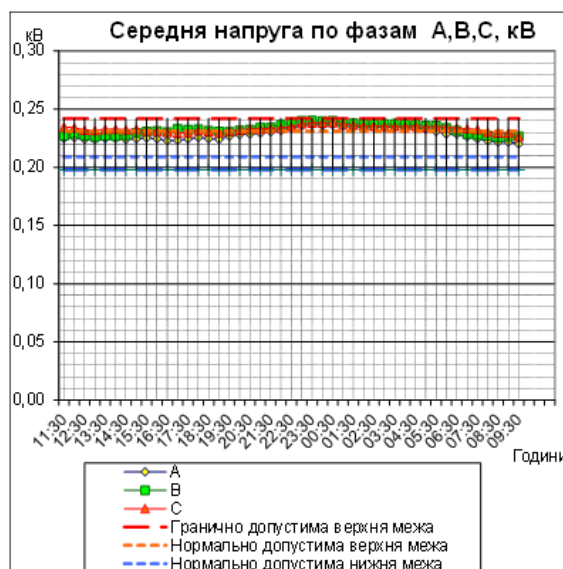


Рисунок 2 – Графік відхилення середньої напруги по фазам насосній станції

В результаті проведених вимірювань визначено, що число проведених вимірів становило Число вимірів: 1440, число виходів за допустиме значення: фаза А – 1440 (100 %), В – 1440 (100 %), С – 1020 (70,8 %)

**Висновок.** Відхилення напруги в мережі живлення насосної станції теплової мережі житлового мікрорайону м. Полтави за час проведення вимірювання не відповідає вимогам до якості електричної енергії, що приводить до неконтрольованої втрати енергії в електроприводі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аналітичний центр досліджень енергетики. URL: <http://eircenter.com>
2. Оніщенко В. А. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии / В. А.Онищенко, И. А. Самойленко, О. Г. Гриб , та ін. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2013. – 329 с.
3. Hryb O. H., Senderovych H. A., Shcherbakova P. H. Aktualne zadachy opredeleniya dolevoho uchastyia v otvetstvennosti za narushenye kachestva zlektrycheskoї znerhyu. Naukovi pratsi DonNTU - Elektrotehnika i enerhetyka. 2013. №1(14). S. 77-82.
4. DSTU EN 50160:2014. Kharakterystyky napruhy elektropostachannia v elektrychnykh merezhakh zahalnoi pryznachenosti (EN 50160 2010, IDT). [Chynnyi vid 2014-10-01]. Kiev: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014. 27 s.

## ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ БАЛАНСУВАННЯ КОЛІС

Боровик Д. О., студент ЕМ-23, e-mail: [denisbor044@gmail.com](mailto:denisbor044@gmail.com)

Хмельницький національний університет

Горященко С. Л., науковий керівник [gsl7@ukr.net](mailto:gsl7@ukr.net)

**Актуальність дослідження.** Правильний вектор руху коліс є критичним для безпечного та економічного пересування автомобілем. Неправильне положення коліс призводить до швидкого зношування шин, погіршення керування транспортним засобом, зниження ККД, а також підвищеного ризику аварій. Зростаючий попит на автоматизацію діагностики автомобільних систем створює потребу в ефективних рішеннях для вимірювання параметрів кутів нахилу та вирівнювання коліс.

**Мета дослідження.** Розробити автоматизовану систему, здатну точно визначити положення коліс автомобіля в реальному часі. Інтегрувати технології технічного зору, сенсорики та машинного навчання для підвищення точності діагностування. Поєднати технології процесу розвалу-сходження незалежного напрямку руху.

**Основні матеріали досліджень.** Одна з найбільш гострих проблем, які турбують власників автомобілів з пробігом – зміна кутів обертання коліс. Під час експлуатації машини водій відчуває, що при незмінному положенні керма її заносить у лівий чи правий бік. Іноді це може призвести до аварійної ситуації. Виправити цю ситуацію допоможе розвал сходження. Причина, чому машина потребує розвалу і сходження коліс, дуже проста. З віком транспортного засобу окремі частини ходової (пружини, елементи кузова, сайлент-блоки) втрачають пружність, через що кліренс авто починає змінюватись в порівнянні із заводськими нормами. Варто пам'ятати, що виконати діагностику та ремонт цієї проблеми можна лише в автосервісі [1].

Розвал сходження автомобіля в Україні зараз доволі затребувана послуга, з урахуванням того, що із Польщі, Литви та інших країн Європейського союзу була привезена чимала кількість вживаних автівок. І хоча зміна кутів обертання коліс частіше буває не дуже значна – лише кілька градусів, на дорозі навіть така, відносно невелика зміна геометрії вкрай небезпечна [2, 3].

Аналогія між розробкою автоматизованої системи діагностування положення коліс і процесом розвалу-сходження дозволяє краще зрозуміти, як новітні технології можуть покращити стандартні методи вирівнювання коліс.

Розвал-сходження - це процедура, яка налаштовує кути нахилу коліс для забезпечення їхньої правильного положення. Цей процес проводиться вручну або напівавтоматично, і потребує високої кваліфікації спеціаліста. Крім того це часозатратний процес, де кожен етап вимагає точного ручного налаштування. Будь-яка неточність може вплинути на кінцевий результат [2, 3].

Мета автоматизації — виконувати подібну діагностику швидше, точніше та без ручного втручання. Вона виявляє відхилення в положенні коліс і пропонує коригувальні дії, використовуючи сучасні датчики та обробку даних.

Сучасні технології дозволяють автоматизувати цей процес, використовуючи камери та інші датчики, проте більшість рішень є дорогими та громіздкими. Автоматизована система може включати в себе:

- 1) Технічний зір для зчитування зображень коліс і визначення їхнього положення з допомогою алгоритмів обробки зображень.
- 2) Інтеграція сенсорів (лідарів, акселерометрів) для збору даних про кут нахилу та напрямок коліс.
- 3) Машинне навчання та нейронні мережі для аналізу великої кількості даних, отриманих із датчиків, та прогнозування оптимального положення коліс.

4) Інтерфейс керування та виводу даних для спрощеного доступу до результатів діагностики та рекомендацій щодо налаштування.

Переваги автоматизованої системи:

- Скорочення часу на діагностику та коригування положення коліс.

- Підвищення точності вирівнювання коліс без людського фактору.

- Можливість швидкого аналізу та доступ до історії технічного стану коліс, що сприяє більш надійному обслуговуванню автомобіля.

- Інтеграція в розумні системи моніторингу технічного стану, які дозволять автовласникам та сервісним центрам отримувати повідомлення про необхідність обслуговування.

Автоматизована система діагностування положення коліс автомобіля за нашою розробкою повинна мати певну прошивку та датчики які дозволяють створити дві уявні прямі по яким повинні рухатись імпульсивні датчики із зовнішньої сторони дисків автомобіля, при сходженні із цієї прямої система видасть помилку на панель приладів, сповіщаючи про збиття траєкторії руху коліс відносно ідеальної. Використання технічного зору, машинного навчання, а також сенсорних систем (наприклад, лідара або акселерометрів) дозволяє системі самостійно проводити заміри, аналізувати положення коліс і формувати висновки про стан їхнього вирівнювання.

#### **Висновки:**

Завдяки використанню технологій, точність діагностики значно підвищується, оскільки зменшується вплив людського фактору. Крім того, обробка даних в реальному часі дозволяє оперативніше діагностувати і коригувати відхилення, що зменшує загальний час обслуговування. Система здатна збирати й аналізувати історичні дані про положення коліс, що дозволяє прогнозувати можливі збої або необхідність обслуговування. Це запобігає зношуванню і поліпшує управління технічним станом автомобіля.

Розробка автоматизованої системи діагностики положення коліс забезпечить підвищену безпеку і зручність обслуговування автомобілів.

Використання сучасних технологій дозволяє створити ефективне рішення, яке зможе знайти широке застосування на ринку автосервісу та обслуговування автомобілів.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Розвал сходження. URL: [https://pro-sto.lviv.ua/rozval-skhodzhennia-lviv.html?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign={pro\\_cto\\_ua\\_lviv}&utm\\_term=%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BB%20%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx-I\\_vVj6\\_YxJXY9g2lPjln9yr0gKt6m2FTy3\\_sqj\\_p518qMchxrvFUaAgdaEALw\\_wcB](https://pro-sto.lviv.ua/rozval-skhodzhennia-lviv.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign={pro_cto_ua_lviv}&utm_term=%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BB%20%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw7Py4BhCbARIsAMMx-I_vVj6_YxJXY9g2lPjln9yr0gKt6m2FTy3_sqj_p518qMchxrvFUaAgdaEALw_wcB)

2. Красота М.В, Кулешков Ю.В., Магопець С.О., Шепеленко І.В., Бевз О.В., Осін Р.А., Руденко Т.В. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів. Навчальний посібник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023.- 208 с. URL: <https://erm.kntu.kr.ua/files/Навчаль%20пос%20ТООРА.pdf>

3. Балансування коліс на верстаті Hunter. URL: <https://www.blacktyre.kiev.ua/balansuvannja-kolis-na-verstati-hunter/>

РОЗРОБКА СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
ФАЛЬСИФІКАЦІЇ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Василенко Д. О., аспірант, e-mail: [hideseptember24@gmail.com](mailto:hideseptember24@gmail.com)

Сорокін М. С., к.т.н., доц., e-mail: [sorokin.ekt@gmail.com](mailto:sorokin.ekt@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Фальсифікація молочних продуктів є поширеною проблемою, яка негативно впливає на здоров'я споживачів та економіку харчової промисловості. Часто додають воду, рослинні жири, стабілізатори, замінники білків або інші домішки для здешевлення продукту. На сьогодні найбільше поширення знайшли так звані хроматографічні методи. Але вони потребують лабораторного обладнання та займають час, що ускладнює контроль безпосередньо на етапах закупівлі та виробництва. Розробка швидкого і доступного способу виявлення фальсифікатів за допомогою сенсорної системи на основі електричних параметрів могла б суттєво полегшити процес і підвищити рівень безпеки молочних продуктів.

**Мета дослідження.** Розробити сенсорну систему, яка зможе виявляти фальсифікацію молочної продукції на основі вимірювання електричних параметрів, таких як електропровідність, діелектрична проникність, ємність, імпеданс. Розроблений пристрій має бути мобільним, доступним для використання у виробничих і торгових точках, а також забезпечувати швидкі та точні результати.

**Основні матеріали дослідження.** На початку дослідження треба провести аналіз характеристик молочних продуктів а також поширених фальсифікаторів, тобто речовин які можуть бути додані в молочний продукт для збільшення наприклад його об'єму. Відповідно необхідно проаналізувати електричні параметри натурального молока, вершків, йогуртів тощо, а також особливості фальсифікованих продуктів із додаванням води, рослинних жирів, стабілізаторів і замінників білка. Для успішного виявлення фальсифікації молока необхідно розглянути фізико-хімічні та електричні властивості молока. Натуральне молоко має унікальні електричні параметри, що зумовлені його складом (вода, жири, білки, мінеральні речовини). Додавання фальсифікуючих речовин змінює його електричні властивості. Електропровідність підвищується при додаванні води та знижується при використанні рослинних жирів. Ємність і діелектрична проникність можуть вказувати на зміну концентрації білків та вуглеводів. Значення імпедансу може виявити зміни у структурі продукту, що вказують на фальсифікацію.

Електропровідність молока ( $\sigma$ ) залежить від концентрації іонів у ньому, яка змінюється при додаванні води, замінників білка або стабілізаторів. Молоко можна представити як двофазну рідину, де одна фаза – це вода з розчиненими електролітами, а друга – молочний жир.

Виходячи із цього можна запропонувати наступну модель яка описує електропровідність молока:

$$\sigma = \sigma_{\text{води}} \cdot (1 - f) + \sigma_{\text{молока}} \cdot f \quad (1)$$

де,  $f$  – частка молочного жиру,  $\sigma_{\text{води}}$  – електропровідність води,  $\sigma_{\text{молока}}$  – електропровідність еталонного зразку молока.

Діелектрична проникність молока ( $\epsilon$ ) залежить від частки води і жирів. Зміна діелектричної проникності може служити індикатором наявності домішок у молоці, зокрема води або замінників жирів. Для математичного аналізу діелектричної проникності молочної продукції скористаємося сумішевою моделлю Максвелла-Гарнета. Ця модель дозволяє визначити діелектричну проникність однорідного середовища із розміщеними в неї неоднорідними частинками. Таким чином модель діелектричної проникності має вид:

$$\varepsilon_{\text{дійсне}} = \varepsilon_{\text{жирів}} + \frac{3f(\varepsilon_{\text{води}} - \varepsilon_{\text{жирів}})}{\varepsilon_{\text{води}} + 2\varepsilon_{\text{жирів}} - f(\varepsilon_{\text{води}} - \varepsilon_{\text{жирів}})} \quad (2)$$

де,  $\varepsilon_{\text{дійсне}}$  – дійсна діелектрична проникність зразка молока,  $\varepsilon_{\text{води}}$  – діелектрична проникність води,  $\varepsilon_{\text{жирів}}$  – діелектрична проникність молочних жирів  $f$  – частка молочного жиру.

Імпеданс молока  $Z$  залежить від зміни частоти прикладеного електричного потенціалу ( $\omega$ ), що дозволяє досліджувати його на різних частотах для визначення фальсифікату. Молоко, являє собою складне електричне середовище, може бути представлено еквівалентною схемою з ємністю  $C$  та опором  $R$ :

$$Z(\omega) = R + \frac{1}{j\omega C} \quad (3)$$

Параметри  $R$  та  $C$  описують ємнісні та резистивні параметри молочної продукції.

Для створення сенсорної системи для визначення фальсифікації молочної продукції за допомогою електричних параметрів доцільно зосередитися на компактній конструкції, що включає електроди, вимірювальні схеми, обробку даних, дисплей і комунікаційний модуль. Ось запропонована конструкція:

Для створення технічної системи визначення якості на основі наведених параметрів запропоновано паралельні пластинчасті або кільцеві електроди, які забезпечують рівномірний розподіл електричного поля в молоці. Також слід врахувати температурний режим оскільки це має безпосередній вплив на електричні властивості, тому вбудований температурний датчик (наприклад, термістор) дозволить підвищити точність вимірювання. Для зчитування сигналів із електродів, бажано з розрядністю 12-16 біт для більшої точності. Для генерації змінного струму з частотою в діапазоні 10 Гц – 1 МГц, що дозволить проводити імпедансу спектроскопію і визначати діелектричні та ємнісні параметри. В якості приладу обчислення отриманих параметрів можна використати мікроконтролер на базі процесора STM32 або ESP32 з достатньою обчислювальною потужністю та інтерфейсами, температурного датчика та дисплея. Мікроконтролер отримує значення імпедансу, електропровідності та ємності і порівнює їх із заздалегідь визначеними еталонними значеннями для натурального та фальсифікованого молока. Використання фільтрації шумів і аналізу за допомогою моделей для швидкого визначення відхилень у показниках, що вказують на фальсифікацію.

Ця конструкція забезпечить швидкий і точний аналіз молока на фальсифікацію завдяки вимірюванню електричних параметрів і аналізу їх відхилень від стандартних значень натурального молока.

**Висновок.** Таким чином проведено аналіз факторів визначення якості молочної продукції, запропоновано математичні моделі визначення основних електролітичних параметрів, що залежать від молока та його домішок а також запропоновано концепцію сенсорної системи для визначення фальсифікації молочної продукції шляхом вимірювання її електричних параметрів. Запропонований пристрій дозволяє швидко ідентифікувати зміни електропровідності, ємності та діелектричної проникності молока, які виникають при додаванні води, заміників жирів або стабілізаторів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кабалдов Ю. К., Лобода О. І., Вибір методу і пристрою для визначення діелектричних властивостей молока: Науковий вісник. Мелітополь: ТДАТУ, 2019.
2. Кучерук О. О. Васюра А. С., Методи та прилади вимірювання потому молока. URL <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/29320>



ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНОЇ ПІДВІСКИ БАРАБАНА ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ  
З ДЕМПФУВАННЯМВойтенко О. В., магістрант, e-mail: [berserker180@ukr.net](mailto:berserker180@ukr.net)Горященко С. Л., к.т.н., доц., e-mail: [horiaschenko@khmnu.edu.ua](mailto:horiaschenko@khmnu.edu.ua)

Хмельницький національний університет

**Актуальність дослідження.** Підвищення числа обертів барабана при пранні обмежується критичною частотою обертання при, якій вироби під дією відцентрової сили притискаються до внутрішньої поверхні барабана і порушується процес перемішування виробів [1, 2]. При певній частоті обертання виникають значні періодичні, динамічні навантаження, які передаються на основу машини і опори барабана. Особливо небезпечним є явище резонансу. Перехід через резонанс при запуску режиму віджимання білизни залежить від маси барабану з білизною і пральною рідиною, коефіцієнта пружності пружних елементів [3, 4]. Визначення цих навантажень є актуальною задачею [5, 6].

**Мета досліджень.** Визначити динамічні навантаження у пральній машині, що виникають під час прання.

**Основні матеріали досліджень.** За допомогою ПП SolidWorks розроблена конструкція пральної машини та проведено дослідження прального барабану на динамічні навантаження. Отримані значення показані на рис. 1 та рис.2. Визначено значення вібраційних складових (рис.3)

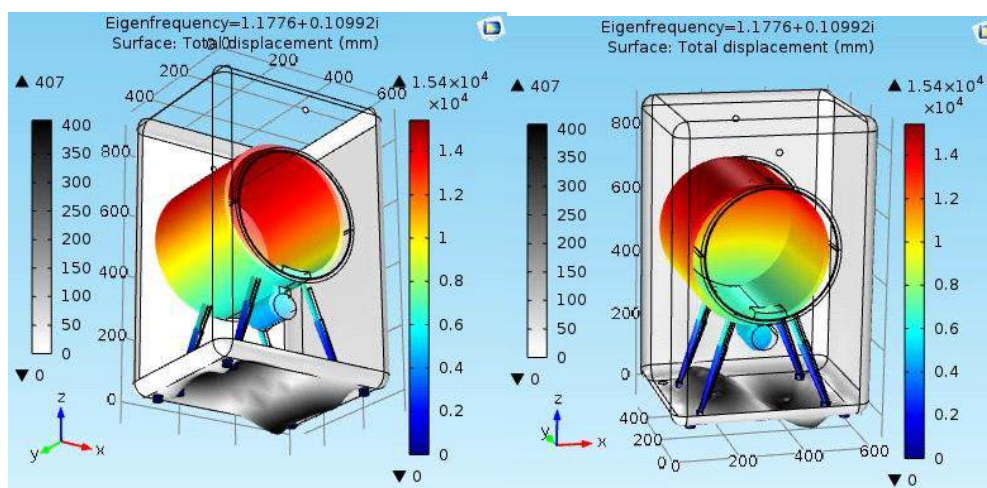


Рисунок 1 – Стійкість конструкції пральної машини до динамічних сил

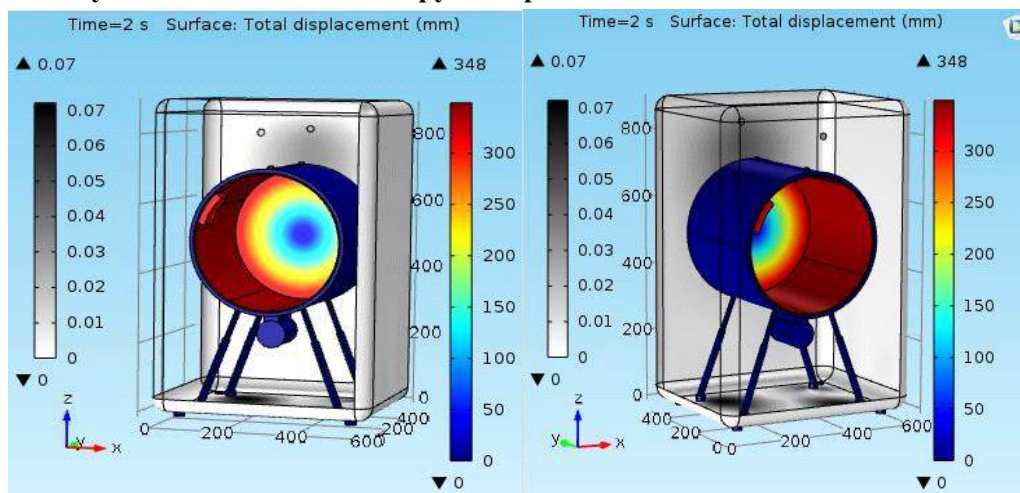


Рисунок 2 – Вплив вібрації в барабані та конструкції пральної машини

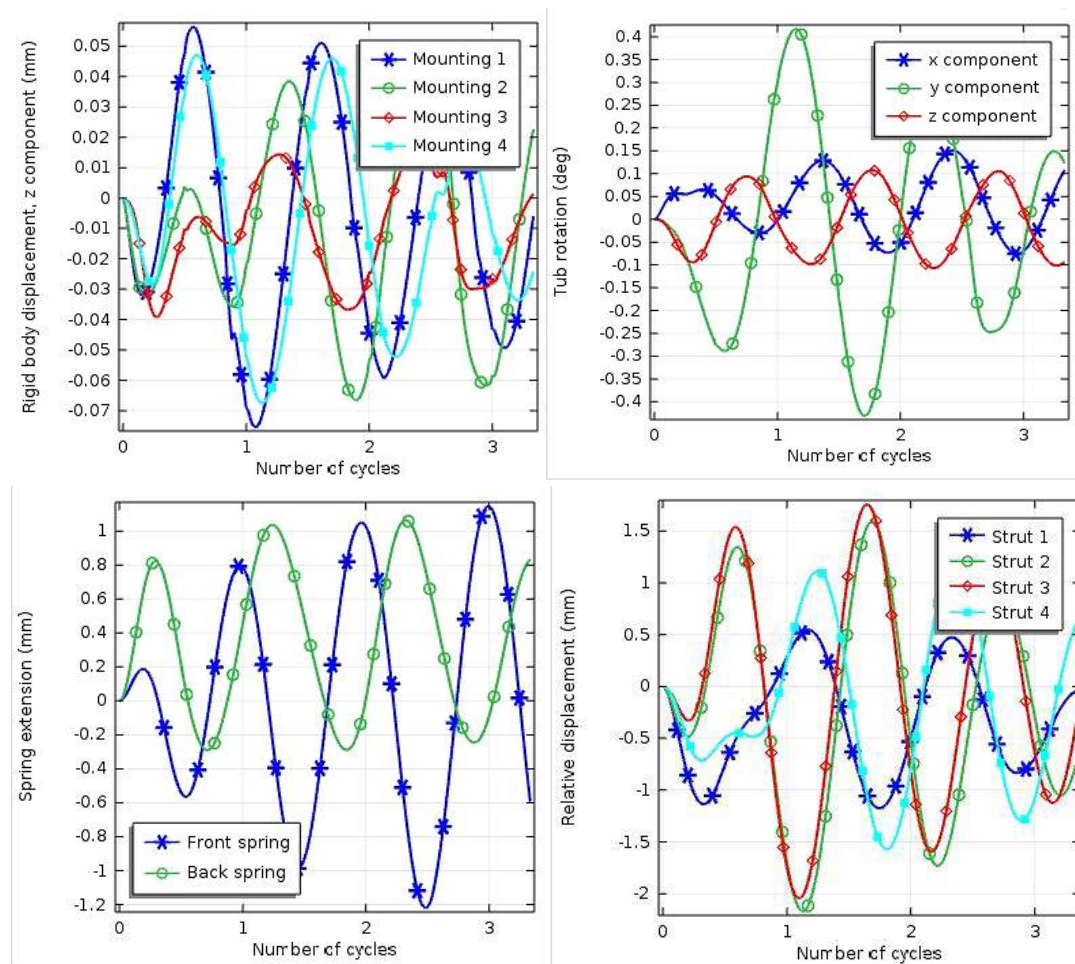


Рисунок 3 – Результати моделювання

**Висновок.** Моделювання показує стійкість конструкції до динамічних сил при пранні на різних частотах. Як бачимо вплив вібрації на зовні не відбувається. Конструкція пральної машини безпечна для користування.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Філімоніхін Г. Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансерами з твердими коригувальними вантажами: Монографія. Кіровоград: КНТУ, 2004. - 352 с
2. Кручинін І. М., Драч І. В. Оцінка потреб у дослідженнях роботи автобалансуючих пристроїв з рідинними робочими тілами. Современные достижения в науке и образовании: сб.тр. XI Междунар. науч. конф., Нетания (Израиль), 3- 9 сентября 2018 г. – Хмельницький: ХНУ, 2018. С. 131 – 137.
3. Біла Т. Я. Дослідження впливу типу та параметрів регуляторів на роботу системи керування змішувальним комплексом безперервної дії [Текст] / Т. Я. Біла, В. В. Стаценко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2009. - № 6 (50). - С. 13-16.
4. Royzman V., Bubulis A., Drach I. System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies. Solid State Phenomena. 2009. Vol. 141–149. P. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.147-149.374>
5. Електропобутова техніка: підручник / І. В.Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. С. Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.
6. Біла Т. Я. Математичне моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / Т. Я. Біла, В. В. Стаценко – Київ: КНУТД, 2016. – 400 с.

## АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ІНКУБАЦІЙНОГО РЕЖИМУ НА БАЗІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

Гайдукевич С. В., старший викладач, e-mail: [SoleykoS@i.ua](mailto:SoleykoS@i.ua)  
Семенова Н. П., старший викладач, e-mail: [0677524248@ukr.net](mailto:0677524248@ukr.net)  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Традиційні інкубатори не задовольняють вимоги сьогоdnішнього ринку, а інкубатори сучасних фірм не кожне господарство може собі дозволити, тому перед малопотужними господарствами стоїть не проста задача модернізації процесу інкубації. І важливо відмітити, що тільки реалізація передових технологій та інноваційних програмних рішень є необхідним аспектом підвищення алгоритму функціонування та забезпечення оптимальних режимів роботи, контролю і керування мікрокліматичними параметрами в інкубаційній шафі. Оскільки інтелектуальні системи керування інтегрують високотехнологічні об'єкти в єдину мережу, що дозволяє їм взаємодіяти між собою, оптимізувати нові можливості, швидко реагувати на непередбачені ситуації та приймати ефективні рішення в режимі реального часу.

**Мета досліджень.** Підвищення рівня автоматизації контролю та редагування мікрокліматичних параметрів процесу інкубації методом впровадження інноваційних технологій.

**Основні матеріали досліджень.** Режим інкубації яєць є одним із динамічних процесів де температура, відносна вологість, повітрообмін і частота обертання лотків безпосередньо впливають на якість і розвиток зародків. Оскільки виводимість характеризує ембріональну життєдіяльність птаці і вона багато в чому визначається якістю інкубаційних яєць і режимом інкубації [1, с. 45] то відповідно для кожного періоду інкубації потрібно підтримувати нормативні мікрокліматичні показники, так як диференційований режим найбільш ефективний та якісний. Тому до автоматизації інкубаційного процесу з розвитком інформаційно-комунікаційних технологій ставиться принципово новий підхід.

Опираючись на висновки попередніх досліджень та враховуючи всі фактори була розроблена автоматизована система для контролю і керування диференційованого режиму інкубації яєць на концепціях ІоТ технологій. Оскільки інформаційні технології дозволяють не тільки здійснювати пошук, обробку і зберігання інформації, а й її аналіз, ґрунтовне опрацювання для виокремлення основних шляхів прийняття подальших рішень на її основі [2, с. 47]

Автоматизована система розроблена з метою модернізації та технологічного переоснащення діючих інкубаторів для підвищення ефективності процесу інкубації та якісного і кількісного виводу птахів.

Розроблена система містить в собі: систему опалення, систему зволоження, систему вентиляції та повітрообміну і систему повертання лотків.

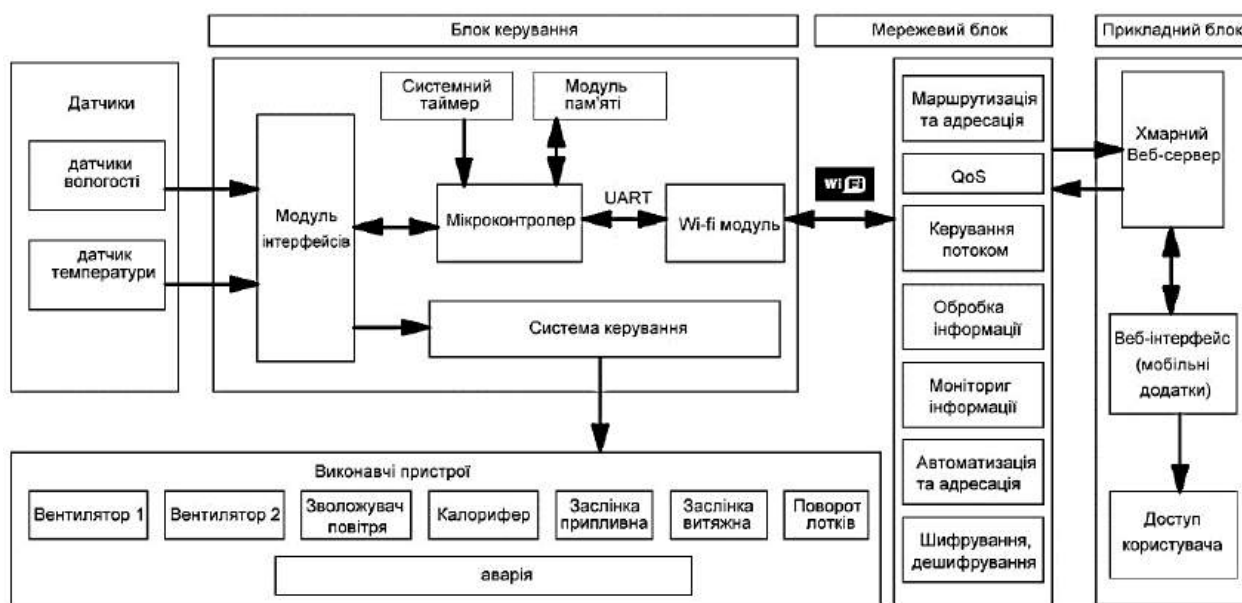
Основою розробленої системи є мікроконтролер Arduino. Це відкрита апаратна платформа, яка дозволяє підключати різноманітні пристрої та виконавчі механізми. Система працює за рахунок інформації, яка збирається за допомогою датчиків.

Для вимірювання температури в інкубаційній шафі вибрано надійний та високоточний датчик типу DS18B20, який може працювати в широких межах зміни температур. Ефективним пристроєм контролю вологості служить датчик SHT21D. Датчики забезпечують точне вимірювання контрольованих величин, оскільки температура і вологість відіграють чи малу роль у розвитку зародків.

Для налаштування системи та встановлення параметрів роботи інкубатора використано рідкокристалічний індикатор SC1602AULT-XH-HS-G, окрім цього він може моніторити реальні мікрокліматичні покази камери.

Для збереження інформації та формування часових інтервалів вибрано мікросхему DS1307, яка відстежує та зберігає інформацію, оскільки наділена пам'яттю, за різні проміжки часу. Мікросхема ULN2003A призначена для спрощеного підключення світлодіодної індикації та навантаження.

Система керування мікрокліматичними параметрами складається: з блоку керування, мережевого блоку, прикладного блоку та виконавчих пристроїв, структурна схема якого показана на рис. 1.



**Рисунок 1 – Структурна схема автоматичної системи керування інкубаційною шафою на базі IoT технологій**

Для управління процесом та моніторингу інформації вибрано вже раніше протестовану платформу Home Assistant, оскільки виявлено низку переваг та визнано як оптимальний інструмент. Архітектура Home Assistant надає повний контроль над вибором та налаштуванням компонентів, дозволяє легко додавати нові високотехнологічні пристрої та розширювати в міру необхідності функції системи. Платформа Home Assistant завдяки своїй гнучкості та масштабованості може бути використана не лише для керування окремою інкубаційною шафою але й для створення інтелектуальної структури цілого інкубаційного цеху.

Розроблена автоматична система об'єднує всі високотехнологічні пристрої і виконавчі механізми та інтегрує в єдину економічно ефективну інтелектуальну систему, яка має доступ до Інтернету, що дає можливість взаємодіяти між собою та обмінюватися інформацією. Вся інформація, яка поступає на хмарний сервер аналізується та обробляється.

**Висновок.** Результати проведених досліджень показали, що автоматичний контроль і керування процесом інкубації на базі IoT технологій підвищує якість і виводимість яєць, а відповідно від якості інкубації залежить ріст і розвиток птахів, що збільшить економічний ефект в птаховничій галузі. Тестування автоматичної системи свідчить про можливість застосування її в реальних умовах.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.

1. Ломако Д. В. Технологія інкубації гусячих яєць в умовах Миргородського приватного орендного сільськогосподарського інкубаторно-птаховничого підприємства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2015. №4. С. 44-46.

2. Бондаренко Л. В. Впровадження нових інформаційних технологій у професійну діяльність агронома. *Наукова праця. Педагогіка*, 2017. Вип. 281. Т. 293. С. 47-53.



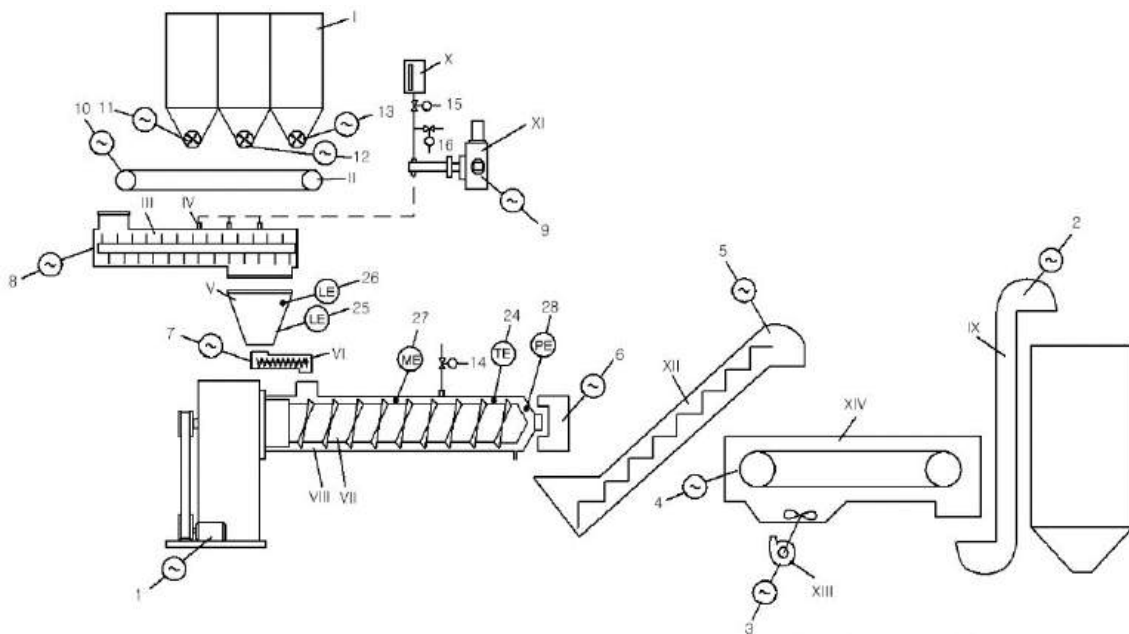
## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ КОРМУ ДЛЯ ПТИЦІ

Гайдукевич С. В., старший викладач, e-mail: [SoleykoS@i.ua](mailto:SoleykoS@i.ua)  
 Семенова Н. П., старший викладач, e-mail: [0677524248@ukr.net](mailto:0677524248@ukr.net)  
 ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Розвиток птахівництва безпосередньо залежить від кормової бази. Адже без повноцінних кормів практично неможливо досягти високих результатів у птахівництві [1]. Тому основним завданням сільськогосподарських господарств є вдосконалення системи виготовлення кормів. Оскільки кормова база повинна відповідати сучасним вимогам, які спрямовані на забезпечення птахів збалансованими поживними кормами та зниження їхньої собівартості. Для реалізації даної стратегії розвитку [2] господарства потребують наукових досліджень та автоматизованих рішень, які ґрунтуються на пошуку та упровадженні нових інноваційних технологій, що дають змогу оптимізувати та покращити процес виготовлення поживних збалансованих кормів.

**Мета досліджень.** Впровадження нових технологій в процес виготовлення корму для птиці.

**Основні матеріали досліджень.** З метою підвищення поживності корму використовуються різні методи технологічної обробки кормової суміші. Найефективніший термічний метод обробки зерна бобових і злакових культур, що базується на методі екструдуювання (рис. 1), який надає корму зовсім нових властивостей та покращує його перетравність і засвоюваність. Суть процесу екструдуювання полягає у вологотермічній обробці кормового матеріалу під дією тиску 2,8-3,9 МПа при температурі 120-160 °С.



**Рисунок 1 – Функціонально-технологічна схема лінії приготування корму для птахів**  
 I - бункери з різним видом зерна; II - транспортер компонентів; III - змішувач-дозатор; IV – форсунки; V - бункер експандера; VI – живильник; VII - головний шнек експандера; VIII- корпус шнека; IX - вивантажувальна норія; X – добавки; XI - плунжерний насос; XII - транспортер подачі екструдованого матеріалу в охолоджувач; XIII-вентилятор охолоджувача; XIV - сушильна установка

Основна задача автоматизації процесу методом екструдуювання полягає в забезпеченні максимальної продуктивності екструдера і заданої якості вироблюваного продукту.



Автоматична система керування екструзуванням є якісно новим етапом комплексної автоматизації виробництва і покликана забезпечити істотне збільшення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, що випускається, і інших техніко-економічних показників екструзійного виробництва.

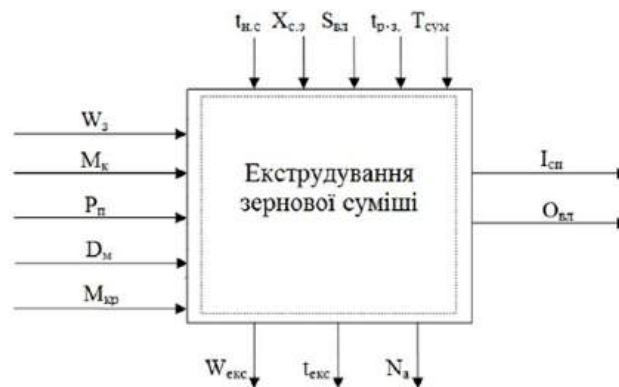
Автоматичне управління процесу екструзуванням полягає в автоматичній підтримці заданої продуктивності екструдера і дотримання технології виробництва.

Принцип роботи екструдера подібний до "принципу м'ясорубки". Головний шнек при обертанні захоплює з приймального отвору зерновий матеріал, ущільнює його в робочому циліндрі і під тиском виштовхує у філь'єру. Крім того, в екструдері відбувається перемішування і ущільнення кормового матеріалу.

Рух матеріалу в екструдері при обертанні шнека відбувається внаслідок різниці в коефіцієнтах тертя матеріалу об шнек і циліндр. Основне тепло в робочому органі виділяється внаслідок стиснення робочої суміші і роботи значних сил тертя її частинок об поверхню експандера і одна об одну.

Показниками якості технологічного процесу являється інформація про температуру в певній зоні екструзії або їх різниця в декількох зонах, тиску і швидкостей обертання основного і завантажувального шнеків.

При виготовленні корму шляхом використання технології екструзування проходять фізико-хімічні, біохімічні процеси, що протікають при термопластичній екструзії мас. В основі екструзування зерна або зернової суміші лежать два процеси - механохімічний і "вибух" продукту. Останній відбувається в результаті різкої зміни тиску в зерні на виході з екструдера. Обидва процеси безперервні і протікають при високому ступені стиснення і певній швидкості проходження сировини через екструдер. Під час виконання технологічного процесу екструзування кормової суміші діють різноманітні фактори, які безпосередньо впливають на процес. Вхідними величинами є початкова вологість і температура кормової суміші, швидкість подачі суміші в робочу камеру екструдера, маса кожного компоненту суміші. Створюваний тиск в робочій зоні екструдера залежить від діаметру отворів матриці. Параметрична схема впливу різних факторів на процес екструзування зернової суміші показана на рисунку 2.



**Рисунок 2 – Параметрична схема впливу різних факторів на процес екструзування**

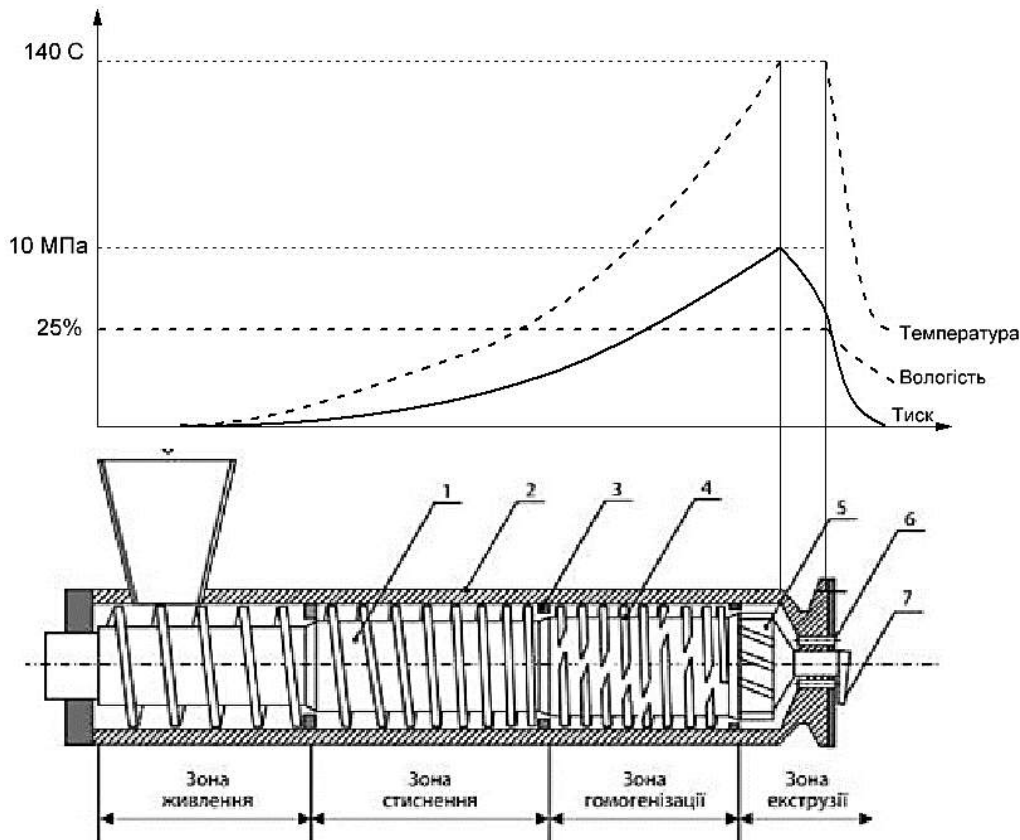
$W_3$ ,  $W_{екс}$  – середньозважена вологість зернової суміші та екструдату, %;  $M_k$  – вміст кормової суміші, %;  $P_p$  – інтенсивність подачі продукту в робочу камеру екструдера, одночасно приладу живильника;  $D_m$  – діаметр отворів матриці екструдера, мм;  $D_m$  – масова частка крохмалю в зерні, %;  $t_{н.с}$ ,  $t_{р.з}$ ,  $t_{екс}$  – температура навколишнього середовища, робочої зони та екструдату відповідно, °С;  $X_{с.з}$  – хімічний склад зернової суміші, %;  $S_{вл}$  – структурно-механічні властивості зерна;  $T_{сум}$  – тривалість знаходження суміші в робочій зоні екструдера, с;  $I_{сп}$  – індекс спучення екструдованого продукту;  $O_{вл}$  – органолептичні властивості експандату;  $N_a$  – навантаження на електродвигун експандера, А.

Робота живильника екструдера контролюється частотним перетворювачем при цьому контролюється швидкість по температурі головного шнека.

Вплив різних факторів на процес експандування характеризує складний взаємозв'язок різних величин, від яких залежить якісне виготовлення корму.

Для проектування автоматичної системи контролю роботи головного робочого органу розглядається необхідність контролю різних величин, які в сукупності складають систему автоматичного керування процесом екструдуювання.

Керування проводиться по температурі, вологості і тиску в зоні стиску, потужності (рис. 3).



**Рисунок 3 – Процеси, що виникають в робочому органі та розподіл температури, тиску і вологості по довжині циліндра; 1 – робочий орган екструдера (шнек); 2 – корпус шнека; 3 – гріюча шайба; 4 – шнековий виток; 5 – лопатки в гомогенізаторі; 6- філь'єри; 7 – відсікач**

**Висновок.** Концепція прийняття інноваційних автоматизованих рішень у кормовиробництві спрямована на використання нових технологій, що направлені на підвищення якості отриманої продукції, прибутку та конкурентоспроможності продукції на ринку.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Грабчук І. Ф. Стан кормової бази та її вплив на рівень виробництва тваринницької продукції в сільськогосподарських підприємствах Житомирської області / І.Ф. Грабчук // Матеріали IV міжфак. наук.-практ. конф. молодих вчених. Житомир, 2008. С.117 – 120.
2. Мазуренко О. В. Шляхи підвищення ефективності виробництва продукції тваринництва. Економіка АПК. 2011. № 5. С. 41–46.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ АЛГОРИТМІВ  
ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

Гузенко В. В., к.т.н., доцент, e-mail: [hnaghv@gmail.com](mailto:hnaghv@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Відомо, що асинхронні двигуни, як і інші електромашини, зворотні, тобто можуть працювати в режимі генератора. Зазвичай трифазні використовуються машини потужністю більше 0,5 кВт, а при меншій потужності – однофазні. Асинхронні двигуни (АД) знайшли дуже широке вживання в різних галузях промисловості і сільського господарства. Перевагою АД є невисока вартість і простота конструкції [1]. Але за принципом своєї дії асинхронний двигун в звичайній схемі включення не допускає регулювання швидкості його обертання. Увагу слід звернути на те, що щоб уникнути значних втрат енергії, а, також, для регулювання коротко замкнутих АД щоб уникнути перегріву його ротора, двигун повинен працювати в тривалому режимі з близьким до номінального значеннями ковзання [2]. Це дає підставу вважати, що напрямок теми дослідження є на сьогоднішній день актуальною проблемою.

**Мета статті.** Дослідити та обґрунтувати доцільність використання енергозберігаючого способу регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна, визначити його переваги в АПК.

**Основні матеріали досліджень.** Відомі такі способи регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна: перемикання числа пар полюсів (зміна  $p$ ) частотне регулювання (змінною  $f$ ); зміна величини напруги живлення  $U$  та введення додаткового опору в коло ротора  $R$ , асинхронний вентильний каскад; двигун подвійного живлення.

Швидкість двигуна визначається двома параметрами: швидкістю обертання електромагнітного поля статора  $\omega_0$  і ковзанням  $s$ :

$$\omega = \omega_0 - s_{abc} \quad (1)$$

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 s \quad (2)$$

Таким чином виходячи з цих виразів принципово можливі два способи регулювання швидкості: регулювання ковзання при постійній величині  $\omega_0$ . і регулювання швидкості обертання поля статора.

В даний час завдяки розвитку силової перетворювальної техніки створені і випускаються різні види напівпровідникових перетворювачів частоти, що визначило випереджаючий розвиток і широке вживання частотно-регульованого асинхронного електроприводу [3]. Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає в тому, що, змінюючи частоту  $f$  живлячої напруги, незмінному числі пар полюсів ( $p$ ) змінювати кутову швидкість магнітного поля статора. Регулювання швидкості при цьому не супроводжується збільшенням ковзання асинхронного двигуна, тому втрати потужності при регулюванні невеликі. Для здобуття високих енергетичних показників асинхронного двигуна – коефіцієнтів потужності, корисної дії, перевантажувальній здатності – необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, що підводиться [2,3].

Результати проведених досліджень показали, що закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження  $M_c$ . При постійному моменті навантаження  $M_c = \text{const}$  напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно частоті.

Та третій закон при моменті навантаження, обернено пропорційному до швидкості:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} \quad ; \quad \frac{U_1}{f_1^2} = \text{const} \quad ; \quad \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const} \quad (3)$$

Необхідно відзначити, що ці співвідношення отримані для деякого двигуна, що ідеалізується, в якого опір статора приймався рівним нулю ( $r_1=0$ ). Тому на практиці вони

виявляються придатними лише в тих випадках, коли частота обертання двигуна регулюється в невеликих межах ( $D < 2:1$ ).

При значних змінах частоти обертання двигуна, викликаних відповідною зміною частоти живильної напруги, виконання цих співвідношень вже не забезпечує постійності перевантажувальної здатності і коефіцієнта потужності двигуни  $\cos \varphi$ .

Розгляд отриманих в результаті досліду характеристик показує, що при малих частотах живильної напруги спостерігається зменшення перевантажувальної здатності електродвигуна і деяке зниження жорсткості його механічних характеристик. Таким чином, нами рекомендується, для плавного безступінчатого регулювання частоти обертання валу АД, перетворювач частоти повинен забезпечувати одночасне регулювання частоти і напруги на статорі АД.

Як показують дослідження, значна економія електроенергії забезпечується за рахунок регулювання якого-небудь технологічного параметра. Якщо це транспортер або конвеєр, то можна регулювати швидкість його руху. Якщо це насос або вентилятор – можна підтримувати тиск або регулювати продуктивність.

Особливий економічний ефект від використання перетворювачів частоти дає вживання частотного регулювання на об'єктах, що забезпечують, наприклад, транспортування рідин.

Таким чином, при дроселюванні потік речовини, що стримується засувкою або клапаном, не здійснює корисної роботи. Вживання регульованого електроприводу насоса або вентилятора дозволяє задати необхідний тиск або витрату, що забезпечить не лише економію електроенергії, але і понизить втрати речовини, що транспортується.

У силову частину ПЧ, яка здійснює перетворення електричної енергії змінного струму з постійною напругою  $U_c$  і частотою  $f_c$  в енергію змінного струму з регульованою напругою і частотою  $f_{рег}$ , входять тиристори і в деяких випадках узгоджувальні трансформатори. Схема керування забезпечує управління тиристорами силової частини ПЧ за допомогою імпульсів напруги, тиристорів, що подаються на електроди, що управляють, в потрібний момент часу. Тривалі дослідження дозволили отримати дві важливі властивості ПЧ цього типу: регульована частота  $f_{рег}$  завжди менше частоти мережі  $f_m$ , а змінна напруга на навантаженні не є синусоїдальною, хоча і складається з частин синусоїди напруги мережі. Якісніша крива напруга на навантаженні виходить в трифазних схемах ПЧ.

**Висновок.** Перевагами закону частотного способу регульованого електроприводу є: плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні; економічність регулювання, визначувана тим, що двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання, і втрати в двигуні не перевищують номінальних. Недоліками частотного регулювання є складність і висока вартість (особливо для приводів великої потужності) перетворювачів частоти і складність реалізації в більшості схем режиму рекуперативного гальмування.

Що стосується аграрнопромислового комплексу України рекомендується використання перетворювачів частоти не в якості елементів системи управління конкретного агрегату, а як складових комплексних системних рішень з підключенням широкого набору засобів автоматизації технологічного процесу. Такі сучасні рішення дозволяють отримати додатковий ефект, який є значно більшим чим проста економія електричної енергії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.

1. Савченко П. І. Електропривод у питаннях і відповідях/ Лисиченко М. Л., Савченко П. І., Тищенко О. К., Гузенко В. В. // Харків 2012. – с. 230-280
2. Гузенко В. В. Моделювання системи електромеханічних властивостей асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при частотному регулюванні швидкості на насосних станціях / В. В. Гузенко, М. Л. Лисиченко // Міжнародний науково-технічний журнал «Світлотехніка та електроенергетика», 2011. - №2(26). – С.50-54 – ISSN 2079-424X – (06.2011, Харків).

УПРАВЛІННЯ СИЛОВОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ РОБОТА  
З ПОВЕРХНЕЮ НЕВИЗНАЧЕНОГО ПРОФІЛЮ

Іванченко О. В., студент 6 курсу, e-mail: [allo290416117@gmail.com](mailto:allo290416117@gmail.com)

Гузенко В. В., к.т.н., доцент, e-mail: [hnaghv@gmail.com](mailto:hnaghv@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** У сучасній робототехніці важливе місце займає задача управління силовою взаємодією робота з поверхнею невизначеного профілю. Ця проблема виникає в різних сферах: від промислових маніпуляторів і будівельних роботів до медичних систем і мобільних роботів для дослідження складних середовищ [1]. Основна мета такого управління — забезпечити точний контроль сил, що діють між роботом і поверхнею, для досягнення ефективної та безпечної взаємодії з навколишнім середовищем [2].

**Мета** цієї статті полягає в дослідженні методів управління силовою взаємодією роботів з поверхнями невизначеного профілю, а також в аналізі сучасних технологій і алгоритмів, які забезпечують адаптивну та ефективну роботу роботизованих систем у складних середовищах. Основна увага приділяється вивченню підходів до контролю сили та моменту, які дозволяють роботам безпечно і точно виконувати завдання, незалежно від нерівностей або варіацій поверхонь.

**Основні матеріали дослідження.** Основна область застосування роботів у сільському господарстві – збирання врожаю. Роботи, що збирають фрукти, автономні трактори/розпилювачі, і роботи для стрижки овець, призначені для заміни людської праці. Індустрія сільського господарства відстає у використанні роботів від інших галузей, так як види робіт, зв'язані з сільським господарством, не “прямолінійні”, і багатоповторювані завдання кожен раз не зовсім ті ж самі. У більшості випадків безліч факторів (наприклад розмір і колір зібраних плодів) повинні бути розглянуті до початку виконання завдання. Роботи можуть бути використані для інших рослинницьких завдань, таких як обрізання, прополка/оранка, зрошення і моніторинг.

Математична модель робота в позиційно-силовому режимі має вигляд:

$$m_1 \ddot{y}_1 + b_1 \dot{y}_1 + b(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + c(y_1 - y_2) = F - m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + b_2 \dot{y}_2 + b(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + c(y_2 - y_1) + b_1(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + c_1(y_2 - y_1) = -m_2 g$$

$$y_n = y^*(t) \quad (2)$$

вважається, що крім датчика сили робот оснащений датчиком положення, що вимірює координату двигуна робота  $\dot{y}_1$ . Такий набір датчиків є стандартним для роботів типу, що розглядається.

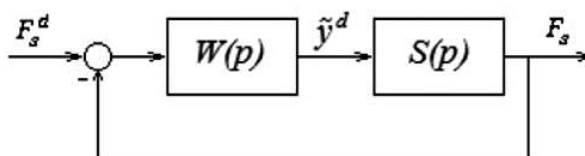


Рисунок 1 - Структурна схема замкнутої системи в позиційно-силовому режимі управління

У розглянутому режимі об'єктом управління є багатомасова система. Необхідно перемістити його з початкового положення на  $10^*u$  в сторону поверхні  $y^*(F)t$  до того, як датчик сили зіткнеться з ним. Щоб вирішити цю задачу, за допомогою одного датчика зі



зворотним зв'язком, що вимірює координату  $1^*y$ , можна використовувати ПІД-регулятор, тобто формувати керуючу силу  $F$  за законом:

$$F = \left( k_p + k_i \frac{1}{p} + k_d \frac{N}{1+N\frac{1}{p}} \right) (y^d - y_1) \quad (3)$$

де  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  – коефіцієнти зворотного зв'язку;  $N$  - параметр диференціюючого фільтра. Замкнута система має астатизм другого порядку, тому завдання для режиму позиціонування доцільно вибирати в наступному вигляді:

$$y^d(t) = y_0^d - V_y t, 0 \leq y^d(t) < y_0^d \quad (4)$$

$y$  - початкове значення завдання, що узгоджується з початковим положенням робота;  $V_y$  - змінна швидкість спадання задачі. Налаштування ПІД-контролера в Matlab на максимальну смугу робочих частот замкнутої системи при вищевказаних значеннях параметрів об'єкта управління дає

$$y_0^d = y_{10} K_p = 9,58 * 10^3 \frac{H}{m}; k_i = 1,63 * 10^4 \frac{H}{m \cdot c}; k_d = 4,71 * 10^2 \frac{H \cdot c}{m}; N = 3,69 * 10^2 \frac{1}{c} \omega_c = 10 T_m^{-1} \quad (5)$$

Завдання з обмеженою швидкістю зниження  $V_y$  дозволяє встановити прийнятний рівень  $F_s = F_s$ . Слід зазначити, що в режимі позиціонування датчик сили працює тільки як індикатор переходу в позиційно-силовий режим управління. Рівень  $F_s > 0$  встановлюється шляхом комп'ютерного моделювання або експериментальним шляхом. На рисунку показані графіки процесів  $y_s(t)$ ,  $F_s(t)$  режимі позиціонування, коли  $y_0^d = y_{10} = y_{20} = y_{s0} = 1$ ,  $V_y = 0,2 \frac{m}{c}$  постійна профільна поверхня була на рівні  $y^* = 0,1$  м. Видно, що контакт робота з поверхнею відбувається через  $t^* \cong 4,5$  с. перехідні процеси при  $t \leq t^*$  знаходженні  $F_s = F_s = 5H$ .

Щоб запобігти поломці робота або пошкодженню поверхні, необхідно переключитися  $t \geq t^*$  на управління силовою взаємодією робота з поверхнею.

**Висновок** цієї статті полягає в тому, що для ефективної роботи роботів у складних середовищах з поверхнями невизначеного профілю необхідно використовувати адаптивні методи управління силовою взаємодією. Сучасні технології та алгоритми, що забезпечують контроль сили і моменту, є ключовими для безпечного і точного виконання завдань роботами. Впровадження таких підходів дозволяє роботизованим системам успішно адаптуватися до варіацій та нерівностей поверхонь, що значно підвищує їх ефективність і надійність у різних галузях, зокрема в сільському господарстві.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hogan N. Impedance control: an approach to manipulation. ASME J. Dynamic Systems, Measr. and Control, 1985, Vol. 107.
2. Rocco P., Ferretti G., Magnani G. Implicit force control for industrial robots in contact with stiff surfaces. Proc. of the 13th Triennial World Congress, San Francisco, 1996.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Кафтуненко Е. М., бакалавр, e-mail: [e56827204@gmail.com](mailto:e56827204@gmail.com)

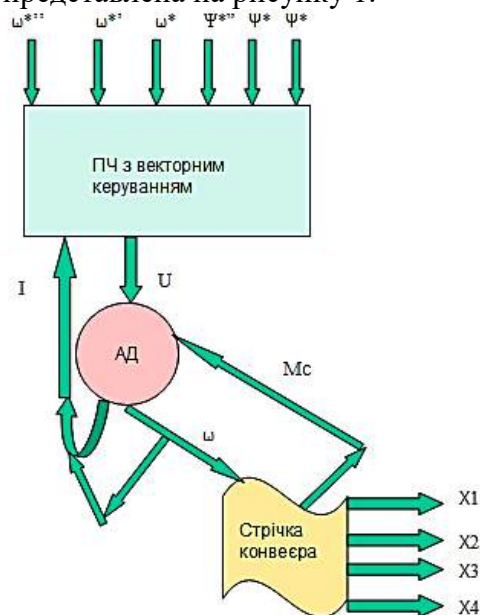
Гузенко В. В., к.т.н., доцент, e-mail: [hnaghv@btu.kharkov.ua](mailto:hnaghv@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Стрічковий конвеєр являє собою досить складний механізм, який характеризується пружно-в'язкими властивостями, що призводять до коливань в тяговому елементі в динамічних режимах роботи та спричиняють інтенсивне зношування стрічки, вартість якої досягає 60% від вартості всього конвеєра [1]. Безперервний режим роботи даних механізмів і широкий діапазон коливання їх завантаження призводить до зниження енергетичної ефективності транспортної системи. Одним із напрямів усунення вище вказаних недоліків є використання замкнутих систем керування з сучасними електроприводами [2]. Аналіз замкнутих систем керування показує, що одним із найбільш перспективних напрямів є використання системи ПЧ-АД з векторним керуванням. Отже, досить актуальним є дослідження електромеханічної системи, що дозволяє оцінити ефективність таких електроприводів для систем безперервного транспорту з гнучким тяговим елементом.

**Мета дослідження.** Метою роботи є дослідження режимів роботи електромеханічної системи стрічкового конвеєра з використанням векторного керування в системі ПЧ-АД для дослідження енергетичних і техніко-економічних показників механізму.

**Основні матеріали досліджень.** При проведенні досліджень розглядалася електромеханічна система конвеєра з урахуванням характеру переміщення тягового елемента. Функціональна схема моделі представлена на рисунку 1.



**Рисунок 1 – Функціональна схема електромеханічної системи конвеєра**

На функціональній схемі прийняті наступні позначення:  $\Psi^*$ ,  $\Psi^{**}$ ,  $\Psi^{***}$  – задане значення модуля вектору потокозчеплення ротора та його перша і друга похідні;  $\omega^*$ ,  $\omega^{**}$ ,  $\omega^{***}$  – задана кутова швидкість, її перша і друга похідні; струм  $I$  складається з  $I_{1a}$ ,  $I_{1b}$  – компоненти вектору струму статора в системі координат а- b; напруга  $U$  складається з  $U_{1a}$ ,  $U_{1b}$  – компоненти вектору напруги статора;  $M_c$  – момент навантаження;  $\omega$  – кутова швидкість ротора;  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  – переміщення мас гнучкого тягового елемента.

Для дослідження використано математичний опис руху стрічки конвеєра з однодвигунною приводною станцією, яка побудована на основі 4-масової розрахункової схеми [1]. Математична модель АД представлена в стаціонарній системі координат  $a - b$  [2], [3]. Як правило, алгоритми векторного керування АД проєктуються та записуються в синхронній системі координат  $d - q$ , яка обертається відносно стаціонарної системи координат з швидкістю  $\omega_0$ . У даній моделі використані наступні припущення: складові струмів статора та кутова швидкість ротора доступні для вимірювання; параметри АД відомі і незмінні; момент навантаження  $M_c$  змінюється в діапазоні  $0,3 M_n - 1,2 M_n$ ; задані траєкторії кутової швидкості  $\omega^*$  і потокозчеплення  $\Psi^* > 0$  є функціями з обмеженими першою та другою похідними по часу. Математична модель перетворювача частоти отримана відомим методом [3].

Перевірка функціонування моделі виконана на прикладі конвеєра довжиною 1600 м з потужністю приводної станції 315 кВт. Результати відпрацювання процесу пуску приведені на рисунку 2.

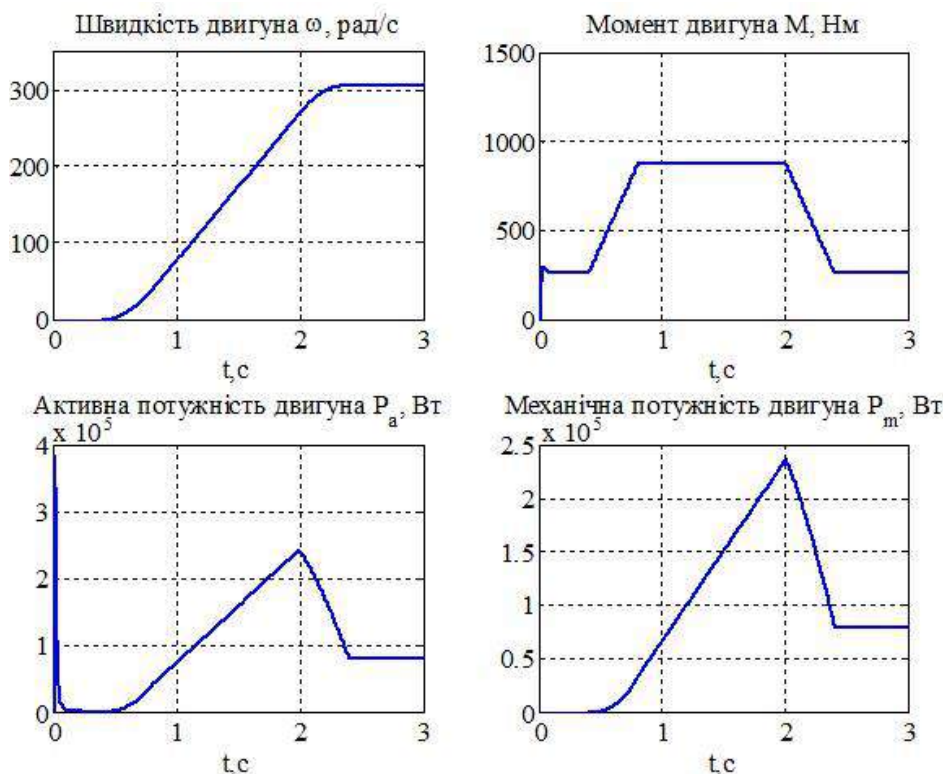


Рисунок 2 – Результати моделювання режиму пуску

**Висновок.** Аналіз отриманих результатів показує, що приведена модель дозволяє провести дослідження енергетичних режимів роботи стрічкового конвеєра, як при пуску, так і при русі з усталеною швидкістю, визначати режими роботи електромеханічних систем безперервного транспорту, що забезпечують мінімізацію втрат енергії в процесі їх технологічного циклу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Печеник М. В. Дослідження характеру зміни втрат енергії в електромеханічній системі стрічкового конвеєра під час пуску. // М. В. Печеник, С. О. Бур'ян, Л. М. Наумчук. Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВінНТУ, 2016. – Вип.2/2016 (2). – С.52-56.
2. Novonty D. W. and Lipo T. A. Vector Control and Dynamics of AC Drives. – New York: Oxford University Press Inc, 2000.
3. Селіванов, А. І., Гладкий, В. М. Теорія автоматичного управління. — Київ: Видавництво "Академперіодика", 2016. — 400 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОМАСОВИХ СИСТЕМ З НЕТРАДИЦІЙНИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ ЯКІ СИНТЕЗОВАНІ ПОЛІНОМІАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Кунченко Т. Ю., доцент, e-mail: [Tetiana.Kunchenko@khi.edu.ua](mailto:Tetiana.Kunchenko@khi.edu.ua)

Демченко А. Ю., студент, e-mail: [demchenkoanton416@gmail.com](mailto:demchenkoanton416@gmail.com)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Актуальність теми дослідження двомасових систем із нетрадиційними регуляторами, синтезованими поліноміальним методом, обумовлена зростанням потреб у підвищенні ефективності та точності керування в сучасних електромеханічних системах. Двомасові системи, широко застосовувані в промисловості для приводу високоточних механізмів, характеризуються складною динамікою, яка вимагає специфічного підходу до розробки регуляторів для забезпечення стабільної роботи.

Використання поліноміального методу для синтезу регуляторів дозволяє досягти високої адаптивності та гнучкості в управлінні такими системами, що є важливим фактором для забезпечення надійності та мінімізації коливань і перевищень у відповідях системи. Особливо актуальним є дослідження методів стабілізації і точного контролю в умовах змінних характеристик навантаження та зовнішніх збурень, що забезпечить покращення якості продукції та зменшення енергоспоживання.

Наукова новизна теми полягає в дослідженні можливостей нетрадиційних регуляторів для досягнення кращої стабільності і керованості в умовах нелінійних та нестационарних характеристик двомасових систем. Тому дане дослідження сприятиме розвитку теорії автоматичного управління та розробці інноваційних підходів у сфері електроприводів, машинобудування та інших галузей, що використовують складні електромеханічні системи.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є розробка та аналіз ефективних методів керування для двомасових систем з використанням нетрадиційних регуляторів, синтезованих поліноміальним методом, для підвищення точності, стабільності та адаптивності таких систем у промислових умовах. Дослідження спрямоване на створення теоретичних основ і практичних рекомендацій щодо використання поліноміальних регуляторів, які здатні забезпечити високу якість керування за умов змінних параметрів системи, зовнішніх збурень і нелінійних характеристик навантаження.

**Матеріали досліджень.** Основні матеріали дослідження даної теми охоплюють наступні аспекти:

1. **Аналіз двомасових систем:** Розглядаються принципи роботи двомасових електромеханічних систем, їх особливості, переваги та недоліки в порівнянні з одномасовими системами. Вивчаються механічні та електричні характеристики двомасових систем, особливо в умовах змінних навантажень та зовнішніх збурень, що дозволяє виявити фактори, які впливають на стабільність та динамічні показники роботи.

2. **Поліноміальний метод синтезу регуляторів:** Показуються теоретичні основи поліноміального методу як інструменту для розробки регуляторів з високою адаптивністю та гнучкістю. Розглядаються алгоритми синтезу регуляторів, орієнтованих на мінімізацію коливань і перевищень, а також забезпечення точного і швидкого досягнення заданих параметрів системи.

3. **Синтез нетрадиційних регуляторів:** Описуються конструкції і принципи роботи нетрадиційних регуляторів, які можуть бути адаптовані під специфічні умови роботи двомасових систем. Увага приділяється особливостям проектування регуляторів з використанням поліноміального підходу, враховуючи потреби систем зі змінними характеристиками та вимогами до високої точності.

4. **Моделювання та чисельний аналіз:** Виконується комп'ютерне моделювання для дослідження поведінки двомасових систем під управлінням синтезованих регуляторів у пакеі MatLab. Моделювання дозволяє виявити оптимальні налаштування регуляторів, оцінити

стабільність системи та адаптивність до змінних умов. Результати моделювання дозволяють також проаналізувати реакцію системи на збурення та варіації в навантаженні.

5. **Експериментальні дослідження та практичне застосування:** Для перевірки результатів моделювання проводяться експериментальні дослідження на лабораторних моделях. Досліджується вплив нетрадиційних регуляторів на точність, стабільність та енергоефективність системи. Отримані результати формують практичні рекомендації щодо використання поліноміальних регуляторів у промислових двомасових системах.

6. **Оцінка ефективності запропонованих підходів:** На основі отриманих результатів виконується оцінка ефективності розроблених методів керування для двомасових систем, включаючи порівняння з традиційними підходами. Виконуються аналіз переваг поліноміальних регуляторів у забезпеченні стабільності та керованості за різних умов експлуатації.

**Висновок.** Таким чином, дослідження двомасових систем із застосуванням нетрадиційних регуляторів, синтезованих поліноміальним методом, підтвердило високу ефективність такого підходу. Результати сприяють вдосконаленню теорії автоматичного керування і можуть бути використані для розробки сучасних керувальних систем у різних сферах промисловості.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Акимов Л. В., Долбня В. Т., Клепиков В. Б., Пирожок А. В. Синтез упрощенных структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой // Под общей редакцией В.Б.Клепикова. – Х.: НТУ «ХПИ», Запорожье: ЗНТУ, 2002. – 160 с

2. Пирожок А. В. Разработка и обоснование алгоритма управления винтовым дозатором на базе динамической модели комплектного электропривода //Техника в сельскохозяйственном производстве: Труды ТГАТА. - Вып.1. т.3. - Мелитополь: ТГАТА, - 1997. - С.23-25

3. Клепиков В. Б., Палис Ф., Клепиков А. В. Экспериментальные исследования электромеханической системы с отрицательным вязким трением // Вестник ХГПУ. Вып.61. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков:ХГПУ, - 1999. – С.26-32

4. Акимов Л. В., Колотило В. И., Марков В. С. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния. – Харьков:ХГПУ, - 2000. – 93с



ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН  
ІЗ ЗНОШЕНИМ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

Курдюєв О. І., аспірант, e-mail: [looperook@gmail.com](mailto:looperook@gmail.com)  
Сотнік О. В., к.т.н., доц. e-mail: [sotnikolga11@btu.kharkiv.ua](mailto:sotnikolga11@btu.kharkiv.ua)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Асинхронні двигуни (АД) залишаються ключовим компонентом сільськогосподарських машин у світі. Частка електроприводів (ЕП) в аграрному секторі з АД складає понад 60–70%. Досвід експлуатації АД у сільському господарстві по всьому світу підтверджує їх надійність і довговічність, навіть в умовах високих навантажень і складного середовища. Вони застосовуються в різних типах обладнання, включаючи насоси, вентилятори, компресори, транспортери, зернові сушарки та інші механізми для обробки, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції. ЕП є найбільшими споживачами електроенергії у світі, на їх частку припадає біля 70 % всієї виробленої енергії [1]. До того ж ККД АД вище, ніж у двигунів інших типів та досягає 95 %.

У країнах ЄС діють жорсткі норми щодо енергоефективності обладнання. АД класів ІЕ3 та ІЕ4 (з високою енергоефективністю) стали стандартом у більшості європейських країн. Це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та скоротити викиди CO<sub>2</sub>. Європейські фермери використовують АД з високим ступенем захисту (IP55 та IP65). В Україні діють вітчизняні стандарти ДСТУ EN 60034-30-1:2022 та ДСТУ CLC IEC/TS 60034-30-2:2022 [2, 3], що відповідають Європейським стандартам. Для вітчизняного виробництва середній строк служби АД 15–20 років за умови правильної експлуатації та регулярного технічного обслуговування (ТО). Цей показник може змінюватись залежно від умов експлуатації, типу двигуна, рівня навантаження, частоти обслуговування та якості самого обладнання. Середній термін служби АД, що використовується в сільськогосподарському виробництві, залежить також від кількох ключових факторів, включаючи якість самого двигуна, умов експлуатації, регулярність ТО та навантаження.

За різними дослідженнями та практичним досвідом, середній термін служби АД у сільськогосподарському виробництві становить: 10–15 років при стандартних умовах експлуатації та регулярному ТО; 15–20 років для двигунів високої якості, які використовуються в оптимальних умовах з належним доглядом; менше 10 років у випадках недбалого обслуговування, перевантажень або роботи в суворих умовах без відповідного захисту. Використання вживаних або після ремонту АД у сільському господарстві є досить поширеним, особливо серед малих та середніх фермерських господарств. Це зумовлено такими факторами, як обмежені фінансові ресурси, потреба в недорогих рішеннях для підтримки виробничих процесів і можливість продовжити життєвий цикл двигунів після відновлення. За різними оцінками, в сільськогосподарському секторі приблизно 20–30% АД є вживаними або пройшли ремонт.

**Мета дослідження.** Аналіз роботи асинхронних двигунів, що мають значних термін експлуатації в умовах сільськогосподарського виробництва.

**Основні матеріали дослідження.** Експлуатація АД з певним строком роботи або після капітального ремонту може подовжити термін служби ще на 5–10 років залежно від якості проведеного ремонту. Після ремонту деякі характеристики двигуна, такі як енергоефективність, можуть знизитись. Робота ЕП сільськогосподарських машин із зношеними АД має кілька особливостей, що впливають на ефективність, надійність та довговічність обладнання. Основні з них включають:

1. Зниження продуктивності. Зношення двигуна призводить до втрат потужності через погіршення стану елементів, таких як підшипники, обмотки, осердя тощо. Це знижує ефективність роботи ЕП і може вимагати більше енергії для досягнення необхідних параметрів роботи.

2. Збільшення споживання енергії. Внаслідок зношування зростають втрати на тертя, що веде до підвищення електроспоживання, особливо на стартових етапах роботи, коли пускові струми особливо високі.

3. Нагрівання двигуна. Знос обмоток та погіршення ізоляції можуть спричинити підвищене нагрівання, що у свою чергу, може призвести до перегрівання двигуна і навіть його виходу з ладу.

4. Швидке зношування елементів. Вібрації та додаткові навантаження на підшипники та інші механічні частини сприяють їх швидшому зносу, що збільшує ймовірність поломок.

5. Вимушені зупинки і ремонти. Через зношення двигуна збільшується ймовірність збоїв, що може призвести до частих простоїв обладнання, що є особливо небажаним у сільському господарстві, де простій техніки може суттєво вплинути на продуктивність роботи обладнання.

6. Зміна характеристик двигуна. Наприклад, можуть змінюватися такі характеристики, як ковзання, частота обертання та інші, що впливає на стабільність роботи всієї машини.

Фактори, що впливають на термін служби АД:

1. Якість двигуна. Матеріали та компоненти: використання високоякісних матеріалів для обмоток, підшипників та інших компонентів сприяє подовженню терміну служби.

2. Виробничі стандарти: двигуни, виготовлені за дотриманням міжнародних стандартів (наприклад, IEC, NEMA), зазвичай мають більшу надійність та довговічність.

3. Умови експлуатації. Кліматичні умови: висока вологість, пил, корозійні середовища та екстремальні температури можуть скоротити термін служби двигуна.

4. Навколишнє середовище. Вибір двигунів з відповідним ступенем захисту (наприклад, IP55, IP65) для роботи в умовах аграрного виробництва може підвищити їх довговічність.

5. Регулярність ТО. Планове обслуговування: регулярна перевірка та обслуговування (заміна мастил, очищення від пилу та бруду, перевірка стану обмоток) суттєво впливають на життєвий цикл двигуна.

6. Своєчасний ремонт: Виявлення та усунення несправностей на ранніх стадіях допомагає уникнути серйозних пошкоджень і подовжує термін служби.

7. Навантаження та режим роботи. Режим роботи: постійна робота на повній потужності без перерв може призвести до швидшого зносу компонентів двигуна. Перевантаження: часті перевантаження або робота в умовах, що перевищують номінальні параметри, негативно впливають на довговічність двигуна.

8. Системи охолодження. Ефективність охолодження: належне охолодження двигуна запобігає перегріву, що є однією з основних причин зносу. Чистота охолоджуючих систем: забруднені або засмічені радіатори та вентилятори можуть знижувати ефективність охолодження.

Рекомендації для покращення роботи: 1. Регулярна діагностика та ТО для своєчасного виявлення зношених деталей; 2. Замінювання зношених підшипників і покращення системи охолодження, щоб зменшити нагрівання; 3. Використання спеціалізованих мастильних матеріалів для зниження тертя в зношених частинах; 4. Оптимізація режиму роботи для зниження навантажень на двигун, якщо можливе тимчасове зниження продуктивності.

**Висновок.** Експлуатація сільськогосподарських машин із зношеним асинхронним двигуном вимагає додаткового обслуговування та контролю для забезпечення їх надійності та мінімізації витрат.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дзеніс С., Шайда В., Юр'єва О. Шляхи подолання бар'єру при переході асинхронних двигунів до класу енергоефективності IE5 / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика, 2024. № 1 (11), С. 60–67. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2024.1.11>

2. IEC60034-2-1, 2nd Ed.: Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard method for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), 2013.

3. IEC60034-30, 1st Ed.: Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code), 2008.

## ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ СИНХРОННОГО ДВИГУНА НА РОЗПОДІЛ МАГНІТНОГО ПОЛЯ В РОТОРІ

Кучинський К. А., д.т.н., ст.наук.співроб., e-mail: [kuchynskyy1962@gmail.com](mailto:kuchynskyy1962@gmail.com)  
Інститут електродинаміки НАН України

**Актуальність дослідження.** У хімічній, металургійній, нафтовій промисловості, для магістральних нафто- й газопроводів потрібне застосування турбокомпресорів, газових нагнітачів, нафтових насосів та інших швидкохідних механізмів для стиснення і перекачування газів та рідин. Для приводу зазначених механізмів використовуються двопольсні синхронні електродвигуни на 3000 об/хв нормального і вибухозахищеного виконання. Двигуни в агрегаті з механізмами повинні забезпечувати пуск та входження в синхронізм із мережею за певний час.

Досвід експлуатації машин потужністю 12500 кВт серії СТД показав, що вони мають серйозні недоліки – великі пускові струми і значні перегриви ротора. Слабким місцем були пазові клини, які при багаторазових пусках зміщувалися та підгоряли.

Основні функціональні властивості двигунів, пов'язані з появою сил, моментів і втрат потужності, залежать від розподілу в них електромагнітного поля при заданому розподілі струмів і формі граничних поверхонь, що поділяють середовища з різними магнітними проникненнями та електричними провідностями. Точність визначення магнітного поля у магнітопроводі істотно впливає на розрахункову величину локальних втрат, що наводяться, які, в свою чергу, визначають підвищені місцеві нагрівання елементів роторів.

**Мета досліджень.** Моделювання електромагнітних полів та виявлення основних закономірностей їх розподілу в масивних роторах потужних електродвигунів різного конструктивного виконання у короткочасних нестационарних режимах при великих ковзаннях для підвищення надійності експлуатації машин.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження електромагнітного поля в асинхронних режимах для окремих варіантів конструктивного виконання масивних роторів з урахуванням впливу різної електропровідності матеріалів пазових клинів, демпферної обмотки, великого зубця проводилося за допомогою чисельного методу скінченних елементів (МСЕ).

За МСЕ у варіаційній постановці за допомогою мінімізації функціоналу енергії магнітного поля здійснюється перехід від початкового диференціального рівняння до системи алгебраїчних рівнянь для визначення вузлових значень векторного магнітного потенціалу (ВМП) по всій розрахунковій області [1]:

$$([K] + [\theta]) \cdot \{A\} = \{C\}, \quad (1)$$

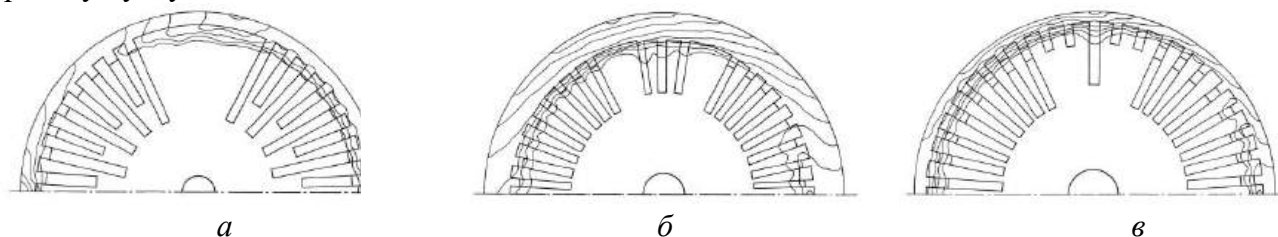
де  $[K]$  – матриця коефіцієнтів (функція геометрії області та магнітної проникності середовища  $\mu$ );  $[\theta]$  – матриця врахування вихрових струмів (функція кутової частоти збуджуючих струмів  $\omega$  та питомого опору середовища  $\rho$ );  $\{A\}$  – вектор вузлових значень ВМП;  $\{C\}$  – вектор зведених до вузлів струмів за постійності щільності струму  $j$  у межах елемента.

Об'єктами досліджень були двигуни потужністю 12500 кВт, що застосовуються як привод нагнітачів природного газу в нерегульованому режимі роботи:

1. З неізолюваними латунними клинами на роторі.
2. З різним конструктивним виконанням роторів підвищеної термостійкості до несинхронних полів.

Принципова відмінність конструкцій останньої групи двигунів полягає у застосуванні на роторах пазових клинів з матеріалу із низькою питомою електропровідністю – сплаву титану ВТ-6 або клинів з бронзи КМц-3 із укладеною під ними і в малих пазах на великих зубцях потужною демпферною системою з того самого матеріалу. Цим переслідуються цілі зменшити нагріві клинів й виключити їх осьові та радіальні переміщення внаслідок термомеханічних деформацій.

Наближене чисельне рішення МСЕ задачі визначення електромагнітного поля має вигляд компактного ряду значень вузлових потенціалів. Однак, мінімізація енергії дає поверхню рішення, яке є єдиним і точно визначеним всюди, а не лише у вершинах скінченних елементів. На рис. 1 показано розподіл магнітного поля (лінії рівного потенціалу  $Re A$ ) в активному перерізі зазначених вище типів машин для початкової точки ковзання  $s = 100\%$  процесу пуску.



**Рисунок 1 – Розподіл магнітного поля у роторах двигунів при ковзанні  $s = 100\%$ :  
 $A$  – з латунними клинами;  $b$  – з титановими;  $v$  – з бронзовими та демпферною системою**

З наведених розподілів випливає, що картина поля відрізняється значною складністю. Разом з тим, результати досліджень показали, що при всьому різноманітті конструктивних варіантів виконання ротора, в процесі пуску двигуна спостерігається загальне явище – бочка, як потужна демпферна система, обмежує проникнення електромагнітного поля в глибину масиву включно до ковзання  $s = 5\%$ .

За наявності в роторі високоелектропровідних латунних клинів магнітне поле витісняється на шляху розсіювання в зазор, що зумовлено реакцією вихрових струмів  $f = 50$  Гц у клині (рис. 1а). При встановленні високоомних титанових клинів витіснення магнітного поля в зазор незначне, розподіл ВМП в поверхневому шарі ротора більш рівномірне (рис. 1б). Вихрові струми потужної поздовжньо-поперечної бронзової системи (клинів та демпферної обмотки) створюють сильне зустрічне поле, яке витісняє магнітний потік до поверхні масиву ротора і в зазор (рис. 1в). Демпферна система сприяє швидкому згасанню поля та вихрових струмів у глибині масиву. Таким чином, латунні, бронзові клини та демпферна система повністю екранують обмотку збудження від полів частотою 50 Гц.

З наведених рисунків видно, що насичення має місце у поверхневому шарі ротора – зокрема, в масиві коронок великих та малих зубців. Області ярма й основи зубців є безумовно ненасиченими. У короткочасних режимах з великими струмами насичення зубців ротора практично повністю визначається полем вихрових струмів, і з розподілом останніх збігається розподіл втрат та місцевих нагрівів.

**Висновок.** Чисельний розрахунок магнітного поля дозволяє оцінювати демпфуючу дію вихрових струмів в окремих конструктивних елементах, досліджувати їх навантаження в процесі асинхронного пуску електродвигуна, а також виявляти основні закономірності розподілу магнітного потоку та втрат у масивному зубчастому роторі. Корисність отриманих результатів в активній зоні ротора машини полягає також у тому, що вони визначають величини струмів й втрат у торцевій зоні, місцях стиків роз'ємних клинів, і від точності їх визначення залежить точність всіх наступних розрахунків.

Ефективність методики підтверджена задовільним збігом розрахункових та експериментальних даних досліджень розподілу електромагнітного поля й місцевих питомих втрат від вихрових струмів в елементах поверхневого шару ротора двигуна потужністю 800 кВт у середині бочки при напрузі 6 кВ і частоті 50 Гц.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kuchynskyi K., Prus V. The Distribution of the Magnetic Field in the Rotors of Synchronous Machines of Various Designs at Large Slides. Proc. 2020 IEEE International Conference on Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, Ukraine, pp. 1–4, 21-25 September 2020. DOI: [10.1109/PAEP49887.2020.9240787](https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240787)



ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЦУКРОВОЇ  
ЦЕНТРИФУГИ З СИСТЕМОЮ ЧАСТОТНОГО  
КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Мельник О. О., магістр, e-mail: [alex.melnik1990@gmail.com](mailto:alex.melnik1990@gmail.com)

Дашковська О. М., магістерка, e-mail: [dachkovska@gmail.com](mailto:dachkovska@gmail.com)

Червінський Л. С., д. т. н., професор, e-mail: [Ichervinsky@gmail.com](mailto:Ichervinsky@gmail.com)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність.** Сучасне виробництво в будь-якій галузі, в тому числі сільському господарстві, неможливе без широкого використання електротехнічних приладів і обладнання. Провідна роль в цьому широкому діапазоні належить електричному приводу.

В залежності до вимог технологічного процесу широкого застосування набули асинхронні електродвигуни змінного струму та двигуни постійного струму.

**Основні матеріали досліджень.** Відповідно до типу електроприводу використовуються два типи регульованих джерел живлення. У першому випадку це керовані випрямлячі, які забезпечують перетворення змінної напруги промислової мережі в однополярну напругу зі струмом з одночасною можливістю регулювання їх середнього значення. В даному випадку використовується двигун постійного струму. У другому випадку в якості джерела живлення використовуються перетворювачі частоти з проміжним джерелом постійного струму. Спочатку напруга промислової мережі випрямляється, перетворюючись в однополярну пульсуючу, яка в подальшому фільтрується і стає постійною. Далі постійна напруга інвертується, перетворюючись в змінну.

Це перетворення дозволяє отримати змінну напругу з регульованою частотою. У сучасних частотно-регульованих приводах використовують асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором.

В електроприводах робочих машин найбільше часто застосовуються асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором серій 4А, 4АМ та АИ.

Для підвищення ефективності їх роботи в даний час завдяки розвитку силової перетворювальної техніки створені і серійно випускаються різні види напівпровідникових перетворювачів частоти, що визначило випереджальний розвиток і широке застосування частотно-регульованого асинхронного електропривода.

Основними перевагами цієї системи регульованого електропривода є:

- Плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні;

- Економічність регулювання, обумовлена тим, що двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання, і втрати в двигуні не перевищують номінальних.

Для ефективною роботи дифузійної центрифуги при виробництві цукру для підтримки моменту на постійному рівні необхідно в усьому діапазоні регулювання при малих частотах зменшувати напругу в меншій мірі, ніж знижується частота в діапазоні 210 - 2100 об/хв.

Тому управління приводом виконує частотний перетворювач з широтно-імпульсним управлінням (ПП з ШІМ) по заданій формулі співвідношення напруга / частота, перетворювач забезпечує плавний пуск асинхронного двигуна і зменшує пускові струми в 4-5 разів.

Частотний перетворювач сприяє економії по споживанню енергії до 50%, з'являється можливість вмикання зворотних зв'язків між суміжними приводами, тобто автоматичне налаштування обладнання під поставлені вимоги і зміна умов роботи всієї системи.

**Висновки.** Для підвищення ефективності роботи дифузійної центрифуги з виробництва цукру обґрунтовано керування роботою електропривода центрифуги за допомогою частотного перетворювача.

Управління електроприводом виконується за допомогою частотний перетворювач з широтно-імпульсним управлінням (ПП з ШІМ) по заданій формулі співвідношення напруга /



частота, перетворювач забезпечує плавний пуск асинхронного двигуна і зменшує пускові струми в 4-5 разів.

Частотний перетворювач сприяє економії по споживанню енергії до 50%, з'являється можливість вмикання зворотних зв'язків між суміжними приводами, тобто автоматичне налаштування обладнання під поставлені вимоги і зміна умов роботи всієї системи.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матвійчук В. А., Стаднік М. І., Рубаненко О. О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи для спеціальності 141 «електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / Вінниця: ВНАУ, 2016.- с.92.

2. Червінський Л. С. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва/ А. В.Рудь, І. М. Бендера, Д. Г. Войтюк, С. М. Кравченко, В. В. Іщенко, Л. С. Червінський // Підручник, Київ , «Агроосвіта». 2012, 2 тома, - 900 с.

3. Червінський Л. С. Моделювання регульованого електропривода /Голодний І. М., Лавріненко Ю. М., Червінський Л. С. /Підручник МОН К.: Агрармедіагруп. 2013.-236 с.

4. Червінський Л. С. Довідникова книга з енергетики/ Волох П. В., Цоколенко М. П., Червінський Л. С. і др./ Навчальний посібник, Київ, «Аграрна освіта», 2014 – 506 с.

## ВПЛИВ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТУЧНОГО СВІТЛА НА РОЗВИТОК ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Міленін Д. М., к.т.н., доц. e-mail: [dm.milenin@btu.kharkov.ua](mailto:dm.milenin@btu.kharkov.ua)

Лихобаба Р. О. e-mail: [lxbb@gmail.com](mailto:lxbb@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Обумовлена необхідністю підвищення ефективності технологій освітлення та опромінення в сільському господарстві, які б відповідали сучасним фізіологічним потребам біологічних об'єктів. Сьогодні існує проблема використання застарілого та енергозатратного електрообладнання, що обмежує продуктивність тваринництва та рослинництва і призводить до надмірних витрат на електроенергію. В умовах розвитку сільського господарства виникає потреба в опромінювальних приладах з високою енергоефективністю та спеціалізованими спектральними характеристиками, що забезпечать оптимальний вплив на розвиток молодняку птиці та розсади овочевих культур.

**Мета досліджень.** Удосконалення ефективності установок для опромінення, що використовують люмінесцентні джерела світла.

**Основні матеріали досліджень.** Оптичне випромінювання відіграє ключову роль у технологіях штучного освітлення й опромінення, що забезпечують ефективний вплив на сільськогосподарські рослини та тварин. У біологічних об'єктів вплив світла реалізується через сітківку ока та шкірні рецептори, а отримані сигнали передаються у центральну нервову систему, запускаючи фізіологічні зміни: утворення біологічно активних речовин, підвищення рівня гемоглобіну, покращення білкового обміну тощо. Це сприяє розвитку тварин і зростанню їх продуктивності. Результати досліджень демонструють, що підвищення освітленості приміщень для утримання тварин та рослин позитивно впливає на їхню продуктивність, здоров'я та знижує витрати на корми.

Використання оптичних технологій надає змогу реалізувати потенціал біооб'єктів шляхом відповідного налаштування спектрального складу світла. Особливо важливим є підбір світла, наближеного за спектром до сонячного, щоб забезпечити оптимальні умови для фотосинтезу рослин. Червоне світло сприяє інтенсивному фотосинтезу, а в зеленій частині спектра його ефективність зменшується, проте в синьо-фіолетовій області знову спостерігається зростання фотосинтетичної активності. Ефективність використання світла каротиноїдами та хлорофілом визначає загальну продуктивність процесу, що робить спектральний склад світла надзвичайно важливим для розвитку та здоров'я біологічних об'єктів.

Оптичне випромінювання є критичним фактором у технологіях штучного освітлення і опромінення, яке сприяє підвищенню продуктивності сільськогосподарських тварин і рослин. Вплив світла на біологічні об'єкти відбувається через рецептори, зокрема, через сітківку ока та шкіру. Імпульси, що утворюються під впливом видимих променів, надходять до центральної нервової системи, викликаючи низку фізіологічних змін, таких як збільшення кількості еритроцитів і підвищення рівня гемоглобіну (*Hb*). Це також супроводжується посиленням газообміном, що проявляється у зростанні глибини дихання та зниженні його частоти, сприяючи інтенсифікації окисних процесів. Відповідно, зростає ефективність обміну речовин у біологічних об'єктах.

При вивченні ефективності додаткового освітлення з певними спектральними характеристиками у приміщеннях для утримання тварин було встановлено, що підвищення рівня освітленості до 50–80 лк сприяє збільшенню продуктивності. У корівниках, де тривалість світлового дня подовжена до 16–18 годин, молочна продуктивність підвищується на 8–16%, а витрати кормів на одиницю продукції знижуються на 15–35%. Для свиноматок оптимальним рівнем освітленості є 70–100 лк, що призводить до зростання плодючості на

5,8% та збільшення маси новонароджених поросят на  $\Delta m=4.5-16.7\%$  у порівнянні з тваринами, які утримуються при нижчій освітленості.

Оптимальний спектральний склад світла також важливий для рослин, оскільки процес фотосинтезу можливий лише за наявності світлових хвиль відповідної довжини ( $\lambda$ ), що відповідає спектру сонячного світла. У червоній частині спектра (647–740 нм) фотосинтез інтенсивний, тоді як в синьо-фіолетовій частині спектра ( $\lambda=424-491$  нм) спостерігається другий пік активності. За рахунок цього квантова ефективність процесу фотосинтезу у хлорофілі (Chl) і каротиноїдах різниться, оскільки каротиноїди поглинають близько 70% світла в синьо-зеленій області, тоді як лише 30% енергії засвоюється хлорофілом, але використовується з більшою ефективністю.

Можливості підвищення ефективності люмінесцентних ламп шляхом варіювання тиску парів ртуті, тиску інертного газу та радіуса розрядної трубки. Аналіз характеристик ламп у стаціонарній плазмі спирався на раніше отримані вирази. Розрядний струм для ламп різних потужностей (15 Вт, 30 Вт, 40 Вт) був встановлений на номінальних рівнях, а тиск парів ртуті коливався між 1 та 2 Па. Залежність потужності випромінювання резонансної лінії ртуті при зміні тиску аргону показала, що з підвищенням тиску аргону зменшується потужність випромінювання, особливо для трубок з діаметром 1,8 см. Зі зростанням тиску аргону від 1 до 4 мм рт. ст. знижується частка потужності, що йде на випромінювання ртутних ліній, що пов'язано з підвищенням потужності, яка витрачається на нагрівання газу. У результаті дослідження встановлено, що оптимальний тиск парів ртуті для ламп діаметром 1,3 см коливається між 0,8 та 1,1 Па, а вплив тиску інертного газу визначає термін служби ламп. Таким чином, для досягнення оптимальної ефективності люмінесцентних ламп важливо ретельно контролювати ці параметри. Результати досліджень можуть стати основою для розробки нових технологій освітлення, які будуть більш енергоефективними та екологічними.

**Висновок.** Оптичне випромінювання з оптимальним спектральним складом і необхідною енергоефективністю сприяє інтенсивнішому розвитку тварин та рослин, підвищує їхню продуктивність і загальне здоров'я, що водночас дозволяє зменшити енергозатрати. Модернізація опромінювальних установок із люмінесцентними джерелами світла, налаштованих відповідно до спектральних вимог біооб'єктів, є перспективною стратегією для забезпечення високих показників продуктивності у тваринництві та рослинництві.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойко, А. Л., Дорошенко, О. Г. Фотосинтетичне опромінення в рослинництві. Київ: Наукова думка, 2016. 220 с.
2. Борейко, В. Л. Фізіологія сільськогосподарських тварин. Львів: Світ, 2015. 312 с.
3. Костенко, М. І., Швець, І. В., Лебідь, О. С. Агрофізика: навч. посібник. Київ: Вища школа, 2018. 256 с.
4. Яценко, П. А. Енергозберігаючі технології в рослинництві. Харків: ХНАУ, 2017. 198 с.

## ІННОВАЦІЙНІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБЛЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЯХ НА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Міленін Д. М., к.т.н., доц. e-mail: [dm.milenin@btu.kharkov.ua](mailto:dm.milenin@btu.kharkov.ua)

Туменко Б. Ю. e-mail: [tumenko@gmail.com](mailto:tumenko@gmail.com)

Колій Р. О.

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** На сьогодні фотоелектричне перетворення сонячної енергії є одним із пріоритетних напрямів у галузі відновлюваної енергетики, що пов'язано з економічною конкурентоздатністю порівняно з тепловими електростанціями. Цей метод забезпечує екологічну чистоту, доступність, довговічність та невисокі експлуатаційні витрати, що робить його перспективним рішенням для вирішення проблем енергопостачання. Водночас підвищення ефективності фотоелектричних систем можливе за рахунок використання мультиекситонної генерації (МЕГ), що дозволяє збільшити кількість генерованих екситонів у матеріалах, підвищуючи ефективність сонячних елементів.

В умовах зростання попиту на фотоелектричні технології, виробництво кремнію залишається недостатнім для задоволення потреб ринку, що призводить до його дефіциту та підвищення цін. Використання відходів напівпровідникового кремнію як альтернативного матеріалу розглядається як перспективний спосіб зниження вартості сонячних панелей. Розвиток сонячної енергетики в Україні також має значні перспективи, оскільки країна поступово збільшує частку альтернативної енергетики. Це, зокрема, сприяє розвитку енергетичної незалежності та зниженню залежності від традиційних джерел, таких як вугілля, нафта та природний газ.

Тенденція до інтеграції систем зберігання енергії у структуру сонячних електростанцій, як це відбувається в Україні, покращує стабільність та маневровість енергопостачання. Спільні проекти з іноземними партнерами, спрямовані на використання накопичувачів енергії, допомагають вирішувати проблеми енергодефіциту, а також сприяють підвищенню економічної ефективності сонячних установок.

**Мета досліджень.** Метою дослідження є розробка ефективних рішень для покращення якості та надійності електропостачання сільських споживачів через використання децентралізованих систем автономного електропостачання. Вона передбачає визначення оптимальних підходів для інтеграції відновлюваних джерел енергії (вітроелектростанцій, сонячних електростанцій, мікро-ГЕС) і резервних елементів (дизель-генераторів, акумуляторних батарей) в існуючу інфраструктуру сільських електромереж, з метою забезпечення стабільного та екологічно чистого постачання електроенергії відповідно до норм якості.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження, присвячене підвищенню ефективності вироблення електроенергії сонячними модулями, визначило вплив кліматичних умов та орієнтації панелей на продуктивність. Було запропоновано дві конструкції ФСЕС, призначених для установки на будівельних елементах (наприклад, козирках, терасах) з можливістю адаптації до погодних умов.

Основа конструкції складає сонячна батарея, встановлена на дугоподібній опорній конструкції, яка закріплена на стіні. Завдяки спеціальним рейкам та тяговому ланцюгу, кут нахилу панелі можна змінювати відповідно до положення сонця, досягаючи оптимального розташування в різні дні та періоди року. Управління нахилом дозволяє підвищити генерацію електроенергії до 20% порівняно зі стаціонарною установкою.

Запропоноване рішення підходить для будинків, терас та інших споруд, надаючи можливість як для автономного освітлення території, так і для декоративного оформлення. Конструкція забезпечує автономність, зручне розташування в будь-якому місці та безпечне використання, зокрема для освітлення входів у вечірній та нічний час.

ФСЕС можуть комплектуватися панелями на основі фотоелектричних модулів, наприклад, ТСМ-50 з монокристалічного кремнію, що дозволяє варіювати потужність відповідно до потреб у електроенергії та розмірів конструкції.

Запропоновано другий варіант конструкції ФСЕС, що відрізняється простотою та надійністю. Вона призначена для перетворення сонячної енергії на електричну та адаптована для встановлення на будівельних конструкціях (козирках, навісах над входом, балконах тощо). Конструкція дозволяє регулювати кут нахилу панелей відповідно до положення сонця протягом року, що суттєво підвищує ефективність виробництва електроенергії.

Конструкція ФСЕС включає сонячну батарею на пересувному каркасі, закріплену на стіні будівлі за допомогою дугоподібних профілів. Каркас пересувається по направляючих трубах з фіксацією потрібного кута нахилу. Це дозволяє оперативно налаштовувати положення панелі для оптимальної генерації електроенергії залежно від сезону. Використання гнучкого покривельного матеріалу, наприклад, полікарбонату, робить конструкцію довговічною та надійною.

Механізм зміни кута нахилу забезпечується за допомогою болтових з'єднань, що дозволяють фіксувати каркас сонячної батареї в потрібному положенні. Ця особливість є ключовою для регулювання вироблення електроенергії протягом різних сезонів, враховуючи зміну положення сонця на небі. Це технічне рішення дозволяє підвищити продуктивність до 20% порівняно з фіксованими установками.

Запропонована ФСЕС підходить для використання в котеджах, сільських будинках, садових ділянках і громадських місцях. Вона забезпечує автономне освітлення, може бути встановлена на навісах або терасах, що робить її привабливою для використання в міських скверах, парках або для підсвічування територій біля будинків. Це також надає будівлі або території естетичного вигляду, одночасно підвищуючи автономність і забезпечуючи електробезпеку.

Сонячні панелі для ФСЕС можуть використовуватися з фотоелектричними модулями, такими як ТСМ-25 потужністю 25 Вт з монокристалічного кремнію. Регулярне регулювання кута нахилу сонячних модулів з урахуванням річного циклу зміни положення сонця, відображене в таблиці показників інсоляції, дозволяє максимально ефективно використовувати сонячну енергію, задовольняючи потреби в електроенергії протягом року.

**Висновок.** Дослідження довело, що ефективність сонячних модулів значно залежить від кута їх нахилу, що має бути скориговано залежно від сезонного положення сонця. Запропоновано дві конструкції фотоелектричних сонячних електростанцій, які можуть встановлюватися на будівельних елементах (козирках, терасах) та дозволяють збільшити вироблення електроенергії до 20%. Завдяки гнучкому механізму регулювання положення панелей, такі ФСЕС забезпечують автономне освітлення та естетичний вигляд. Такі системи особливо підходять для приватних будинків і громадських просторів, де потрібне економне та екологічне освітлення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шаповал Т. Відновлювані джерела енергії в Україні: перспективи та виклики. Київ: Наукова думка, 2020.
2. Ковальчук М. Основи сонячної енергетики. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019.
3. Руденко Ю. Енергетична безпека та стійкість електроенергетичної системи України. Харків: Фоліо, 2021.



ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ

Мінко О. М. к.т.н., с.н.с., e-mail: [alexandr.minko@i.ua](mailto:alexandr.minko@i.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Процес проектування електромеханічних перетворювачів енергії є складною та многогранною задачею, яка з одного боку обмежується технічними та методологічними можливостями існуючого інструментарію проектування, та з іншого боку – сучасними вимогами ринку збуту електромеханічного обладнання, куди відносяться на самперед вимоги технологічності, безпеки, екологічності та доцільної економіки майбутнього агрегату. Такий підхід впливає як на строки виконання проектно-конструкторських робіт, так і на якість окремих результатів. Суттєвим покращенням якості проектування є використання параметричного проектування та перехід до багатопараметричного проектування з використанням функції з декількома змінними.

**Мета досліджень.** Обґрунтування доцільності використання параметричного проектування електричних машин та перехід до багатопараметричного проектування з використанням функції з декількома змінними.

**Основні матеріали досліджень.** Параметричне моделювання (параметризація) – моделювання (проектування) за допомогою параметрів елементів моделі та співвідношень між цими параметрами. Параметризація дозволяє за короткий час виконати достатню кількість розрахунків, які б наближали до необхідного позовника (за допомогою зміни параметрів або геометричних співвідношень) різні конструктивні схеми, або рішення і уникнути принципів помилок [1].

Класичне уявлення процесу параметризації у тривимірній постановці задачі для проектування геометричної поверхні визначається функція  $F(t_1, \dots, t_k) : M \rightarrow R^3$ , яка залежить від  $k$ -параметрів та відображає деяке зв'язкове безліч  $M$  із  $n$ -мірного простору в тривимірний простір таким чином, що це відображення являю собою поверхню. Ця функція  $F$  задає клас поверхонь, а набір  $k$ -параметрів – конкретна поверхня з цього класу. Найбільш практичним є випадок, коли безліч  $M$  є одиничним квадратом у двовимірному просторі. У цьому випадку параметричну поверхню можна описати так:

$$(x, y, z) = F(a, b) = \begin{cases} x = X(a, b); \\ y = Y(a, b); \\ z = Z(a, b), \end{cases} \text{ при } (a, b) \in [0, 1]^2. \quad (1)$$

де,  $a$  та  $b$  – параметри координати  $X$ ,  $Y$  та  $Z$ .

Параметричні поверхні широко використовуються в майже в кожному методі проектування та комп'ютерній графіці для представлення складних поверхонь. Параметризація робить такі поверхні зручними для обчислення, обробки, відображення та подальшого аналізу.

Математичний вигляд багатопараметричного стану системи може бути представлено узагальненим вектором:

$$X^T = [x_1, x_2, \dots, x_j] \quad (2)$$

де,  $x_1, x_2, x_j$  – параметри, які визначають стан системи в межах принципової моделі, та мають властивість змінюватись в процесі експлуатації електричної машини.

Сімейство параметрів  $x$  можна утворити за допомогою:

а) скалярного виразу (температура струмопровідних частин електричної машини, тиск охолоджуючого середовища);

б) векторного виразу (електромагнітне навантаження, реакція опорних частин на механічне навантаження, геометричний показник, швидкість, тощо);

- в) тензорного виразу (електрична напруга, механічна або магнітна деформація);
- г) окремими функціями (механічні коливання, вібрація, показники шуму).

Ці параметри можуть бути зосередженими та розподіленими по всій системі, або в межах частини конструкції електричної машини, яка підлягає моделюванню.

Вектор стану (2) повинен відповідати вектору зовнішніх показників  $Y$  (це показники режиму роботи електричної машини, умови її використання, показники навантаження на валу ротора – для електричних двигунів, та показники вхідних параметрів від турбіни – для генераторів). Відповідність двох векторів виконується за допомогою оператора  $H$ , який реалізує метод розрахунку та властивості електромеханічних процесів (наприклад, системи рівнянь Максвелла) розрахункової моделі  $X(t) = HY(t)$ , де,  $t$  – час, год.

Зміна технічного стану електромеханічного перетворювача енергії можна уявити рухом вектору  $X$  у багатовимірному просторі  $\Phi$  вектор-функції:

$$X(t_i) = X(t_0) + \int_{t_0}^{t_i} \alpha_s(X, Y) dt, \quad (3)$$

де,  $\alpha_s$  – узагальнена швидкість зміни, яка залежить від вектору поточного стану  $X$ , та вектору зовнішніх показників  $Y$ .

Простір  $\Phi$  розділено поверхнею ознак  $\Omega$ , яка відокремлює частину працездатного стану від не працездатного. Оскільки процес  $X(t)$  випадковий, ймовірність роботи в працездатному стані електричної машини (або вузлу, який моделюється), в проміжку часу  $(t_0, t)$  складає ймовірності знаходження вектору  $X$  на ділянці  $\Omega$ :  $P(t) = P[X(\tau) \in \Omega, \tau \in (t_0, t)]$ , де,  $\tau$  – поточний час, год.

Загальний вид рішення задачі зміни технічного стану електричної машини полягає в дискретизації в часі та просторі та вирішенні задач її послідовного стану за допомогою вводу достатньо малого проміжку часу  $\delta t$  (крок напрацювання). Швидкість зміни технічного стану на цьому проміжку часу визначається в залежності від стану, властивостей та режимних показників електричної машини до першої зміни технічного стану, за обраним показником (або показниками). Відповідно вираз узагальненої швидкості  $\alpha_s = dX/dt$  апроксимується до наступного виразу:

$$\alpha_s \cdot X(t_i) = \frac{X(t_{i+1}) - X(t_i)}{\delta t}. \quad (4)$$

Метод достатньо ефективний при не великому показнику  $\delta t$ . Ресурс електромеханічної системи визначається при досягненні заданої величини.

**Висновок.** Перехід до багатопараметричного проектування з використанням функції з декількома змінними містить наступні процедури:

- аналіз структури електромеханічної системи (розбір системи на окремі елементи та елементарні процеси, й встановлення зав'язків між елементами та процесами);
- математичне моделювання елементарних процесів, розробка оператора переходу технічного стану від початкового стану до наступного (кінцевого) для цих елементарних процесів;
- розробка математичної моделі та алгоритму поведінки системи в цілому (розробка багато параметричної системи рівнянь);
- імітаційне моделювання електромеханічної системи засобами САД, в тому числі проведення математичного (програмного) експерименту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Минко А.Н. Реализация полипараметрического проектирования асинхронного электрического двигателя. – Матеріали VI-ї Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики». – Херсон: ПП "Резнік", 2021. – С. 17-19.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ  
ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ І РЕМОНТА МАШИНИ І ОБЛАДНАННЯ

Окушко О. В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., e-mail: [okushko@nubip.edu.ua](mailto:okushko@nubip.edu.ua)

Ковтун П. М.<sup>2</sup>, викладач, [oleg.kovtun447@gmail.com](mailto:oleg.kovtun447@gmail.com)

Національний університет біоресурсів і природокористування України<sup>1</sup>,

Немішаєвський агротехнічний коледж НУБіП України<sup>2</sup>

**Актуальність дослідження.** Ефективність експлуатації сучасного обладнання в значній мірі визначаються його якістю та надійністю, яке не завжди відповідає сучасним вимогам. Це в певній мірі можна віднести не тільки до діючої обладнання, але і до процесів його виготовлення, особливо на етапах відновлення та ремонту, які у більшості випадків, являють собою застарілі, енерговитратні технології, що здійснюються в ручну і обумовлюють значні трудовитрати та низьку продуктивність праці. До таких застарілих методів можна віднести такі технологічні процеси як очищення деталей від замаслювання, пилю, механічних забруднень, частинок абразиву особливо у деталей складної конфігурації, з глибокими отворами та порожнинами, виведення окалини, продуктів корозії, нагару тощо. До застарілих і неефективних технологічних процесів також можна віднести: механічну розмірну обробку конструкційних матеріалів з особливими фізико-механічними властивостями, термічну обробку, емалювання та фарбування, відновлення зношених вузлів та деталей, зварювання металів та полімерних матеріалів тощо.

**Мета досліджень.** Аналіз сучасних методів електротехнологій при відновленні і ремонті машини і обладнання.

**Основні матеріали досліджень.** Одним із напрямів, що можуть замінити застарілі та мало ефективні технології є застосування електротехнологій, що демонструють високу ефективність. При цьому значні їх можливості, в т.ч. у питаннях виготовлення, відновлення та ремонту техніки і електрообладнання для неї демонструють дослідження, що виконувалися в ряді західних країн (США, Німеччина, Канада, Великобританія тощо), а також і в Україні.

Так, наприклад, застосування ультразвукових коливань при очищенні та митті дозволяє звести до мінімуму використання ручної праці, виключити органічні розчинники, а також очищати важкодоступні ділянки виробів, проводити очищення і знежирення, а в деяких випадках – виключити дороге розбирання механізмів, механічну і хімічну очистку. В той же час, очистка деталей тракторів, автомобілів, сільськогосподарських машин при ультразвуковій обробці у 5 ... 10 разів зменшує час обробки при зменшенні витрат хімікатів більше, ніж у 1,5 ... 2 рази.

Важливе місце при проведенні відновлюваних робіт електрообладнання займають зварювальні роботи. Застосування електротехнологій при зварюванні дозволяє здійснити точкове і шовне зварювання як однорідних, так і різнорідних матеріалів, що мають різну товщину без розплавлення основного матеріалу і попереднього зняття поверхневих окисних плівок. Застосування такої технології дозволяє підвищити ефективність зварювальних робіт на 20 ... 30 %.

Важливе місце займають питання якісного просочення конструкційних та ізоляційних матеріалів, наприклад дерев'яних деталей різного призначення трансформаторів, обмоток двигунів, кабельної продукції тощо, що забезпечує підвищення електричної міцності в 1,2 ... 1,5 рази. При цьому, широке впровадження знаходять методи просочення на базі використання акустичних коливань різного діапазону частот (20 кГц ... 1 ГГц) та інтенсивності (0,5 ... 5 Вт /см<sup>2</sup>).

Одним із перспективних та ефективних рішень проблеми боротьби з корозією, яка впливає на довговічність, механічну стійкість, тривалість експлуатації опор є застосування технології покриття металевих конструкцій опор ЛЕП 35 – 110 кВ цей метод може бути реалізований не тільки в умовах ремонтних майстерень, але і, що особливо важливо, при

вирішенні питань, пов'язаних з відновленням покриттів при реконструкціях та ремонті металевих опор ЛЕП безпосередньо у польових умовах.

Серйозним позитивом реалізації електростатичного методу є те, що він не тільки зменшує втрати лакофарбових матеріалів (у 1,5 – 1,75 рази), а і сприяє підвищенню експлуатаційної стійкості покриття (у 1,2 – 1,5 рази), покращенню екологічних умов та скороченню технологічного циклу виробництва покриттів.

Треба підкреслити, що особливо ефективним є застосування ручних та пересувних електрофарбувальних установок, які підтверджують свою економічну і технологічну доцільність особливо в польових умовах. Польові випробування показують, що при обсязі ремонтних робіт (10 – 12 опор в місяць) можна заощаджувати 170 – 210 кг фарби (кремнійорганічна КО, пентафталева ПФ), зменшити кількість ремонтно-відновлювальних робіт за рахунок збільшення строків експлуатації таких покриттів, зменшення корозійної дії на елементи конструкцій та кріплення їх (у 1,2 – 1,5 рази).

#### **Висновок.**

Використання методів електротехнологій (акустичних коливань, електромагнітних полів та ін.) може забезпечити скорочення енерго- та ресурсовитрат відповідно на 30 – 40 та 60 %, трудоемність до 60 %, скорочення часу обробки в залежності від призначення обробки у 5 ... 12 разів.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Іноземцев Г. Б. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції / Г. Б. Іноземцев, О.М. Берека, О. В. Окушко, С. М. Усенко; за ред. Іноземцева Г. Б. / К. – ЦП “Компринт”. – 2015. – 306 с.

2. Іноземцев Г. Б. Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві: Навч. посібник / Г. Б. Іноземцев; В. Ф. Яковлев; В.В. Козирський; за ред. Г.Б. Іноземцева. – К.: ЦТІ “Енергетика іта електрифікація”. – 2006. – 187 с.

3. Іноземцев Г. Б. Перспективні методи виготовлення та ремонту електротехнічного обладнання в умовах АПК // Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко / Енергетика і автоматика. – №4. – 2016 р.

4. Іноземцев Г. Б. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції: монографія / Г. Б. Іноземцев, О. М. Берека, О. В. Окушко; за ред. Іноземцева Г. Б. / К. – ТОВ “АграрМедіаГруп. – 2013. – 293 с.

5. Іноземцев Г. Б. Фізико-технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів / Г. Б. Іноземцев, Л. С. Червінський, О. М. Берека, О. В. Окушко/ К, Аграр Медіа, 2012, 185 с.

6. Іноземцев Г. Б. Підвищення надійності і працездатності електротехнологічних установок у рослинництві / Г. Б. Іноземцев, О. В. Окушко, А. С. Нанавов / Наук. вісн. НУБІП, Вип № 174, ч.2, 2012, С. 30-34

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Окушко О. В., к.т.н., доц.; e-mail: [okushko@nubip.edu.ua](mailto:okushko@nubip.edu.ua)

Радько І. П., к.т.н., доц.; e-mail: [ivan\\_radko@ukr.net](mailto:ivan_radko@ukr.net)

Наливайко В. А., к.т.н., доц., e-mail: [nva041@ukr.net](mailto:nva041@ukr.net)

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

**Актуальність дослідження.** Сучасне життя людства немислиме без використання енергії (електричної, теплової та ін.). Широке використання енергетичних ресурсів стало ознакою модерного розвитку економіки та підвищення добробуту людини. Основна кількість енергії надходить внаслідок спалювання газу або іншого твердого палива, запаси яких стрімко зменшуються. Тому з кожним роком стає все гострішою проблема забезпечення енергоносіями. Внаслідок цього ми спостерігаємо стійке підвищення тарифів на енергоресурси та енергоносії. Саме тому сьогодні досить гострою є проблема збереження та ефективного використання енергоресурсів.

Енергозбереження як засіб енергоефективності це процес внаслідок якого зменшується потреба у використанні різних видів енергії, тобто споживається тільки та частина енергії (електрична або тепла), що необхідна для створення оптимальних умов праці людини. Це призводить до необхідності її заощадження і, як наслідок, до забезпечення максимальної ефективності при її використанні. Проблема енергозбереження тісно пов'язана з питаннями технічної та структурної перебудови будь-якого господарчого суб'єкта вцілому.

**Мета досліджень.** Метою досліджень є скорочення витрат на опалення у громадських та навчально-виробничих будівель закладів вищої освіти

**Основні матеріали досліджень.** В останні роки НУБіП України зіткнувся із загостренням проблем енергопостачання, що викликано недостатнім бюджетним фінансуванням та їх низькою енергоефективністю, як споживачів енергоресурсів і енергоносіїв. Ця проблема, в першу чергу, постала в наслідок того, що на території університету є велика кількість навчальних і житлових будівель і зумовлена, в першу чергу, факторами на які ще в недалекому минулому не звертали уваги, а саме дешевизною енергоресурсів та відсутністю дієвих стимулів до енергоощадності.

Враховуючи загострення відповідної проблеми, фахівцями ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП України були визначені і розроблені певні заходи для зменшення споживання енергоносіїв, які полягають в структурно-технологічній перебудові господарчої частини університету, що сприятиме підвищенню енергоефективності використання енергоносіїв.

Основними стратегічними напрямками підвищення енергоефективності та реалізації потенціалу енергозбереження в НУБіП України були визначені, в першу чергу, організаційно-технічні заходи, що пов'язані в основному з підвищенням якості технічного обслуговування електротехнічного обладнання і його своєчасного ремонту, пошуку сучасних методів і режимів його експлуатації, розробці ефективних інструментів моніторингу і управління споживання енергетичними ресурсами в університеті, а також пошуку механізмів стимулювання заходів з підвищення енергоефективності і енергозбереження. На основі цих рекомендацій в НУБіП України була розроблена відповідна Програма з енергозбереження на період до 2025 року, яка включала відповідні технічні рекомендації, а саме проектні рішення на улаштування відповідних систем автоматичного регулювання теплоспоживання передбачали встановлення приладів регулювання теплової енергії, тепловим навантаженням якою була система опалення, що оснащена згідно діючих нормативних документів опалювальних приладів будівлі радіаторними термостатичними клапанами.

При проектуванні теплового пункту було проведено розрахунок витрат теплоносія у системі теплоспоживання об'єкту, а саме визначено розрахункові максимальні масові об'єми



витрати мережної води, розрахункові мінімальні витрати мережної води за опалювальний період, а також кількісне регулювання на джерелі теплопостачання).

На рис. 1. Загальний вигляд наведено фрагменту прямого та зворотного трубопроводів теплового пункту з витратомірною ділянкою тепловодолічильника СВТУ-10М і клапаном вузла регулювання витрат теплоносія (макет)



Рисунок 1 – Загальний вигляд фрагменту теплового пункту

Першими результатами дії Програми було зменшення споживання енергоресурсів університету після початку дії Програми з енергозбереження до 30 %, і це не є межею.

Отримана економія енергоресурсів дала можливість зменшити платежі за спожиту теплову енергію і зменшити фінансовий тиск зі сторони держави на університет, що пов'язано з недостатнім фінансуванням та збільшенням тарифів на енергоносії.

#### **Висновок.**

1. Система обліку та регулювання витрат теплоносія водопостачання навчального корпусу, реалізована в індивідуальному теплому пункті, має забезпечувати регулювання витрат теплоносія залежно від температури навколишнього середовища та обмежувати теплоспоживання в нічні години доби і вихідні (святкові) дні.

2. Встановлення засобів обліку та регулювання витрат теплової енергії забезпечує можливість здійснювати оперативний моніторинг теплових потоків, що сприяє скороченню обсягів споживання теплової енергії в середньому на 30 – 40 %.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Іноземцев Г. Б. Методи енергозбереження в системах електропостачання: Навч. посібник / Г. Б. Іноземцев, В. В. Козирський, О. В. Окушко; за ред. Іноземцева Г. Б. / К.: ЦП «Компринт».–2016. – 222 с

2. Радько І. П. Розробка проекту теплового пункту навчального корпусу НУБІП України / І. П. Радько, М. Т. Лут, В. А. Наливайко, О. В. Окушко // Енергетика і автоматика, С. 86 – 94.

3. Радько І. П. Регулювання подачі теплоносіїв як засіб підвищення енергофактивності / І. П. Радько, В. А. Наливайко, А. В. Міщенко, О. В. Окушко, Є. О. Антипов // Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті: матеріали ХХ міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 15-16 травня 2019 р.).– К.: Інтерсервіс, 2019. – С. 259.

4. Радько І. П. Енергоефективність – один з головних чинників конкурентоспроможності університету / І. П. Радько, В. А. Наливайко, О. В. Окушко // Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали ІІІ Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті ВВ Овчарова (Мелітополь, 15 квітня-29 квітня 2021 р) / ТДАТУ; відповід. за вип. С. О. Квітка, Д. М. Нестерчук.-Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 104

5. Радько І. П. Впровадження засобів для позиційного регулювання теплоспоживання / I. Radko, O. Okushko, V. Nalyvaiko // System Research in Energy, С. 15 – 24

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ РУХІВ НОСІЯ  
БЕСПЛАТФОРМНОЇ ІНЕРЦІЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИОсадчий С. І.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., e-mail: [srg2005@ukr.net](mailto:srg2005@ukr.net)Віхрова Л. Г.<sup>2</sup> проф., e-mail: [vihrovalg@ukr.net](mailto:vihrovalg@ukr.net)Каліч В. М.<sup>2</sup> проф., e-mail: [vmk041954@gmail.com](mailto:vmk041954@gmail.com)Мірошніченко М. С.<sup>2</sup> доц., e-mail: [marymir@ukr.net](mailto:marymir@ukr.net)Льотна академія Національного авіаційного університету<sup>1</sup>  
Центральноукраїнський національний технічний університет<sup>2</sup>

**Актуальність дослідження.** Задача підвищення точності автономного отримання навігаційної інформації стає особливо актуальною в умовах широкого використання безпілотних літальних апаратів при наявності активної протидії засобами радіоелектронної боротьби. Основним автономним джерелом навігаційної інформації [1] на борту літального апарату цього класу у таких умовах стає безплатформна інерціальна навігаційна система (БНС). Її характерною особливістю [1,2] є накопичення похибки визначення координат місця об'єкту та його орієнтації у просторі. У статті [4] доведено, що властивості похибок сенсорів БНС суттєво залежать від характеру рухів носія, на борту якого розмішені ці вимірювальні елементи. Таким чином, одна й та сама навігаційна система може змінювати точність роботи при зміні характеру рухів носія [5]. В той же час, метрологічна атестація та калібрування вимірювальних пристроїв такого класу здійснюється в штучних умовах, коли характеристики рухів їх корпусу суттєво відрізняються від реальних рухів носія [3]. Отже, існує протиріччя між реальними умовами роботи БНС та умовами її роботи при метрологічній атестації. Зазначене протиріччя є причиною відмінності реальних характеристик похибок вимірювання навігаційних параметрів від характеристик, визначених під час метрологічної атестації. Одним з можливих шляхів подолання визначеного протиріччя є наближення умов роботи БНС в процесі атестації до реальних умов їх роботи на борту БПЛА. Таке наближення можливе за рахунок розробки комп'ютерно – інтегровано-вих систем імітації реальних рухів носія БНС в лабораторних умовах. Аналіз експериментальних даних про рухи БПЛА коптерного типу, який проведено у статті [6], показав, що ці рухи мають дві зв'язані між собою випадкові складові. Перша складова – це кутовий рух БПЛА навколо центру мас, а друга – тривимірне лінійне переміщення його центру мас. Таким чином, об'єкт, який в лабораторних умовах повинен імітувати рухи БПЛА, повинен мати 6 степенів свободи: три кутових та три лінійних. Єдиним об'єктом, який відповідає цим умовам та може бути розміщеним у лабораторії є платформа Стюарта, перше згадування про яку міститься у статті [7].

**Мета досліджень** полягає у розробці методики створення засобами інструменту Simulink середовища Matlab комп'ютерно-інтегрованої системи для відтворення рухів носія авіоніки в лабораторних умовах з допомогою платформи Стюарта. Не дивлячись на досить велике коло публікацій з приводу використання середовища Matlab для створення додатків реального часу, наприклад статті [8,9], як правило усі вони дозволяють здійснити моделювання хоча і в реальному часі, але у віртуальному просторі. Особливість матеріалів, представлених у цій статті, полягає у визначенні набору правил створення кіберфізичної системи, яка поєднує віртуальне середовище інструменту Simulink з платформою Стюарта (рис.1) для відтворення рухів носія авіоніки у лабораторних умовах.

**Основні матеріали досліджень.** Якщо обрати функціональну схему кіберфізичної системи (рис.1) у вигляді послідовного з'єднання персонального комп'ютера, контролера передавання даних (інтерфейсу) та платформи Стюарта, то проблема синтезу комп'ютерно – інтегрованої системи імітації реальних рухів носія БНС в лабораторних умовах формулюється наступним чином. За відомою моделлю динаміки рухів носія БНС, типом контролеру передавання даних (інтерфейсу зв'язку) та типом серводвигунів платформи Стюарта розробити Simulink-модель системи керування рухом платформи в реальному часі.



**Рисунок 1 – Комп’ютерно – інтегрована система керування рухами платформи Стюарта**

Для розв’язання поставленого завдання розроблена методика, яка складається з виконання наступних п’яти задач: обґрунтування вибору контролеру для інтерфейсу зв’язку програмного середовища Matlab з серводвигунами платформи Стюарта; встановлення та налаштування пакету програмної підтримки обраного контролеру для інструменту Simulink; синтез структури та параметрів Simulink-моделі підсистеми формування сигналів керування платформою Стюарта; розробка Simulink-моделі підсистеми розв’язання зворотної задачі кінематики; розробка Simulink-моделі системи керування рухом платформи.

**Висновок.** Застосування розробленої методики до експериментальних даних про польот квадрокоптера дозволило: обґрунтувати вибір типу контролеру (Arduino-DUE), розробити S-функцію для керування рухами платформи у реальному часі та здійснити випробування макету системи моделювання рухів об’єкта з шістьма степенями свободи.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Moir I., Seabridge A., Jukes M.: Civil avionic systems. 2nd edition. John Wiley & Sons, Ltd. (2013).
2. Ahmed Radi\*, Sameh Nassar, and Naser El-Sheimy Stochastic Error Modeling of Smartphone Inertial Sensors for Navigation in Varying Dynamic Conditions / Gyroscopy and Navigation, 2018, Vol. 9, No. 1, pp. 76–95. © Pleiades Publishing, Ltd., 2018.
3. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД - Сервис, 2011.
4. Li, Y., Georgy, J., Niu, X., Li, Q., and El-Sheimy, N., Autonomous calibration of MEMS gyros in consumer portable devices, IEEE Sensors Journal, 2015, vol. 15, no. 7, pp. 4062–4072.
5. Osadchy S.I., Zozulya V.A., Rudiuk G. I. The Dynamics of 3-dimensional micro-mechanic sensor of angle motions of a robot-hexapod. In: Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS’2015) on Vol.2, pp. 908-912. Warsaw, Poland 2015.
6. Осадчий С.І., Дяченко М.М. Збір та первинна обробка даних з системи ARDUPILOT для ідентифікації моделі динаміки квадрокоптеру. Науковий журнал «Прикладні питання математичного моделювання». Т.3, №2.1, 2020, ХНТУ, 2020.
7. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom. Proc. Instn. Mech. Engrs. 1965-66, Vol. 180, Pr. 1. No 15. Pp. 371-386
8. Mosterman, Pieter & Prabhu, Sameer & Dowd, Andrew & Glass, John & Erkkinen, Tom & Kluza, John & Shenoy, Rohit. (2005). Embedded real-time control via MATLAB, Simulink, and xPC Target. [10.1007/0-8176-4404-0\\_18](https://doi.org/10.1007/0-8176-4404-0_18).
9. Using Matlab-Simulink RTW to Build Real Time Control Applications in User Space with RTAI-LXRT [https://www.rtai.org/userfiles/documentation/documents/quaranta\\_mantegazza.pdf](https://www.rtai.org/userfiles/documentation/documents/quaranta_mantegazza.pdf)

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ ІЗОЛЯЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АПК

Оцалюк І. І., магістр, e-mail: [Iotcaluk@gmail.com](mailto:Iotcaluk@gmail.com)

Лисіков О. Ю., аспірант, e-mail: [Alexlynikov2@gmail.com](mailto:Alexlynikov2@gmail.com)

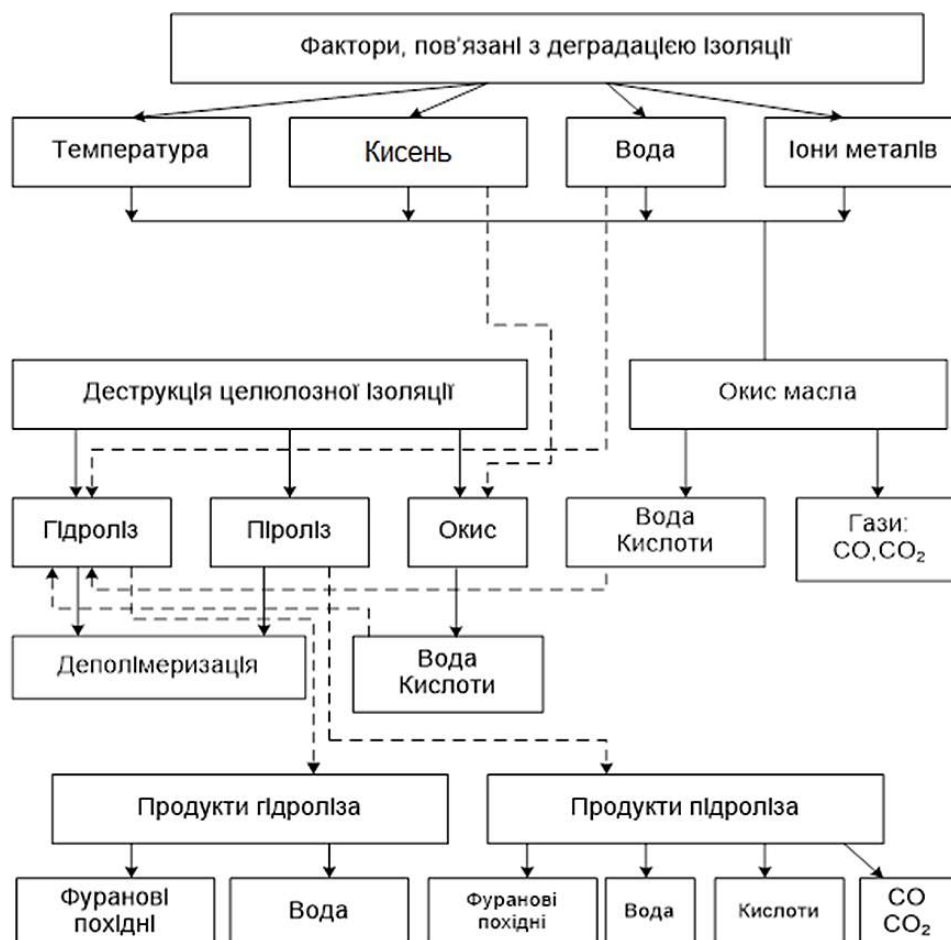
Червінський Л. С., д. т. н., професор, e-mail: [lchervinsky@gmail.com](mailto:lchervinsky@gmail.com)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність.** Складні умови експлуатації електричних мереж обумовлюють виникнення аварій, що часто стають причиною не тільки економічних втрат, але й людських жертв. В більшості випадків пошкодження відбувається не відразу, а після тривалої дії несприятливого чинника. На сьогоднішній день найбільш ефективним засобом підвищення надійності роботи енергетичного обладнання є впровадження методів і засобів оперативної діагностики стану ізоляції.

**Об'єкт дослідження:** Ізоляція електроенергетичного обладнання АПК.

**Основні матеріали дослідження.** Діагностування та ремонт силового електротехнічного обладнання сьогодні стає звичайним технічним заходом підвищення надійності і якості електроспоживання. В той же час актуальною є розробка нових методів діагностування, що відповідають сучасним вимогам, і повною мірою використовували б можливості новітніх «розумних» технологій по визначенню факторів впливу на стан ізоляції електротехнічного обладнання (рис.1).



**Рисунок 1 – Фактори, що спричиняють пошкодження ізоляції**

Найбільш ефективними, в попередженні аварій обладнання, є мікропроцесорні системи безперервного контролю і діагностики, які використовують комплекс відповідних сенсорів.

Характерним для таких систем завданням є - виявлення на ранній стадії розвитку небезпечних для обладнання дефектів безпосередньо під час роботи, а також обробка, аналіз і відображення параметрів стану обладнання (його ізоляції) в зручному для експлуатаційного персоналу вигляді. Тому актуальним є завдання вдосконалення існуючих і розробки нових методів та засобів діагностування паперово-масляної ізоляції енергетичного обладнання, які можуть бути використані при побудові алгоритмів функціонування мікропроцесорних систем контролю стану обладнання.

**Висновки.** Системи безперервного контролю ізоляції покликані забезпечити зниження аварійності в енергосистемах, а також накопичення даних, необхідних для вдосконалення системи діагностування, автоматизацію вимірювань і аналізу, зменшення об'єму робіт персоналу, зниження впливу людського чинника, автоматичного запису і зберігання даних вимірювань, виявлення тенденцій і швидкості зміни параметрів і своєчасного отримання сигналів про відхилення як черговим персоналом підстанції, так і службами діагностики підприємств. Вони повинні дозволити планувати ремонти обладнання і при необхідності проводити термінове відключення об'єктів, що знаходяться в перед аварійному стані. Проте забезпечити такі високі вимоги здатні пристрої, що базуються на методах, які дозволяють з необхідною точністю вимірювати основні характеристики ізоляції

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Рубаненко О. Є. Високовольтні вводи. Конструкція, експлуатація, діагностика і ремонт : монографія / О. Є. Рубаненко, О. І. Гуменюк – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 183 с.
2. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. / Р. М. Гобрей, О. Є. Рубаненко, В. Л. Таловер'я – К.: «НТУКЦ АсЕлЕнерго» – 2008. – 528 с.
3. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. / Р.М. Гобрей, Г. В. Шинкаренко, Г. М. Коліушко Г. М., Коліушко Д. Г., Болдирев О. М., - К.: «ДП НТУКЦ», – 2011. – 1008 с.



РОЗРАХУНОК ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЬОВИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ  
З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПК

Прокопенко В. С., студент 4 курсу, e-mail: [veremeeffvlab@gmail.com](mailto:veremeeffvlab@gmail.com)

Гузенко В. В., к.т.н., доцент, e-mail: [hnaghv@gmail.com](mailto:hnaghv@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Свинарник, де зазвичай утримують велику кількість тварин, потребує особливого мікроклімату. Свині дуже чутливі до параметрів мікроклімату в приміщенні. На свинофермах використовують вентиляції різних типів: природну, механічну (або примусову) чи змішану. Як показує аналіз, що для вентиляції в тваринницьких приміщеннях необхідно використовувати витяжні осьові вентилятори з електродвигунами підвищеного ковзання АИРП [1,2]. Тому, вибір найоптимальнішої методики дослідження таких двигунів як у статистиці так і в динаміці є актуальною задачею.

**Мета досліджень.** Підвищення якості розрахунків характеристик частотного регульованого асинхронного електропривода.

**Основні матеріали досліджень.** На сьогоднішній день, відомо, що вентилятори з частотним керуванням зможуть гнучко регулювати об'єм вентиляції, знижуючи енерговитрати, коли немає потреби в повній потужності.

Осьові вентилятори з частотним регулюванням і без нього мають суттєві відмінності, які впливають на їх продуктивність, енергоефективність та загальну гнучкість у використанні [2]. Вентилятори без частотного регулювання працюють на фіксованій швидкості, яка зазвичай відповідає номінальним характеристикам. Це означає, що вони завжди працюють на максимальній потужності, незалежно від того, чи є така потреба. Такий режим роботи призводить до надмірного споживання електроенергії, оскільки вентилятор не може автоматично адаптуватися до змінних умов [3].

В науковій роботі були детально проаналізовані способи регулювання осьовими вентиляторами. На кафедрі електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки були проведені випробування електропривода з використанням частотного регулювання швидкості обертання електродвигуна з метою енергозбереження.

Як показують дослідження на основі сучасної науково-технічної літератури, що використання моделювання процесів електромеханічних систем в програмному пакеті Matlab дозволяє отримати параметри для покращення результатів наукових спостережень. Моделювання проведено за рахунок почергового задання у блоці керування пакету Simulink частоти струму на виході автономного інвертора від частоти номінальної мережі до 20 Гц. У відповідності до частоти струму проводимо корекцію напруги в джерелі живлення згідно з вентиляторним навантаженням по необхідному закону.

Для моделювання вентиляторного навантаження в Simulink можна використовувати блоки механічного навантаження, що забезпечують залежність моменту опору від швидкості обертання.

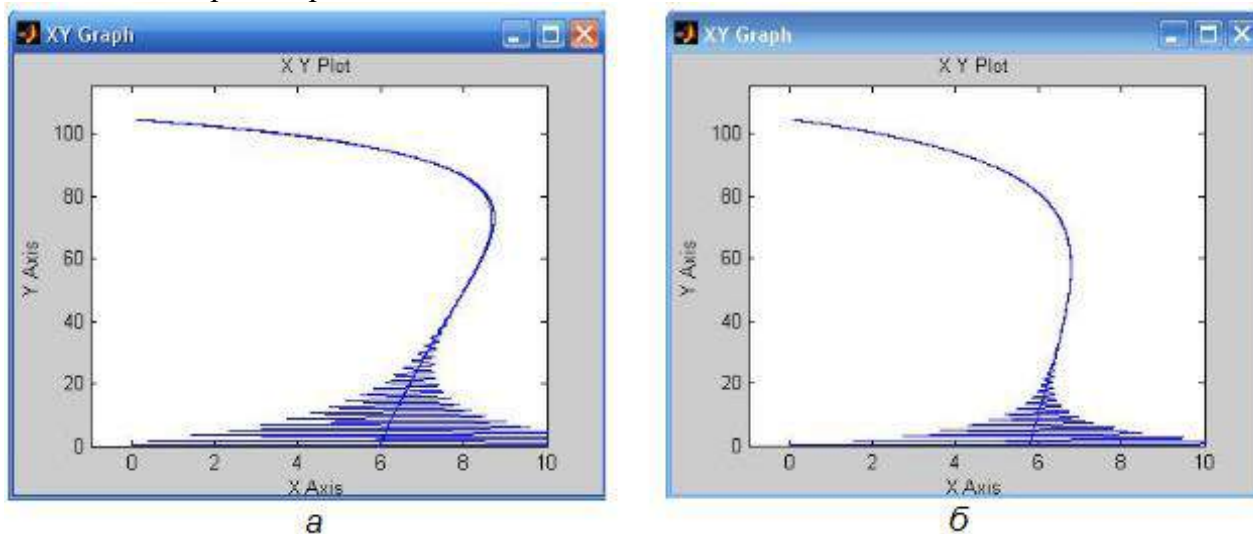
У процесі моделювання можна відслідковувати показники енергоспоживання системи. Для цього можна використовувати блоки вимірювання потужності в Simulink, які дозволяють вимірювати споживану активну та реактивну потужність у залежності від поточної швидкості обертання двигуна та умов роботи.

Після запуску моделі можна аналізувати:

- Споживану потужність при різних частотах (20 Гц, 30 Гц, 50 Гц тощо).
- Ефективність енергозбереження у різних режимах роботи вентилятора.
- Плавність регулювання швидкості, що безпосередньо впливає на тривалість служби вентилятора та стабільність його роботи.

Отримана модель дозволяє досліджувати, як частотне регулювання сприяє зменшенню витрат електроенергії в режимах часткових навантажень, що є особливо актуальним у контексті енергозбереження (Рис.1).

Отримана віртуальна модель, дозволяє спрогнозувати перспективу економічної доцільності, перед запровадженням в дію такої системи.



**Рисунок 1 – Механічна характеристика електродвигуна АІРП з розрахунковими (а) та уточненими (б) параметрами**

Дослідження також включало аналіз динамічної поведінки осьових вентиляторів при зміні частоти живлення електродвигуна. Для цього було розроблено математичну модель електроприводу вентилятора, що враховує зміну характеристик при частотному регулюванні. Це дозволило оцінити залежність швидкісних і енергетичних параметрів осьових вентиляторів від частоти струму на виході інвертора.

**Висновок.** Висновки дослідження показали, що застосування частотного регулювання швидкості обертання електродвигунів осьових вентиляторів є високоефективним рішенням. Використання частотних перетворювачів дозволяє знизити енергоспоживання.

Моделювання та розрахунок характеристик за допомогою комп'ютерних технологій дає змогу створювати оптимальні робочі режими та уникати зайвих фізичних експериментів, що робить цей підхід ще більш привабливим. Таким чином, впровадження частотного керування осьовими вентиляторними системами сприяє не лише економії ресурсів, а й підвищенню ефективності роботи вентиляційних систем у багатьох сферах.

В результаті досліджень встановлено, що регульований ЕП вентилятора з перетворювачем частоти споживає в 1,5 – 2,5 рази менше енергії порівняно з перетворювачем напруги. Доведена доцільність використання віртуальної моделі в системі MatLab.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розробка моделей складних електромеханічних систем в середовищі пакета MATLAB з використанням блоків додатку віртуального фізичного моделювання Simscape / О.І. Толочко // *Вісник НТУ «ХП»*. Проблеми автоматизованого електропривода. Харків: НТУ «ХП», 2015, С.118-123.

2. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу. / О. І. Толочко // *Навчальний посібник*. Київ, НТУУ «КПІ», 2016. 150 с.

3. Pakkiraiah B., Sukumar G. D. A New Modified Artificial Neural Network Based MPPT Controller for the Improved Performance of an Asynchronous Motor Drive // *Indian Journal of Science and Technology*. 2016 Vol.: 9(45). P. 1-10.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИВЛЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ ВІД ДИЗЕЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Середин М. Ю. керівник групи із забезпечення обслуговування, технічної підтримки енергетичного та електронного обладнання, БУ «Укрбургаз» АТ «Укргазвидобування»,  
e-mail: [Mykhailo.Seredyn@ugv.com.ua](mailto:Mykhailo.Seredyn@ugv.com.ua)

Лисиченко М. Л. д.т.н., проф., e-mail: [lprlysychenko@biotechuniv.edu.ua](mailto:lprlysychenko@biotechuniv.edu.ua)  
Державний біотехнологічний університет

**Постановка задачі, аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасні бурові установки значною мірою залежать від стабільного та ефективного енергопостачання, що забезпечується дизельними генераторами. Проте їх використання супроводжується високими витратами на паливо, значними викидами парникових газів та нерівномірністю навантаження, що знижує ефективність роботи генераторів. Використання систем накопичення енергії на основі акумуляторних батарей (*Battery Energy Storage Systems, BESS*) стає перспективним рішенням для оптимізації процесу енергопостачання..

**Мета досліджень.** Розробка та обґрунтування оптимальної стратегії живлення бурової установки від дизельних генераторів з використанням систем накопичення енергії на основі акумуляторних батарей.

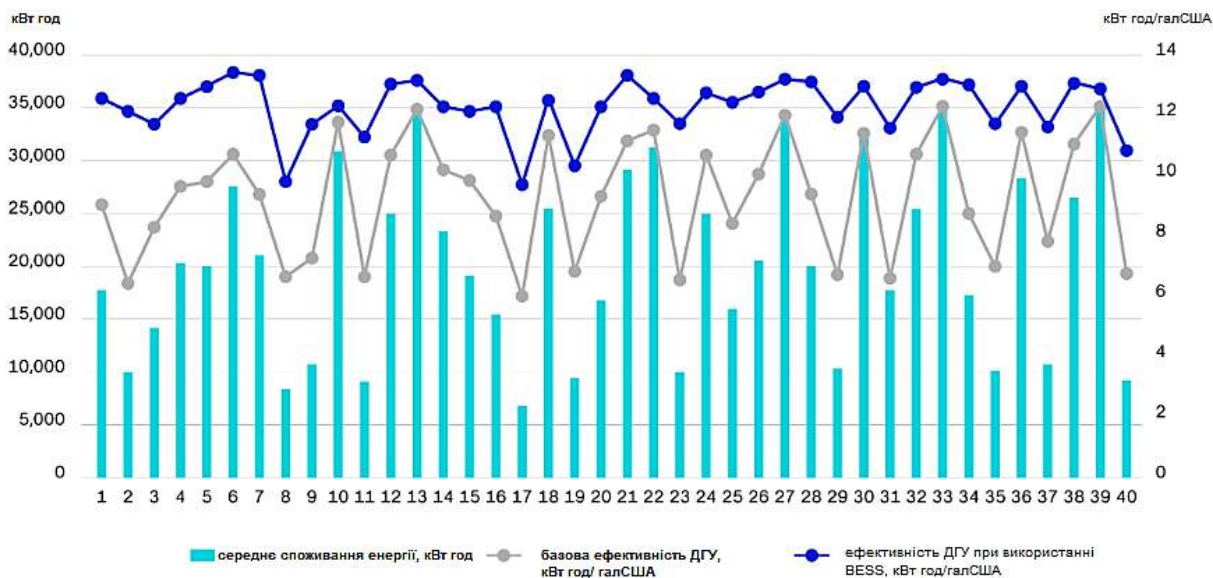
**Основні матеріали досліджень.** Енергопостачання бурових установок є ключовим елементом забезпечення їх безперервної та ефективної роботи. Традиційно для живлення навантажень бурової установки використовується чотири дизель-генератори, наприклад для бурових установок *SR6500* виробництва *Bentec GmbH Drilling & Oilfield Systems* кожна дизель-генераторна установка має потужність 1700 кВА [1]. Проблема полягає в тому, що процес внутрішнього згоряння палива в генераторній установці є основним джерелом викидів. Тривала робота генераторних установок із нестабільним навантаженням, при якому в залежності від технологічних операцій мають місце значні коливання виробленої потужності, збільшує витрати палива та прискорює термін до технічного обслуговування генераторної установки на основі годин або виходу з ладу елементів системи. Традиційний метод усунення цих побічних ефектів полягає в тому, щоб бригада бурової установки вручну здійснює керування живленням. Однак, зупинка та запуск генерації електроенергії вручну може бути непослідовним, відкладеним або зовсім знехтуваним.

Інтеграція систем накопичення енергії *BESS* у структуру енергопостачання бурових установок відкриває нові можливості для оптимізації роботи дизельних генераторів, причому, її впровадження дозволяє згладжувати пікові навантаження, зменшувати частоту запуску генераторів та знижувати загальне споживання дизельного палива. Бурові установки, оснащені такими системами, дозволяють використовувати лише три генератори. З іншого боку, інтеграція системи *BESS* не тільки служить резервним джерелом живлення, запобігаючи відключенням електроенергії під час критичних операцій, але також забезпечує миттєве живлення під час неочікуваних збоїв генератора, забезпечуючи безперервну роботу буріння [2]. Також, що не менш важливо, розгортання *BESS* на бурових установках дозволяє зберігати надлишок електроенергії, виробленої від ДГУ, для подальшого використання, таким чином оптимізуючи управління енергією [2].

Оскільки попит на екологічно чисті енергетичні рішення зростає, *BESS* представляє ключову інновацію в нафтогазовому секторі, що сприяє зменшенню викидів вуглецю та підвищенню ефективності роботи. Майбутнє акумуляторних технологій, включаючи досягнення в гібридних системах накопичення енергії та твердотільних батареях, обіцяє подальше розширення можливостей *BESS*, зміцнюючи його роль у стійкій трансформації методів буріння [3].

*BESS* використовують різні технології батарей, кожна з яких має певні переваги та недоліки в залежності від хімічного складу та передбачуваного застосування. Очікується, що

твердотільні батареї, такі як батареї з натрієвим анодом, у майбутньому замінять літій-іонні батареї через їхні потенційні переваги в безпеці та ефективності [4]. Так, наприклад, під час 40-добової роботи бурової установки компанії *Unit Drilling Company* завдяки інтелектуальному управлінню живленням *BESS* підвищила ефективність генераторної установки на 28 % та заощадила 17 836 галонів палива - у середньому 446 галонів США/день (рис.1) [5].



**Рисунок 1 – Графік споживання пального і генерації електроенергії на установці *BESS***

Конфігурація системи зберігання енергії також впливає на її продуктивність. Впровадження кількох конфігурацій перетворювача *DC-DC* може підвищити ефективність системи, хоча таке налаштування потребує використання двох перетворювачів із повною номінальною оцінкою. Такі конфігурації забезпечують гнучкість у проектуванні та експлуатаційних міркуваннях, задовольняючи конкретні потреби системи в межах системи управління енергією.

**Висновок.** Результати дослідження підтверджують, що інтеграція *BESS* у систему живлення бурової установки є економічно доцільною та екологічно виправданою, що сприяє сталому розвитку галузі. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію технічних характеристик систем накопичення та розробку адаптованих до конкретних умов експлуатації алгоритмів управління енергоспоживанням.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [електронний ресурс]. <https://kenera.com/products-and-services/manufacturing/bess-2>
- Bruce Beaubouef - New power solutions help reduce emissions, enhance flexibility [електронний ресурс]. – 2021. Режим доступу: <https://www.offshore-mag.com/production/article/14189934/new-power-solutions-help-reduce-emissions-enhance-flexibility>
- Rey, S.O.; Romero, J.A.; Romero, L.T.; Martínez, À.F.; Roger, X.S.; Qamar, M.A.; Domínguez-García, J.L.; Gevorkov, L. Powering the Future: A Comprehensive Review of Battery Energy Storage Systems. *Energies* 2023, 16, 6344. <https://doi.org/10.3390/en16176344>
- Divya, K.C.; Østergaard, J. Battery energy storage technology for power systems - An overview. *Electr. Power Syst. Res.* 2009, 79, 511–520.
- [електронний ресурс]. <https://www.slb.com/resource-library/case-study-with-navigation/dr/ipm-us-cs#related-information>

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПРИВОДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ГНОСПРИБИРАЛЬНИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Синявський О. Ю., к.т.н., доц., e-mail: [sinyavsky2008@ukr.net](mailto:sinyavsky2008@ukr.net)

Савченко В. В., к.т.н., доц., e-mail: [vit1986@ua.fm](mailto:vit1986@ua.fm)

Твердохліб В. М., студент магістратури

Гирило А. І., студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Нині встановлено, що найбільший вплив на електроприводи виробничих машин і механізмів мають відхилення та несиметрія наруги. У ході обробки даних понад 170 експериментів визначено, що показниками якості електроенергії, які найбільш часто виходять за встановлені межі, є відхилення наруги (68 %) та коефіцієнт несиметрії за нульовою послідовністю (38 %) [1].

Хоча за EN50160 середньоквадратичне відхилення наруги повинно бути в межах  $\pm 10\%$ , але в реальності ці показники можуть значно відрізнятися від норми, наприклад, в Україні відхилення наруги буває від  $-20\%$  до  $+30\%$  [2].

Внаслідок відхилення і несиметрії наруги змінюється кутова швидкість двигуна, яка в свою чергу обумовлює зміну приводних характеристик гноєприбиральних транспортерів. Тому дослідження зміни технологічних і енергетичних характеристик гноєприбиральних транспортерів при відхиленні та несиметрії наруги має теоретичне і практичне значення.

**Мета дослідження** – встановлення впливу відхилення та несиметрії наруги на технологічні і енергетичні характеристики гноєприбиральних транспортерів.

**Основні матеріали досліджень.** При відхиленні і несиметрії наруги асинхронний двигун працює на робочій частині механічної характеристики, яку можна вважати лінійною [3].

При відхиленні наруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці опишеться рівнянням:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial} U_*^2 (\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де  $M_{\partial}$  – момент двигуна, Н·м;  $\beta_{\partial}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;  $U_*$  – наруга у відносних одиницях;  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;  $\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>,

а при несиметрії наруги

$$M_{\partial} = \beta_{\partial a} \beta_{\partial n} (\omega_0 - \omega), \quad (2)$$

де  $\beta_{\partial a} = \beta_{\partial a} / \beta_{\partial n}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії наруги у відносних одиницях;  $\beta_{\partial a}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії наруги;  $\beta_{\partial n}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при номінальній симетричній нарузі, Н·м·с.

Механічна характеристика гноєприбиральних транспортерів: [3]:

$$M_c = M_{cn}, \quad (3)$$

де  $M_{cn}$  – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\partial} U_*^1 (\omega_0 - \omega) = M_{cn}, \quad (4)$$

$$\beta_{\partial a} \beta_{\partial n} (\omega_0 - \omega) = M_{cn}. \quad (5)$$

Продуктивність гноєприбирального транспортера прямо пропорційна кутовій швидкості електродвигуна:

$$Q_* = \omega_*. \quad (6)$$

Тоді закон зміни продуктивності гноєприбирального транспортера при зміні наруги запишеться у вигляді:



$$Q_* = \frac{\omega_0}{\omega_n} - \frac{M_{сн}}{\beta_\partial \omega_n U_*^2}, \quad (7)$$

а при несиметрії напруги

$$Q_* = \frac{\omega_0}{\omega_n} - \frac{M_{сн}}{\beta_\partial \beta_{\partial a^*} \omega_n} \quad (8)$$

Відхилення та несиметрія напруги впливають також на енергетичні характеристики гноєприбирального транспортера, однією з яких є питома витрата електроенергії, кВт·год/кг, яка визначається так:

$$q = P_1 / Q, \quad (9)$$

де  $P_1$  – потужність, споживана електродвигуном з мережі, кВт.

У відносних одиницях вираз (9) має вигляд:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{вн}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{вн} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{вн})}{P_{2н} + \Delta P_{вн} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (10)$$

де  $P_{2н}$  и  $P_2$  – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі;  $\Delta P_{сн}$  і  $\Delta P_c$  – постійні втрати потужності;  $\Delta P_{вн}$  і  $\Delta P_v$  – змінні втрати потужності;  $\alpha$  – коефіцієнт втрат.

Враховуючи, що номінальні втрати потужності

$$\Delta P_n = P_{2н} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{вн} (\alpha_n + 1), \quad (11)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт втрат;  $\eta_n$  – ККД двигуна при номінальній напрузі, тоді питома витрата електроенергії при відхиленні напруги

$$q_* = \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha_n + 1)} \cdot \frac{(\alpha + 1 / U_*^2)}{Q_*}, \quad (12)$$

а при несиметрії напруги

$$q_* = \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha_a + 1 / \beta_{\partial a^*})}{Q_*}. \quad (13)$$

Таким чином, зниження та несиметрія напруги викликають зростання питомої витрати електроенергії в електроприводі гноєприбирального транспортера.

**Висновок.** При зниженні та несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна. При цьому зростає ковзання та втрати потужності. Внаслідок цього зменшується продуктивність та зростають питомі витрати електроенергії в електроприводі гноєприбиральних транспортерів. На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність гноєприбиральних транспортерів знижується до 3 %.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дед А. В., Сикорский С. П., Смирнов П. С. Результаты измерений показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий и организаций. Омский научный вестник. 2018. №2 (158). С. 60 – 63.
2. Szultka A., Szultka S., Czapp S., Zajczyk R. Voltage Variations and Their Reduction in a Rural Low-Voltage Network with PV Sources of Energy. Electronics 2021, 10(14), 1620
3. Лавріненко Ю. М., Савченко П. І., Синявський О. Ю. та ін. Основи електропривода. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 524 с.
4. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Лавріненко Ю. М. та ін. Електропривод виробничих машин і механізмів. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 444 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ  
В НАФТОПРОВОДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИХ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Соскіда Д. В., студент, e-mail: [Denys.Soskida@ieee.khpi.edu.ua](mailto:Denys.Soskida@ieee.khpi.edu.ua)

Кунченко Т. Ю., к. т. н., доц., e-mail: [tetiana.kunchenko@khpi.edu.ua](mailto:tetiana.kunchenko@khpi.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Дослідження систем електропривода магістрального насосного агрегату (МНА) є надзвичайно важливим в умовах сучасного технологічного процесу, оскільки вони забезпечують стабільність та ефективність перекачування рідин, особливо в нафтогазовій промисловості. Ефективна робота нафтопровідної системи безпосередньо залежить від стабільності та точності регулювання тиску в трубопроводах. Однак коливання подачі нафти, викликані сезонними змінами, технологічними операціями, аварійними та ремонтними роботами, можуть призводити до змін у режимах роботи станцій, що створює значні ризики для системи, аж до аварійних ситуацій і зупинок. Традиційні методи регулювання тиску, такі як дроселювання потоку, мають суттєві недоліки: вони неекономічні, призводять до значних енергетичних втрат і збільшують ризик аварійних розривів труб.

**Мета досліджень.** Основною метою даного дослідження є розробка системи автоматичного регулювання (САР) тиску в нафтопроводі, яка базується на регульованому електроприводі, для забезпечення стабільної та безперебійної роботи нафтопровідної системи. Це також включає визначення та обґрунтування вимог до системи електропривода МНА, а також вибір оптимального типу електродвигуна з урахуванням специфічних умов експлуатації, які забезпечать економічність, безпеку і високі експлуатаційні характеристики.

**Основні матеріали досліджень.** У силу умов технологічного процесу до електропривода МНА пред'являються наступні вимоги:

- електропривод повинен бути розрахований на тривалий режим роботи з постійним навантаженням.
- регулювання швидкості повинне бути плавним ( у тому числі плавний пуск і останов МНА).
- необхідно здійснювати м'який пуск двигуна із плавним наростанням струму й моменту до значень близьких до номінальних.
- регулювання повинне бути економічним.
- відсутня необхідність у великому діапазоні регулювання швидкості.
- відсутня необхідність у реверсі швидкості.
- відсутня необхідність у рекуперації енергії в мережу, тому що двигун працює в тривалому режимі.
- електродвигун повинен мати вибухозахищене виконання.
- система керування електропривода повинна працювати в складі автоматизованої системи керування НПС.

Вибір електродвигуна враховує пускові та навантажувальні режими, умови обслуговування, стабільність частоти обертання та режим споживання реактивної потужності на підприємстві. До переваг синхронних двигунів у порівнянні з асинхронними ставляться:

- можливість регулювання значення й знака реактивної потужності.
  - коефіцієнт корисної дії СД, як правило, на 1-3 % вище, чим у АД тієї ж потужності.
  - наявність щодо великого повітряного зазору підвищує надійність експлуатації в умовах можливих перевантажень двигуна.
- напруга мережі впливає на критичний момент СД менше, чим на критичний момент АД. До переваг асинхронних двигунів у порівнянні із синхронними ставляться:
- простота конструкції й процедури пуску.

- краща керованість в аварійних режимах, пов'язаних із провалами напруги через збурювання в системі електропостачання: електромагнітні процеси в АД загасають швидше, чим у СД, і не вимагають заходів і засобів для забезпечення гасіння поля.

- АД менш тривалий час, чому СД, подпитують місце короткого замикання й, отже, виявляють менш шкідливий вплив на елементи системи електропостачання.

- системи автоматичного повторного пуску (АПВ) і самозапуску АД простіше, чим системи АПВ СД.

- АД більш пристосоване для роботи у вибухонебезпечних і сирих приміщеннях.

- менш кваліфіковане обслуговування.

- не вимагають систем порушення.

- вартість і маса в АД на 15 – 20 % нижче аналогічних показників СД із урахуванням системи порушення.

Оптимальний вибір електродвигуна для системи електропривода МНА ґрунтується на детальному аналізі переваг і недоліків обох типів. Часто перевага віддається асинхронним двигунам з короткозамкненим ротором, які відповідають усім вимогам до регульованого електропривода.

Регулювання швидкості відбувається шляхом зміни частоти напруги живлення за допомогою перетворювача частоти (ПЧ), що дозволяє підтримувати високу ефективність і стабільність роботи системи. Сучасні засоби мікропроцесорної техніки дозволяють впроваджувати складні закони керування, зокрема векторне керування. Це забезпечує роздільний вплив на складові статорного струму, оптимізуючи регулювання моменту та швидкості електродвигуна. Векторне керування, у свою чергу, дозволяє зберігати характеристики електродвигуна в усьому діапазоні регулювання, що є важливим фактором для нафтопровідних систем.

Крім того, в дослідженні розглядаються інноваційні рішення, такі як інтеграція новітніх технологій на базі напівпровідникових пристроїв. Вони відкривають можливості для створення високовольтних електроприводів великої потужності, що здатні забезпечити безпечно й енергоефективне керування насосними установками. Це рішення суттєво підвищує коефіцієнт корисної дії нафтопровідної системи, стабілізує тиск та забезпечує безпечну експлуатацію трубопроводів.

**Висновок.** Таким чином, розробка САР тиску в нафтопроводі на базі регульованого електропривода забезпечує низку переваг: енергозбереження, зниження експлуатаційних витрат, підвищення ефективності та надійності роботи НПС. Впровадження частотних електроприводів дозволяє стабілізувати режим транспортування нафти, мінімізувати ризик аварійних ситуацій та покращити екологічну безпеку системи. Система автоматичного регулювання з регульованим електроприводом сприятиме надійній та економічно ефективній експлуатації нафтопровідної інфраструктури.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гаспарянц Р. С. Нормативно-технічне забезпечення нафтопроводу ВСТО // Трубопровідний транспорт нафти. - 2003. - №8. - с. 31-34

2. Крупник А. А., Садовий А. В., Тищенко Н. Т., Волянський Р. С. Модель газотранспортної системи як об'єкта керування. // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки) – Дніпродзержинський державний технічний університет. -2009. -С. 152 –158.

3. Насоси нафтові магістральні. - Суми: Насосенергомаш, 2002. - 2 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Сотнік О. В., к.т.н., доц. e-mail: [sotnikolga11@btu.kharkiv.ua](mailto:sotnikolga11@btu.kharkiv.ua)  
Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Електричні приводи (ЕП) є найбільшими споживачами електроенергії у світі, на їх частку припадає біля 70 % всієї виробленої енергії [1, 2]. Основний елемент ЕП є електричні двигуни (ЕД), вони використовуються у всіх галузях: у промисловості, сільському господарстві, для побутових потреб тощо. Найпоширенішими на сьогоднішній день, через їх простоту конструкції та дешевизну, є асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором (КЗ). До того ж ККД АД вище, ніж у двигунів інших типів та досягає 95 %. Через широкий спектр використання ЕП з АД, постає питання ефективного їх використання. Енергоефективні ЕД, це такі АД з КЗ, в яких за рахунок збільшення маси активних матеріалів, їх якості, а також за рахунок спеціальних прийомів проектування вдається підняти на 1-2% (потужні двигуни) або на 4-5% (невеликі двигуни) номінальний ККД при деякому збільшенні ціни двигуна, вони володіють підвищеною надійністю, більш низькими показниками по шуму і вібрації [2]. Тому, дослідження енергоефективності ЕП з АД є актуальним, а задля всебічного огляду питання, треба розглядати енергоефективність в цілому в ЕП. Комплекс заходів для ЕП: в ЕД, в перетворювачах частоти (ПЧ), в пускачах двигунів – це оптимальне поєднання для максимального підвищення енергоефективності. Застосування енергоефективних ЕП дозволить більш раціонально використовувати енергетичні ресурси, заощаджувати на фінансах, а якщо дивитись в цілому, то даний захід допоможе скоротити викиди парникових газів у світі.

**Мета дослідження.** Аналіз шляхів підвищення енергоефективності електричних приводів з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.

**Основні матеріали дослідження.** Питання енергозбереження у ЕД та і в цілому в ЕП виникли ще від початку винаходу ЕД. Трифазний АД, винайдений Михайлом Доливо-Добровольським 1889 році, показав ККД 95%. З того часу показники ККД трифазного АД вдалося покращити лише на один-два відсотки. Подорожання вартості енергоносіїв відбувається з кожним роком і вже стало світовим трендом. Тому гостро стоїть інтерес до енергозберігаючих технологій.

Відповідно до проведених авторами досліджень, ціна двигуна становить менше ніж 2% сумарних витрат на життєвий цикл. Так, якщо двигун працює 4000 годин щорічно протягом 10 років, то на електроенергію припадає приблизно 97% всіх витрат на весь життєвий цикл. Ще близько одного відсотка припадає на монтаж та ТО. Тому збільшення ККД двигуна середньої потужності на 2% дозволить окупити збільшення вартості енергозберігаючого АД вже за 3 роки, залежно від режиму роботи [2].

Світове суспільство намагаючись привернути увагу до даної проблеми розробляє спонукаючі заходи. Таким заходом є розроблення нових стандартів зокрема, стандарт ІЕС 60034-30-1 [3-5] регламентує енергоефективність одношвидкісних ЕД змінного струму, що живляться від мережі. Для ЕД зі змінною швидкістю, діє стандарт ІЕС 60034-30-2 [3-5]. В Україні діють вітчизняні стандарти ДСТУ EN 60034-30-1:2022 та ДСТУ CLC ІЕС/TS 60034-30-2:2022. Відповідно нових стандартів є система класифікації ЕД змінного струму, де є п'ять рівнів енергоефективності [3-5]: ІЕ1 – стандартна ефективність; ІЕ2 – висока ефективність; ІЕ3 – преміальна ефективність; ІЕ4 – супер преміальна ефективність; ІЕ5 – ультра преміальна ефективність. Відповідно до регламенту ЄС640/2009 з 1 липня 2021 р. енергоефективність трифазних ЕД з номінальною потужністю від 0,75 кВт до 1000 кВт, за деякими виключеннями, має відповідати класу ефективності ІЕ3 або вище. А вже з 1 липня 2023 р. набув чинності третій етап європейських правил екодизайну для двигунів – (ЄС) 2019/1781 та (ЄС) 2021/341 – енергоефективність трифазних ЕД з номінальною вихідною потужністю від 75 кВт до 200 кВт повинна буде відповідати класу ІЕ4 або вище [3-5].

Для підвищення енергоефективності потрібно розглядати систему ЕП як єдине ціле та обирати оптимальне рішення. У багатьох випадках застосування пускачів ЕД залишається найефективнішим рішенням енергоспоживання. В ЕП, що мають постійну швидкість обертання, застосування пускачів є актуальним, також це відноситься і до систем де швидкість є фіксованою, а навантаження можуть бути різними. Як відомо, в момент пуску кратність пускового струму в АД перевищує номінальне значення в середньому 5-7 разів, хоч час розгону не триває довго, але подання повної напруги призводить до виникнення високого пускового струму та струму перевантаження з руйнівними падіннями напруги в електромережі та потужними імпульсними моментами в механічних компонентах. Зокрема це стосується систем з ЕД класу ІЕ3 або ІЕ4, оскільки пусковий струм у такого обладнання вищий, ніж у стандартних АД.

Пускачі двигунів, своєю чергою, також мають бути здатні витримувати високий пусковий струм для уникнення випадкового розмикання та передчасного зносу. Проте якщо потрібна змінна швидкість, ефективнішим варіантом зазвичай є ПЧ. Вони дозволяють досягти найбільшої економії енергії в машинах і системах, де залежність між швидкістю й моментом є не лінійною, а квадратичною, як у відцентрових насосах або вентиляторах. Ключовим фактором енергозаощадження є наявність кубічної залежності між швидкістю й потужністю (наприклад, коли насос, що працює зі швидкістю 50 % від максимальної, споживає лише 1/8 потужності, яка потрібна за максимальної швидкості). При цьому навіть незначне зменшення швидкості призводить до суттєвої економії енергії. За таких обставин, для економії слід використовувати лише ПЧ, призначені для експлуатації з двигунами класів ІЕ3 та ІЕ4. Для трифазних АД співвідношення активного та індуктивного опору з підвищенням класу енергоефективності змінюється, що, своєю чергою, веде до зміни векторів струму. Застосування ПЧ, не оптимізованих для двигунів класу ІЕ4, може мати певні негативні ефекти. В найгіршому випадку двигун взагалі не запуститься, а навіть у разі запуску може працювати із шумом, відсутністю плавності та належного електромагнітного моменту. В деяких випадках навіть можуть спрацювати захисні механізми, що допомагають уникнути пошкодження двигуна чи приводу. Наприклад, у випадку з трифазним АД система захисту може виявити коротке замикання й зупинити весь агрегат, хоча насправді жодної проблеми немає. Лише шляхом адаптації відношень опорів та правильної реакції системи керування можна забезпечити надійну роботу в усьому діапазоні швидкості, навіть за умов змінного навантаження.

**Висновок.** Для виходу на максимальний рівень енергоефективності необхідно проаналізувати всю приводну систему. Лише належне поєднання енергоефективних АД і правильно підібраних пускачів чи ПЧ дозволить створити рішення, що стане енергоефективним і водночас економічним.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сотнік О. В., Величко І. А., Сотнік О. В. Теоретичне обґрунтування запасу потужності асинхронних двигунів електропривода сільськогосподарських машин. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Вісник ХНТУСГ. Х.: ХНТУСГ. 2018. Вип. 195. С. 130 –131.

2. Gundabattini, Edison, Kuppan, Ravi, Solomon, Darius Gnanaraj, Kalam, Akhtar, Kothari, DP and Abu Bakar, Rosli A review on methods of finding losses and cooling methods to increase efficiency of electric machines / Ain Shams Engineering Journal, 2021. 12 (1). pp. 497-505. ISSN 2090-4479

2. IEC60034-2-1, 2nd Ed.: Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard method for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), 2013.

3 IEC60034-30, 1st Ed.: Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code), 2008.

4. Дзеніс С., Шайда В., Юр'єва О. Шляхи подолання бар'єру при переході асинхронних двигунів до класу енергоефективності ІЕ5 / Вісник НТУ «ХП». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика, 2024. № 1 (11), С. 60–67. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2024.1.11>



## ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ VPS-СЕРВЕРІВ ДЛЯ РОЗВИТКУ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА КАФЕДРІ НТУ «ХПІ»

Ткаченко А. О., к.т.н., e-mail: [andrii.tkachenko@khp.edu.ua](mailto:andrii.tkachenko@khp.edu.ua)

Осичев О. В., к.т.н., доц., e-mail: [oleksandr.osychev@khp.edu.ua](mailto:oleksandr.osychev@khp.edu.ua)

Орехов О. В., магістр, e-mail: [oleh.oriekhov@ieee.khp.edu.ua](mailto:oleh.oriekhov@ieee.khp.edu.ua)

Мірошніченко А. С., магістр, e-mail: [artem.miroshnychenko@ieee.khp.edu.ua](mailto:artem.miroshnychenko@ieee.khp.edu.ua)

Кравченко Є. С., магістр, e-mail: [yevhenii.kravchenko@ieee.khp.edu.ua](mailto:yevhenii.kravchenko@ieee.khp.edu.ua)

Овечкін В. Р., магістр, e-mail: [vadym.oviechkin@ieee.khp.edu.ua](mailto:vadym.oviechkin@ieee.khp.edu.ua)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** Актуальність теми обумовлена потребою ефективного проведення лабораторних занять для студентів ВНЗ в умовах дистанційного навчання та необхідністю фундаментального розширення асортименту наявних онлайн лабораторних робіт [1,2]. Одночасно, по закінченню періоду дистанційного навчання та при переході до офлайн-режиму майже гарантовано буде період адаптації матеріальної бази лабораторій кафедри до повноцінного функціонування у зв'язку з оновленням апаратної та програмної частини обладнання, що дещо застаріло та не працювало кілька років, в тому числі і в умовах неопалювального зимового сезону з прогнозуванням відсутності фінансування.

**Мета досліджень.** Показати можливості використання доступних віртуальних серверів для модернізації наявної технічної бази лабораторій ВНЗ.

**Основні матеріали досліджень.** Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє ввести в навчальний процес віртуальні сервери VPS (virtual private server) для дистанційного навчання та практичної підготовки студентів у галузі технічних наук. VPS-сервер надається в оренду під встановлення операційної системи та розміщення програмного забезпечення. В залежності від вартості від 3\$ до 30\$ на місяць є можливість обирати кількість потрібного місця на SSD дисках в межах 10÷200GB, виділену оперативну пам'ять в межах 2÷32GB, кількість процесорів в межах 1÷4. Постійний віддалений доступ забезпечується в режимі 24/7, швидке інтернет-з'єднання зі швидкістю 500 Mbps. Можливість встановлення різних ОС та будь-яких програм забезпечила нам успішне використання VPS-серверу на кафедрі «Автоматизовані електромеханічні системи» НТУ «ХПІ» в лабораторії мікропроцесорних електроприводів на базі обладнання фірми SIEMENS. В тому числі було розроблено та впроваджено в навчальний процес 10 лабораторних робіт [3,4].

Мікропроцесорна лабораторія складається з десяти лабораторних стендів, присвячених вивченню асинхронних та синхронних електроприводів MICROMASTER 440, SIMOVERT, SINAMICS G120/S120 та промислових мереж AS-interface, PROFIBUS і Ethernet. Персональні комп'ютери мікропроцесорного класу об'єднані в локальну мережу та мають вихід до Інтернету. У складі стендів з мережевим обладнанням є комунікаційні процесори для зв'язку комп'ютера з програмованим логічним контролером (PLC) SIMATIC S7-300 по мережам MPI, PROFIBUS та Ethernet. Зв'язок PLC з панелями оператора здійснюється через мережу PROFIBUS, так само як зв'язок контролерів зі станціями розподіленого введення-виведення ET200M, укомплектованими сигнальними модулями SIMATIC. Зв'язок PLC із пристроями мережі AS-interface здійснюється за допомогою модулів зв'язку DP/AS-Link. Як провідні пристрої мережі AS-interface використані логічні реле LOGO! Таким чином, конфігурація стендів відображає основні рівні багаторівневої комунікації в задачах та системах автоматизації.

Для вирішення завдань візуалізації технологічних процесів використовується промислове програмне забезпечення SIMATIC, а саме стандартний інструментальний засіб проектування STEP7 та засіб HMI (Human Machine Interface) людино-машинного інтерфейсу WinCC. Дані пакети інстальовані на VPS-сервері з віддаленим доступом для студентів.

Маючи у розпорядженні встановлене та налаштоване ліцензійне програмне забезпечення, у відповідності до завдання студент виконує основні етапи лабораторних робіт:

1. Створення нового проекту в пакеті STEP7;
2. Вибір інтерфейсу зв'язку ПК та PLC;
3. Конфігурування обладнання стенду;
4. Завантаження конфігурації в PLC;
5. Створення блоків даних у відповідності до завдання;
6. Визначення символів;
7. Розробка програмного забезпечення на стандартних мовах LAD, STL, FBD;
8. Завантаження програми в PLC та перевірка її виконання;
9. Параметрування електроприводів за допомогою програми DriveMonitor та STARTER;
10. Скидання перетворювачів на заводські уставки;
11. Швидке параметрування перетворювачів;
12. Запуск перетворювача на режим автоматичної ідентифікації параметрів двигуна;
13. Організація зв'язку перетворювача з PLC по мережі PROFIBUS;
14. Створення нового проекту в пакеті WinCC;
15. Конфігурування мережі;
16. Визначення тегів процесу;
17. Створення екрану процесу, встановлення зв'язку об'єктів з тегами;
18. Запуск WinCC Runtime, перевірка виконання проекту візуалізації.

Таким чином, використання VPS-серверу в лабораторному практикумі дає змогу не обмежувати перелік завдань, які традиційно виконувались студентами при офлайн-навчанні та, водночас, не знаходитись в залежності від цілого ряду зовнішніх для кафедри факторів, що можуть легко розвалити увесь навчальний процес (наявність інтернету, електрики, фінансування для оновлення апаратної бази та ліцензійного програмного забезпечення, наявність апаратних засобів у продажу, можливість налагодження усього комплексу лабораторії, ціна на електроенергію, загострення бойових дій та ін.). Крім того, для студента, як і для викладача, можливість виконувати та перевиконувати роботи в режимі 24/7 є дуже комфортними, оскільки студенти можуть знаходитись наразі в складно прогнозованих умовах.

**Висновок.** Викладені матеріали підтверджують практичну можливість використання віртуальних серверів для відтворення та підвищення ефективності навчального процесу за рахунок зростання комфортності та зацікавленості студентів в якісному засвоєнні його матеріалів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Осичев О. В. Про динаміку сутності та форм навчального процесу у ВТНЗ (1993-2013 роки) // Deutschland: LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 81 с.
2. Осичев О. В., Толочка Д. А., Ткаченко А. О. Лабораторія віддаленого доступу: перші кроки студентів-електромеханіків // Монографія ISBN 978-3-659-77564-2. – Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing / OmniScriptum GmbH & Co.KG. – 2015. – 108 с.
3. М. Anishchenko, А. Osychev, V. Shamardina, А. Timoshchenko, А. Tkachenko. Electromechanics: distance learning and remote labs. Kharkiv: «Planeta print». 2016. – 120 p.
4. Аніщенко М. В., Тимошенко А. В., Ткаченко А. О. Створення віддаленої лабораторії на кафедрі «Автоматизовані електромеханічні системи» Національного технічного університету «ХПІ» Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, Ч.ІІ (18-20 травня 2016 р., Харків)/за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків, НТУ «ХПІ». – 343 с.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА  
В МОБІЛЬНИХ РОБОЧИХ МАШИНАХХандола Ю. М., к.т.н., доц., e-mail: [xandola@ukr.net](mailto:xandola@ukr.net)Гузенко В. В., к.т.н., доц., e-mail: [hnaghv@btu.kharkov.ua](mailto:hnaghv@btu.kharkov.ua)Корольов А. О., аспірант, e-mail: [andrey.korolew.3497@gmail.com](mailto:andrey.korolew.3497@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Складна економічна обстановка стимулює розширення виробництва у фермерських та присадибних господарствах, які виробляють сільськогосподарської продукції до 30 %, від загального обсягу в Україні. Останнім часом значно зросла кількість приватних сільськогосподарських підприємств з невеликою площею земельних ділянок, обмеженою кількістю тварин та птиці, в яких використовується ручна праця і використання потужної техніки економічно недоцільно. Для того щоб досягти високої рентабельності та полегшити фізичну роботу, необхідно розширювати напрямки використання мобільних робочих машин з використанням електропривода. Тому потрібні різні машини, агрегати та комбіновані установки потужністю електричного двигуна від 0,1 до 7,0 кВт. Проведений аналіз існуючої номенклатури мобільних робочих машин звертає увагу на необхідність розробки багатофункціональних електроприводів, у яких один електродвигун обслуговує до 3 робочих машин та механізмів, що дає істотні переваги, але потребує вирішення деяких технічних задач.

**Мета досліджень.** Формування узагальнених вимог до технічних характеристик мобільних машин для фермерських господарств.

**Основні матеріали досліджень.** В основному, мобільні засоби малої механізації мають привод від двигунів внутрішнього згоряння, однак останнім часом розширюється номенклатура машини з електроприводом. За своїми характеристиками вони нічим не поступаються мотоблокам та мотокультиваторам, а за деякими їх перевершують. Конструкція електрифікованих машин складається з рами, електродвигуна, кабелю, редуктора, апаратури управління та робочих органів. В малопотужних електроприводах низької продуктивності застосовують акумуляторні батареї, але такі машини використовують як правило для короточасної роботи на невеликих площах або в якості ручних інструментів. Груповий електропривод складається з одного електродвигуна і невеликої трансмісії, яка надає руху одночасно групі робочих машин. Переваги застосування групового електропривода полягають у скороченні кількості електродвигунів, пуско-захисної апаратури, електропроводки. Недоліком групового електропривода є те, що при роботі окремих робочих машин, електродвигун виявляється недовантаженим і значення його ККД і коефіцієнта потужності різко знижуються, крім цього в трансмісійних передачах важливі втрати енергії. При виході з експлуатації електродвигуна простоюють всі машини. Внаслідок цих недоліків груповий електропривод втратив своє практичне значення.

Для збільшення часу використання машин і кількості операцій, на деяких машинах передбачений швидкознімний двигун, який можна використовувати в іншому електроустаткуванні. Крім цього ведуться розробки універсального деревообробного верстата, обприскувача, снігоочисника та деяких інших машин. Для обробки відкритих та закритих ґрунтів в садах та присадибних ділянках використовують електрокультиватори таких фірм, як *Daewoo*, *Einhell*, *Greenworks*, *Grunfeld*, *Iron Angel*, *RYOBI* - це агрегати для оранки ґрунту на невеликих ділянках, вони оснащені електричними двигунами напругою живлення 220 В і потужністю від 1360 до 2500 Вт.

Відомі аератори та скаріфікатори застосовують для обробки газонів, щоб пухка земля насичувалась повітрям, вогкістю і органікою, а також для ущільнення ґрунту. Випускаються фірмами *AL-KO*, *ALPINA*, *Gardena*, *Husqvarna*, *Makita*, *Solo by*, *STIGA* електричними двигунами напругою живлення 220 або 380 В та потужністю від 500 до 2500 Вт.

Газонокосарки та гілкоподрібнювачі випускає велика кількість фірм: *Agrimotor, AL-KO, Alpina, Allett, Black&Decker, Bosch, Cedrus, DAEWOO, FAWORYT, FORTE, Gardyer, Gartner, Greenworks, Grizzly, Grunhelm, HANDY, Hecht, Honda, Husqvarna, Hyundai, ISKRA, Ikra Mogatec, Iron Angel, Konner&Sohnen, Kraft&Dele, MTD, Makita, NAC, Oleo-Mac, Powermat, ProCraft, RED TECHNIC, Stark, TEXAS, TORO, Tekhmann, VARI, VITALS, YATO.*

В садах та тепличних господарствах, для догляду за рослинами, застосовують електрообприскувачі, які виробляються фірмами *Oleo-Mac, North Star, Agrimotor*, з малопотужними електродвигунами від 200 до 1000 *Вт*, напругою живлення від акумуляторів 12-24 *В* або мережі 220 *В*.

Незамінними машинами для прибирання на подвір'ї слугують пирососи-повітродувки, пирососи-подрібнювачі та очищувачі плиткових швів, від виробників *Greenworks, Iron Angel, RYOBI, Vitals, Einhell*, з електродвигунами від 600 до 3000 *Вт*, напругою живлення від акумуляторів 12-24 *В* або мережі 220 *В*. Широкого розповсюдження набувають електричні снігоприбирачі відомих марок *Al-ko, Forte, HECHT, Hyundai, Intertool, Iron Angel, Stiga*. Вони оснащені електричними двигунами напругою живлення 220 *В* та потужністю від 1360 до 2500 *Вт*.

Тобто, виникла необхідність у створенні мобільних машин з електроприводами які повинні відповідати сучасним вимогам з естетичного оформлення, мати безпечне виконання та високі техніко-економічні показники, а саме:

- за умовами безпеки залежно від умов експлуатації відповідати трьом класам захисту I, II, III. Електробезпека в машинах класу I - заземлення металевих частин, що нормально не знаходяться під напругою; у машинах класу II - за рахунок застосування подвійної чи посиленої ізоляції; в машинах класу III - використанням високочастотних асинхронних двигунів з безпечним живленням (до 42 *В*);

- за впливом кліматичних факторів відповідати виконанню УХЛ1, для роботи в районах з помірним і холодним кліматом при експлуатації на відкритому повітрі при температурах від мінус 40 до плюс 40 °С;

- за способом охолодження: IC00 або IC01 – закриті, з природним охолодженням або самовентиляцією;

- мати невисокий рівень шуму та забезпечувати вібробезпеку, яка досягається обмеженням коливальних навантажень та пасивною віброізоляцією;

- мати низьку вагу, що досягається зменшенням маси електромеханічних модулів (двигун-редуктор) та застосуванням корпусних пластмасових деталей;

- забезпечити надійність роботи у важких умовах експлуатації, пов'язаних з режимами частих пусків і перевантажень робочих органів агрегатів аж до повної зупинки;

- забезпечити максимальну простоту та надійність пристроїв захисту та сигналізації робочих і аварійних режимів, через низьку кваліфікацію обслуговуючого персоналу;

- мати високі значення ККД та коефіцієнта потужності для підвищення енергозбереження.

**Висновок.** Розробку конкурентоспроможних машин малої електромеханізації та їхнього електрообладнання з високими експлуатаційно-технічними та енергетичними характеристиками можна досягти за рахунок застосування високоякісних асинхронних двигунів з управлінням на сучасній елементній базі, які будуть виконувати декілька технологічних операцій.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Синявський О. Ю. Електропривод і автоматизація: навчальний посібник / О. Ю. Синявський, П. І. Савченко, В. В. Савченко, Ю. М. Лаврінченко, І. П. Ільчов, Ю. М. Хандола. Київ: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.

2. Осташевський М. О. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. Харків: ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.

3. [https://www.motoblok.biz/ru/catalog/9/motokultivatory/f/tip-pitaniya\\_\\_ot-seti.html](https://www.motoblok.biz/ru/catalog/9/motokultivatory/f/tip-pitaniya__ot-seti.html)

## СЕКЦІЯ 4. БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.3 17

### METHODS FOR MEASURING THE DIELECTRIC CONSTANT OF OBJECTS

Natalia Kosulina, Doctor of Technical Sciences, Prof., e-mail: [konatgen@ukr.net](mailto:konatgen@ukr.net)

State Biotechnological University

Evstatiev Boris, PhD, Prof., e-mail: [bevstatiev@uni-ruse.bg](mailto:bevstatiev@uni-ruse.bg)

"Angel Kunchev" University of Ruse, 8, Studentska str. 7017-Ruse. Bulgaria

**Relevance of the study.** Professionals in many industries want to better understand the properties of the materials they work with, as this can help shorten design cycles, improve incoming inspection, process monitoring and quality control. Each material has a unique set of electrical parameters that depend on its dielectric properties. Accurate measuring these parameters can provide engineers with valuable information to make the best possible use of these materials in devices under development or to control manufacturing processes to ensure higher quality. Measuring the characteristics of dielectric materials can provide very important information for many technologies. For example, cable insulation loss, substrate resistance or dielectric resonator frequency are directly related to dielectric properties. New technologies in the aerospace, automotive, food, medical and agricultural industries can also benefit from the knowledge of dielectric properties. Table 1 shows the possible applications of dielectric constant data. Dielectric constant (DC) measurements are widely used in a variety of technologies. Table 1 shows examples of applications from various industries.

**Table 1. Examples of applications for measuring DC of materials**

Industry	Products
Electronics	Capacitors, substrates, printed circuit boards, printed antennas, ferrites, magnetic recording heads, radiation absorbers, masking materials, sensors
Defense industry	Radiation-absorbing coatings, radiation-absorbing materials, antenna fairings
Industrial materials	Ceramics and composites: IP enclosures, aerospace and automotive components, cement, coatings, bioimplants Hydrogel: disposable, absorbent nappies, soft contact lenses. Liquid crystals: displays. Rubber, semiconductors and superconductors.
Food processing and agriculture	Food storage (spoilage) research, food development for microwave chains, packaging, moisture measurement
Forestry and mining	Wood or paper moisture measurement, oil content analysis
Pharmaceuticals and medicine	Drug research and production, bioimplants, human tissue measurement, biomass, chemical concentration, fermentation

**Objective of the study.** Analysis of methods for measuring DC, their capabilities and features.

**Main research materials.** The choice of the most appropriate measurement method is determined by many factors, such as accuracy, convenience, shape and type of material. Table 2 shows a list of the most important factors: frequency range; expected values of  $\epsilon_r$  and  $\mu_r$ ; required measurement accuracy; material properties; type of material; sample size limitations; destructive or non-destructive method; contact or non-contact method; temperature and cost.

Therefore, when choosing a method for measuring DC, it is necessary to know the possible properties of the material under study and the features of the method for measuring DC. Thus, to obtain the wood DP spectra and obtain the moisture dependence for different coniferous species, the resonance measurement technique was used. Rectangular multimode resonators of three sizes  $58 \times 25 \times 480 \text{ mm}^3$ ,  $35 \times 15 \times 450 \text{ mm}^3$ , and  $23 \times 10 \times 250 \text{ mm}^3$ , covering the range of 3...12 GHz, were used as a measuring cell. The resonator was connected to the microwave path of the Agilent Technologies E8363B circuit of vector analyzer through a capacitive diaphragm. The other end of the resonator was shorted. The wood sample was placed in the hole in the middle of the wide wall of the resonator, with the wood fibres parallel to the electric field lines.



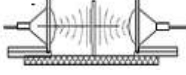
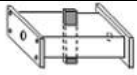


The frequency dependences of the real part of DC of wood of five species for two values of weight moisture content are shown in Fig. 1.

It can be seen that the values for conifers are relatively close to each other, in contrast to the values for birch. The dependence of the real part of DC on the weight moisture content for two birch

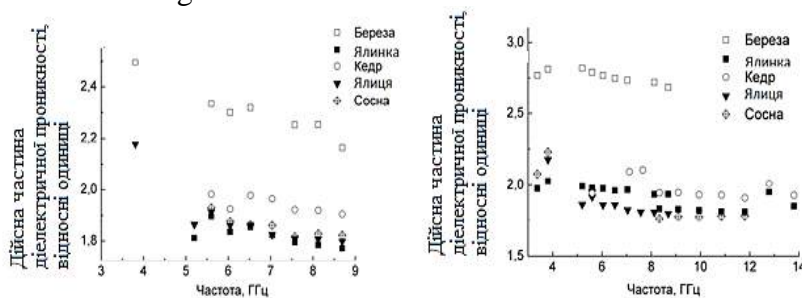


specimens differing in the place of growth is shown in Fig. 2, a. ‘Upper birch’ is the name given to a tree that grew on a hill, on light loamy soils, its wood is light. The ‘lowland birch’ grew in a low marshy area, and its wood has a dark brown hue on the outside. This is because the soil of low-lying areas contains many mineral salts.

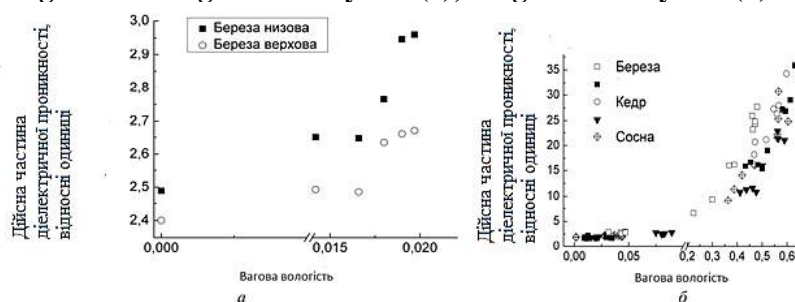
**Table 2. Comparison of the main methods of measuring DC**

Coaxial probe $\epsilon_r$		Wideband, user-friendly, non-destructive. Good for high-loss materials, liquids and powdery substances
Transmission line $\epsilon_p$ and $m_r$		Broadband. Good for high-loss, solids handling materials
Free space $\epsilon_p$ and $m_r$		Wideband, non-contact. Good for sheet materials, powders and high temperatures
Volume resonator $\epsilon_r$		Single frequency, accuracy. Good for low-loss materials and small samples
Parallel plates $\epsilon_r$		Accuracy. Good for low frequencies and thin sheet materials
Inductance measurement $\mu_r$		Accuracy. Good for low frequencies and thin sheet materials

These differences in the origin of trees of the same species are also evident in the value of DC. The results of the study show that the mineral composition of the moisture absorbed by the tree plays a greater role than the structure of the wood. The moisture dependence of the real part of DC for five wood species is shown in Fig. 2, b. It can be seen that the rate of increase of DC values is not the same. It increases with increasing moisture content.



**Figure 1 – Weight humidity 0.01(a); weight humidity 0.03(b)**



**Figure 2 – Frequency 3.807 GHz (a); frequency 5.2 GHz (b)**

**Conclusion.** Methods for measuring DC of objects are diverse, so when choosing a particular method, it is necessary to know the possible properties of the material under study and the features of the method. Thus, to measure DC, the resonator method was chosen to obtain the DP spectra of wood and obtain the moisture dependence for different coniferous species, taking into account the dielectric properties of wood and reducing the measurement error.

#### LIST OF REFERENCES

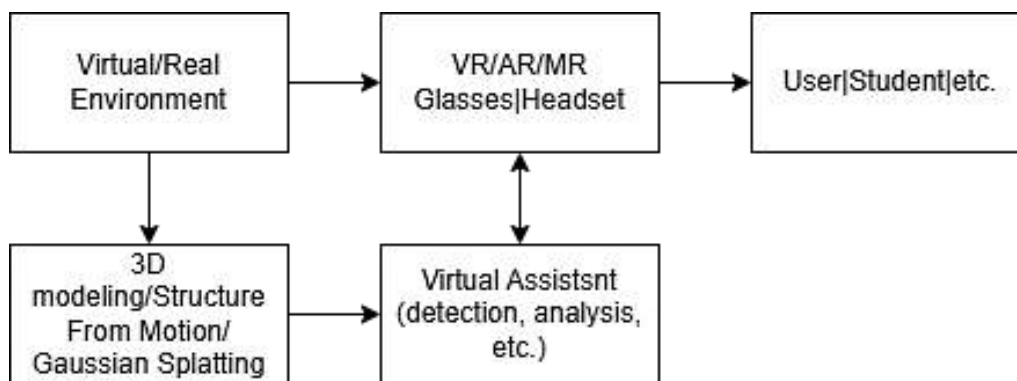
1. Диэлектрическая проницаемость хвойных пород древесины в диапазоне частот 3 – 12 ГГц / Т. Д. Кочеткова, В. И. Суслиев, С. И. Волчков / Вестник СибГАУ. № 5(51). 2013. – С. 101 – 104.

## CREATION OF A VIRTUAL TRAINING CRYOLABORATORY

A. Lytvyn, e-mail: [anastasiia.lytvyn@nure.ua](mailto:anastasiia.lytvyn@nure.ua)M. Tymkovych, PhD, e-mail: [maksym.tymkovych@nure.ua](mailto:maksym.tymkovych@nure.ua)O. Avrunin, D.Sc., professor, e-mail: [oleh.avrunin@nure.ua](mailto:oleh.avrunin@nure.ua)

Kharkiv National University of Radioelectronics

**Research relevance.** Innovative approaches in education are becoming increasingly important in the context of rapid advancements in science and technology. One of the critical aspects of the modern educational process is the use of 3D visualization technologies, which open up new horizons in the field of learning, especially in technical and natural sciences. In biomedical engineering, which combines medical and engineering knowledge, 3D visualization provides a unique opportunity to model complex processes and structures, such as anatomical organs, cellular systems, and biological processes. This is of great significance in the context of creating virtual laboratories, particularly educational cryolabs. Access to specialized laboratory equipment can be limited due to current realities such as the pandemic, political situations in the country (including war or active combat), and insufficient funding (stemming from poor financing or the overall financial situation of the country). This necessitates the implementation of remote learning models, visual guidance, and the effect of personal presence using 3D technologies to replicate laboratory practice [1].



**Figure 1 – A generalized diagram of user interaction with a virtual assistant [1]**

**Research goal.** The research aims to develop a deep learning convolutional model for a cryolab using Convolutional Neural Networks, a powerful tool for object detection. This virtual assistant has accurately identify objects, analyze their states, provide students with the necessary information for successful experimentation, and help train safety techniques. The system must be compatible with mixed, augmented, and virtual reality platforms (Apple Vision, Meta Quest 3).

**Main research materials.** For the project, a Canon EOS M50 Mark II was used to capture photos (6000x4000, 24MP) and videos (1280x720) in RGB color space, with a DJI Ronin SC stabilizer for steady shooting. To optimize neural network training, frame-by-frame images were taken at the highest frame rate without duplicates, accurately capturing the contours and details of devices. Data collected includes 400 photos and 10 videos of equipment at the Leibniz University Hannover's Institute for Multiphase Processes, with a balanced dataset enabling accurate detection and classification. 80% of the data was used for training and 20% for testing. Images were annotated in Labelme [2], creating around 100 instances per each of the 11 object classes. The dataset, structured in COCO-style JSON annotations, includes image paths, dimensions, IDs, and annotations with bounding boxes, labels, and segmentation masks (polygons or RLE). Using this data, multiple convolutional neural network models were trained in Detectron2 [3] to detect and classify equipment from various distances and angles. The RCNN models were compared based on Total Loss,

Classification Loss, False Negative Rate, and Training Time. The most relevant model, faster\_rcnn\_R\_101\_FPN\_3x, was selected for further work. Using Detectron2 and PlayCanvas [4], a virtual environment was created to replicate the cryolab.



**Figure 2 – Result of equipment detection in the recreated virtual environment**

**Conclusion.** Data was collected from 400 photos and 10 videos, and three object detection models based on the R-CNN architecture were trained using the Detectron2 framework. Their strengths and weaknesses were identified by comparing the models using metric data. Consequently, suitable areas for the use of these models were forecasted. The created system accurately reflects the working environment. As a virtual assistant, it is highly effective in offering guidance during standard cryo lab procedures. Moreover, the results suggest that this technology holds promise for integrating mixed, augmented, and virtual reality platforms, like Apple Vision and Meta Quest 3, for educational purposes.

**Fundings.** This study was supported by funding for the promotion of partnerships with universities in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia (“Eastern Partnerships”) by the German Academic Exchange Service (DAAD).

#### LIST OF REFERENCES

1. Lytvyn A., Posokhova K., Tymkovich M., Avrunin O., Hubenia O., Glasmacher B. (2024). Object detection for virtual assistant in cryolaboratory based on Detectron2 framework. IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering.
2. K. Wada, "Labelme: Image Polygonal Annotation with Python," Zenodo, doi: [10.5281/zenodo.5711226](https://doi.org/10.5281/zenodo.5711226) (date of access: 01.11.2024).
3. Tymkovich, M., Gryshkov, O., Selivanova, K., Mutsenko, V., Avrunin, O., Glasmacher, B. (2021). Application of Artificial Neural Networks for Analysis of Ice Recrystallization Process for Cryopreservation. In: Jarm, T., Cvetkoska, A., Mahnič-Kalamiza, S., Miklavcic, D. (eds) 8th European Medical and Biological Engineering Conference. EMBEC 2020. IFMBE Proceedings, vol 80. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64610-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64610-3_13) (date of access: 01.11.2024).
4. PlayCanvas. URL: <https://playcanvas.com/supersplat/editor> (date of access: 01.11.2024).

DEVELOPMENT OF A BIOTECHNICAL SYSTEM FOR PRE-SOWING PULSED LASER  
IRRADIATION OF SUNFLOWER SEEDS

Orken Mamyrbayev, Professor, e-mail: [morkenj@mail.ru](mailto:morkenj@mail.ru)

Keylan Alimhan, Professor, e-mail: [keylan@live.jp](mailto:keylan@live.jp),

Dina Oralbekova, PhD, e-mail: [dinaoral@mail.ru](mailto:dinaoral@mail.ru)

U. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

Larysa E. Nykyforova, Professor, e-mail: [profnikiforova@gmail.com](mailto:profnikiforova@gmail.com)

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Sergii Pavlov, Professor, e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

Assel Aitkazina, post-graduate student, e-mail: [aitkazina.aseel@gmail.com](mailto:aitkazina.aseel@gmail.com)

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Nurdaulet Zhumazhan, junior researcher, e-mail: [nurdaulet.jj02@gmail.com](mailto:nurdaulet.jj02@gmail.com)

U. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

**Relevance of Research.** Sustainable agriculture demands innovative approaches to maximize crop yield while minimizing environmental impact, making the development of biotechnical systems a critical focus. Pre-sowing treatments are essential in ensuring seed quality, germination rates, and crop productivity, especially for high-value crops like sunflower. Traditionally, chemical stimulants have been used to enhance seed performance, but these can introduce residual chemicals into soil and water systems, leading to environmental degradation and affecting long-term soil health [1]. Pulsed laser irradiation offers a non-invasive, environmentally friendly alternative that utilizes light to stimulate physiological processes within the seed, thereby improving germination without the use of chemicals.

The effectiveness of laser irradiation lies in its ability to activate phytochromes, the light-sensitive molecules that regulate plant growth, especially during the critical germination phase. This process triggers a cascade of growth-promoting reactions that enhance both the speed and quality of germination. However, the ideal parameters for effective pulsed laser treatment—including pulse frequency, energy density, and exposure timing—are not universally established and require precise calibration. By identifying optimal irradiation conditions, this research aims to provide an energy-efficient, reproducible, and safe method for pre-sowing seed treatment. Such an approach holds particular promise for sunflower crops, where quality seeds are essential for high yields and resource-efficient production. Ultimately, this research contributes to sustainable agriculture by developing eco-friendly alternatives to chemical seed treatments, promoting both yield and environmental stewardship [2].

**Purpose of Research.** The main purpose of this research is to determine the optimal parameters for pulsed laser irradiation that enhance the sowing qualities of sunflower seeds. By identifying and refining the specific irradiation settings, this study aims to improve germination rates and seed vigor while reducing the energy inputs required for effective pre-sowing treatments. Another key objective is to design and develop a biotechnical system that can precisely control these parameters in real-time, allowing for consistent, repeatable results across different batches of seeds.

The biotechnical system is intended to be versatile, cost-effective, and adaptable for a range of agricultural scales, from large-scale commercial farms to small-scale operations [3]. This adaptability is crucial in addressing the needs of diverse agricultural setups, enabling a wide range of producers to access advanced seed treatment technology without prohibitive costs. Furthermore, by integrating this system with existing agricultural practices, the study seeks to facilitate the use of sustainable pre-sowing treatments, reducing reliance on chemical stimulants and their associated environmental risks.

**Basic Research Materials.** The research employed artificially aged sunflower seeds to simulate real-world challenges of reduced seed quality. Artificial aging is a technique used to replicate degradation, mimicking conditions where seeds experience decreased vigor and germination rates

due to prolonged storage or suboptimal conditions. By simulating these effects, the experiment aimed to test the effectiveness of pulsed laser irradiation in restoring or enhancing seed quality, making it feasible for use with compromised seed lots [4-5].

A laboratory installation of the type of "spot-line" fiber-optic converter with an interrupting device, such as an obturator, with a constant speed of rotation is used. The relative movement of the transducer and the processed material was carried out in one direction, which greatly simplified the design and increased its reliability. The basis of this device is an Atmel type AT90S2313 microcontroller.

A full factorial experiment was conducted to assess the dependence of the sowing qualities of the seeds (PSYAN) on the parameters of pulsed pre-sowing irradiation.

Variation factors are selected:

$X_1$ - the number of days from irradiation to the beginning of determination of sowing qualities of seeds [6], days;  $X_2$ - number of pulses, pcs. ;  $X_3$ - energy density, mW/cm<sup>2</sup> (Table 1).

**Table 1. Factor variation levels**

Factor	Unit	Levels of factor variation				Sign
		-1	0	+1	$\Delta_i$	
The number of days from the exposure to the beginning of the determination of PYAN	days	3	9	15	6	X1
Number of pulses	thousand pcs.	2	5	8	3	X2
Energy density	mW/cm <sup>2</sup>	0.5	3.25	6	2.75	X3

A plan matrix was constructed for the obtained regression equation (Fig. 9)

$$y_i = B_0 + B_1z_1 + B_2z_2 + B_3z_3 + B_{12}z_1z_2 + B_{13}z_1z_3 + B_{23}z_2z_3 + B_{11}z_1^2 + B_{22}z_2^2 + B_{33}z_3^2$$

The biotechnical system developed for this research integrates a fiber-optic converter connected to a stepper motor controlled by a microprocessor. The motor, operating at a constant speed, allows for uniform laser application across each batch of seeds. This precision setup ensures that seeds receive consistent irradiation, maintaining quality without the risk of overexposure [7]. The system is adaptable for various agricultural scales, from laboratory use to practical field applications, and allows for real-time adjustment of parameters based on seed type and initial quality.

**Conclusion.** This study demonstrates that optimized pulsed laser irradiation significantly enhances sunflower seed germination and quality, providing a sustainable alternative to chemical treatments. The identified optimal parameters—1931 pulses, 3.25 mW/cm<sup>2</sup> energy density, and 8.5 days pre-sowing—resulted in improved seed vitality and comparable quality to higher-grade seeds. The biotechnical system developed ensures precise, reproducible irradiation, adaptable for various agricultural scales. By reducing chemical dependency and supporting efficient, eco-friendly farming



practices, this system represents a practical solution to enhance crop productivity and resilience, contributing positively to sustainable agricultural development.

#### REFERENCES

1. Sayler, GS, Simpson, MI, Cox, CD (2004). Emerging foundations: nano-engineering and bio-microelectronics for environmental biotechnology. *Current Opinion in Microbiology*, 7 (3), 267–273.
2. Stenzel YI Physical and mathematical modeling of thermodynamic methods of diagnosing the state of human health. / YI Stenzel, SM Zlepko, SV Pavlov// *Optical-electronic information and energy technologies*. - Vinnytsia, 2013. - p. 66-72.
3. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, *Comitet Inzynierii Srodowiska PAN*, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2.
4. Titova NV Modeling of thermodynamic methods in biological objects for reproduction in the fishery / NV Titova, YI Stenzel, SV Pavlov, SM Zlepko // *Application of lasers in medicine and biology: materials of the XLVI international scientific and practical conference*, Kharkiv, May 25 - 27, 2017 - Kharkiv: FOP Petrov V. - pp. 137-139.
5. Hay R.K.M., Heide O.M. Specific photoperiodic stimulation of dry matter production in high-latitude cultivar of *Poa pratensis*. *Physiologia Plantarum*, Vol. 57. 135-142, (1983).
6. Dzakovich M. P., Gomez C, Mitchell C. A. Tomatoes Grown with Light-emitting Diodes or High-pressure Sodium Supplemental Lights have Similar Fruit-quality Attributes // *HortScience*, Vol. 50. No. 10, (2015).
7. Mamyrbayev, O., Wojcik, W., Titova, N., Pavlov, S., Oralbekova, D., Aitkazina, A., Zhumazhan, N. (2023). Development of a thermodynamic model for optimization of processes in crop production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (126)), 25–00. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290294>

DETERMINATION OF CT PARAMETERS OF TRABECULAR BONE  
BASED ON THE RESULT OF CT RECONSTRUCTION SIMULATION  
OF A PHANTOM IMAGE OF BONE MICROSTRUCTURE

Philimonov S. O., PhD student, e-mail: [serhii.filimonov@nure.ua](mailto:serhii.filimonov@nure.ua)

Fedurtsia Yu. V., PhD student, e-mail: [yurii.fedurtsia@nure.ua](mailto:yurii.fedurtsia@nure.ua)

Averianova L. O., PhD, Ass. Prof., e-mail: [lilya.averyanova@nure.ua](mailto:lilya.averyanova@nure.ua)

Kharkiv National University of Radio Electronics

**Relevance.** Determining the parameters of bone tissue based on the results of a CT scan is a necessary tool for detecting bone mass loss due to different pathologies as well as evaluation the consequences of radiation treatment of bone metastases.

**Objective.** Evaluation the parameters of human trabecular bone phantom CT-reconstructed images. Investigation of the influence of Radon and Inverse Radon transform on estimation the parameters of trabecular structures on reconstructed phantom image.

**Results.** One of the most important parameters of the trabecular bone is bone volume fraction (bone volume/total volume BV/TV ratio) [1]. The basic method of investigation of the trabecular bone micro-structure is histomorphometry ex vivo [2].

The microscopy image of thin histological slice of bone biopsy specimens [2] was used for creation of the binary phantom trabecular bone image that consists of trabecular lines (white, 255) and background (black, 0) (Fig.1a), ratio BV/TV=0,241 as for normal trabecular bone.

Next MATLAB Simulation of CT-scanning (Radon transform with angle step  $\Delta\theta=1^\circ$ ) was applied for CT scan data acquisition. CT scan acquisition is based on the use of projections data. Projection is mathematically described by linear integrals in the projection direction and is called the Radon integral transform. The 2D Radon transformation of a function is its projection onto an axis along the line  $L$ , which is at a distance  $s$  from the origin of coordinates and is its linear integral:

$$\mathfrak{R}(s, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \theta - y' \sin \theta, s \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

where  $x'$  and  $y'$  are the current coordinates when the gentry is rotated CCW on angle  $\theta$ .

The task of image reconstruction in CT is to restore the function  $f(x,y)$  that would determine what proportion of the total attenuation of X-rays falls on each element of the image. The result of the back projection shows that the obtained values can create certain errors in the future CT image.

Function  $f(x, y)$  is defined by the 1D inverse Fourier transform of the function  $\mathfrak{R}_\phi(\omega, \theta)$  as

$$f(x, y) = \int_0^\pi d\theta \int_{-\infty}^{\infty} |\omega| \mathfrak{R}_\phi(\omega, \theta) \exp[i2\pi\omega(x \cos \theta + y \sin \theta)] d\omega \quad (2)$$

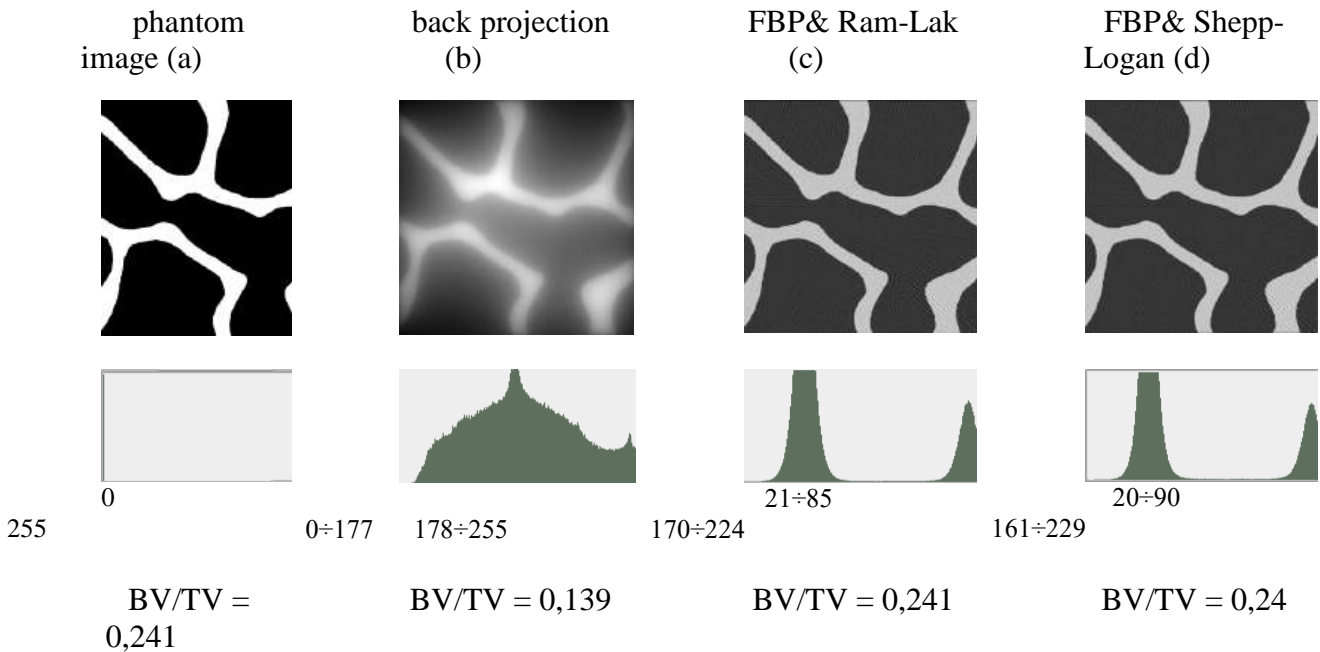
The results of back projection for the phantom image are shown in Fig. 1b, the histogram of the reconstructed image shows the appearance of a wide range of grayscales without clear evidence of bone/background segmenting due to very noisy data. Ratio BV/TV = 0,139 did not correspond to the initial value for the phantom image (value as for rarified bone structure).

To obtain a clearer reconstructed CT image, strengthening the boundaries of the structures on it, the projection data are previously subjected to mathematical filtering (filtered back projection, FBP). The Rama-Lak filter emphasizes higher frequencies, so it often emphasizes noise in images as well. Because of this, various modifications of this filter are used to reduce noise by suppressing the

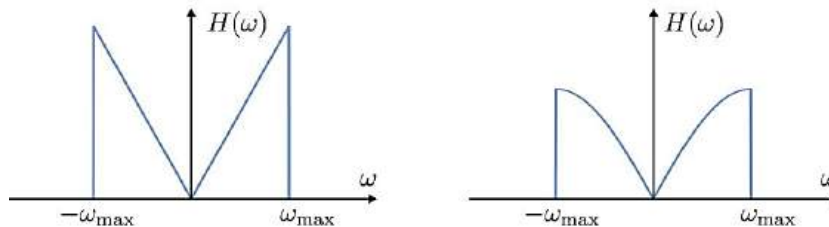
amplification of high frequencies. Standard Shepp-Logan filter applied to very noisy data [3] (Fig. 2).

The results of filtered back projection of the phantom image with use of the Rama-Lak filter (Fig. 1c) and Shepp-Logan filter (Fig. 1d) shows clear segmentation of the bone trabecular lines. The histograms consist of two separated zones for the background and bone.

Despite the discrepancy with the initial histogram and the presence of a different distribution of grayscale values on the image, the ratio BV/TV corresponds to the initial one for the phantom image before reconstruction.



**Figure 1 – Results of bone phantom image reconstruction and histogram analysis**



**Figure 2 - The responses in frequency domain for the Ram-Lak and Shepp-Logan filters**

**Conclusion.** The parameters of human trabecular bone based on analysis of phantom CT-reconstructed images are evaluated. MATLAB Simulation of Radon transform of the bone phantom image and Inverse Radon Transform with Ram-Lak or Shepp-Logan filtering allows accurate BV/CV estimation for the reconstructed phantom image of trabecular bone as predicted for initial image.

#### REFERENCES

1. Jin, D.; Zheng, H.; Yuan, H. Exploring the Possibility of Measuring Vertebrae Bone Structure Metrics Using MDCT Images: An Unpaired Image-to-Image Translation Method. *Bioengineering* **2023**, *10*, 716. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10060716>
2. Kulak CA, Dempster DW. Bone histomorphometry: a concise review for endocrinologists and clinicians. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2010 Mar;54(2):87-98. doi: [10.1590/s0004-27302010000200002](https://doi.org/10.1590/s0004-27302010000200002).
3. Alfred K. Louis. Diffusion reconstruction from very noisy tomographic data. *Inverse Problems and Imaging*, 2010, 4(4): 675-683. doi: [10.3934/ipi.2010.4.675](https://doi.org/10.3934/ipi.2010.4.675)

PULSE CONDUCTOMETRY OF UKRAINE NATURAL WATERS  
IN ELECTRIC FIELD OF RISING STRENGTH

Victor Shigimaga, Dr. Tech. Sc., Prof., e-mail: [biovidoc@btu.kharkiv.ua](mailto:biovidoc@btu.kharkiv.ua)  
Natalia Kosulina, Dr. Tech. Sc., Prof., e-mail: [kosnatgen@btu.kharkiv.ua](mailto:kosnatgen@btu.kharkiv.ua)  
Mariia Chorna, Cand. Tech. Sc., e-mail: [chyornaya.mary@btu.kharkiv.ua](mailto:chyornaya.mary@btu.kharkiv.ua)  
Hennadij Lyashenko, Cand. Tech. Sc., e-mail: [nicegennady@btu.kharkiv.ua](mailto:nicegennady@btu.kharkiv.ua)  
Vitaly Sukhin, Sr. Lecturer, e-mail: [vv.suhin@btu.kharkiv.ua](mailto:vv.suhin@btu.kharkiv.ua)  
Kostiantyn Korshunov, Sr. Lecturer, e-mail: [k.s.korshunov@btu.kharkiv.ua](mailto:k.s.korshunov@btu.kharkiv.ua)  
State Biotechnological University

**Relevance of research.** Among the many physico-chemical methods of analysis, the conductometric method is well-known and widely used. It is based on the measurement of the electrical conductivity of liquid media. The application of conductometry has long become common in various fields of science and production.

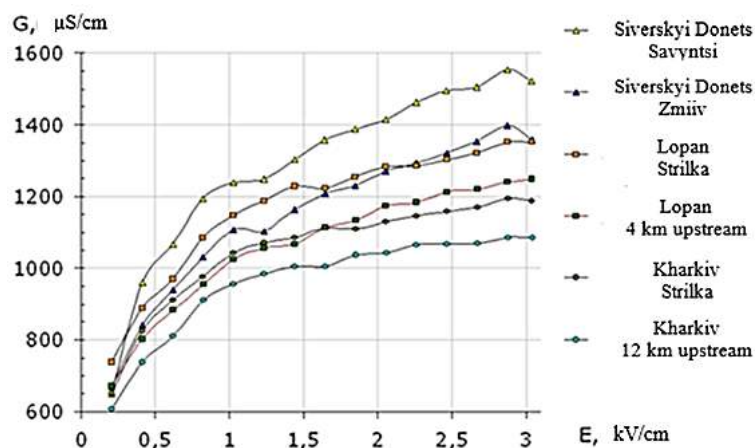
Considering the science of hydrochemistry, it can be confidently stated about the significant role that the measurement of electrical conductivity plays in the analysis of the quality of natural water sources [1-3]. In water bodies that mainly contain soluble mineral compounds (most surface and artesian sources), electrical conductivity is an indicator of the total concentration of inorganic electrolytes [1, 2]. Since electrical conductivity is a cumulative indicator of the content of various dissolved substances in the form of ions in water, measuring this parameter for natural waters will allow assessing both their overall mineralization and the overall pollution with dissolved conductive impurities, mostly of anthropogenic origin [1-3]. As natural waters are the main driving force of many global biological, physico-chemical, geochemical, and geophysical processes on the planet, there arises a need to study their physical properties, particularly conductivity, which in this context acquires special significance as a parameter of environmental monitoring.

**The purpose of research.** Application of the conductometry method and apparatus in a pulsed electric field of rising strength (PEFRS) for measuring the conductivity of natural water from various sources and determining the possibility of their environmental monitoring.

**Basic research materials.** The practical capabilities of traditional conductometry are limited in some cases because the electric field intensity in this method is insignificant (tens of V/cm) and, most importantly, constant. In contrast, as shown by our recent research, conductometry in the PEFRS offers more possibilities, allowing the use of the dependence of the liquid medium's conductivity on the field intensity, which accelerates different types of ions differently [4,5]. Based on this fact, further studies of the pollution of natural water sources will be conducted using the modernized method and apparatus of conductometry in the PEFRS. In this case, the measurement error of the conductivity of natural water will not exceed 3.5 %.

The practical part of the work began with taking water samples from a natural source into disposable Eppendorf tubes with a volume of 1-2 ml with a hermetic lid. Immediately after sampling, the tube lid was closed to exclude contact with air and water evaporation. The obtained data on the electrical conductivity of natural water, depending on the intensity of the electric field, were plotted on a general graph for comparison. All calculations, statistical processing, and graph plotting were performed in Microsoft Office Excel. The obtained results of the electrical conductivity measurements in the PEFRS of natural waters are shown in Fig. 1.

In Fig. 1, the electrical conductivity of water from the main rivers in Kharkiv and the region is presented. Water samples from the Kharkiv and Lopan rivers were taken from the shore near the confluence and upstream within the city limits for each river at the same time. Based on the dependence of the water conductivity of these rivers (upstream – lower, downstream – higher), the impact of the city's environmental conditions can be assessed even over a relatively small section of the flow, considering that several city storm water outlets, enterprises, and residential areas are located here. Moreover, this part is the center of Kharkiv with many city highways with high traffic



**Figure 1 – Conductivity in the PEFII of the water of the Kharkiv and Lopan rivers within the city of Kharkiv and the Siverskyi Donets river 35 and 80 km downstream from Kharkiv**

density. Further in Fig. 1, the electrical conductivity of the water of the Siverskyi Donets river, which carries the waters of the Kharkiv and Lopan rivers, is also presented. Water samples from the Siverskyi Donets river were taken in the area of Zmiiv and downstream in the area of Savyntsi, 35 and 80 km from Kharkiv. From the obtained dependencies of electrical conductivity, it follows that the river waters manage to undergo some self-purification, and downstream of the Siverskyi Donets, it is significantly increased, as the water has passed areas adjacent to the floodplain with developed agricultural and industrial production.

One of the features of the proposed method is that the results of measuring the electrical conductivity of river water integrally reflect only the fact of the presence of conductive pollutants in addition to natural mineralization. To determine the composition and contribution of each ion, it is necessary to apply a differential approach, the description of which is presented in works [4-6].

**Conclusion.** Thus, by measuring the electrical conductivity of river water using the conductometry method in the PEFRS, it is possible not only to track the dynamics of seasonal processes, determine the timing of self-purification and stabilization of its parameters, but also to monitor anthropogenic pollution of rivers downstream, obtain additional information about their physical properties, which can be used in human activities and for assessing its impact on the biosphere.

#### REFERENCES

1. Shigimaga V. A. Izmereniya elektricheskoy provodimosti prirodnyh vod biosfery // Sistemy i ustrojstva okruzhayushej sredy. 2016. № 4. S. 22–28.
2. Shigimaga V., Blagov I., Kalimanova I. Conductometry of natural waters in pulsed electric field with rising strength // Proceedings 30th National scientific symposium “Metrology and metrology assurance 2020” 7-11.09.20, Sozopol, Bulgaria. 2020. P. 1-4.
3. Shigimaga V. O., Kosulina N. H., Chorna M. O., Lyashenko H. A. Sukhin V. V., Korshunov K. S. Ekologichnij monitoring prirodnih vod Ukrayini za providnistyu / XX Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya “Ekologichna bezpeka: problemi i shlyahi virishennya”, Harkiv, UkrNDIEP. 2024. S. 421-428.
4. Shigimaga V. O. Biotehnologichnij kompleks impulsnoyi konduktometriyi i elektromanipulyaciyi z klitinami tvarin: avtoref. disertaciya. d-r. tehn. n.: 05.11.17. Harkiv, 2014. 36 S.
5. Shigimaga V. Pulsed conductometry in a variable electric field: outlook for the development of measurements // Measurement Techniques. 2015. Vol. 57, N 10. P. 1213-1218.
6. Shigimaga V. Conductometry in Pulsed Electric Field with Rising Strength: Bioelectrochemical Applications // Analytical and Bioanalytical Electrochemistry. 2019. 11(5). P. 598-609.



## СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ПСИХОЛОГА

Висоцька О. В., д.т.н., проф., e-mail: [o.vysotska@khai.edu](mailto:o.vysotska@khai.edu)  
Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**Актуальність дослідження.** Сучасний світ – це світ інформаційних технологій, що постійно розвиваються та проникають у всі сфери людського життя, визначають подальший економічний та суспільний розвиток людства. Інформаційні системи та технології, які застосовуються в роботі психолога, органічно доповнюють традиційні засоби, у тому числі, розширюють можливості взаємодії психолога з клієнтами. Арсенал комп'ютерних засобів, які сьогодні доступні психологу досить великий. Однак, розвиток соціальних мереж, персоналізованих помічників, чат-ботів та обчислювальних алгоритмів, примушує замислитись над новими перспективами роботи психолога з використанням сучасних досягнень в галузі інформаційних технологій. Психологу необхідно адаптувати свою роботу до потреб клієнтів, які все більше орієнтуються на новітні інформаційні технології і очікують високої якості надання послуг.

**Метою дослідження** є виявлення новітніх тенденцій та основних напрямків впровадження сучасних інформаційних технологій у професійну діяльність психолога.

### **Основні матеріали досліджень.**

Діджиталізація психології відкриває можливості для реалізації інноваційних підходів, які поєднують штучний інтелект, хмарні обчислення та мобільні пристрої. Хмарні обчислення зменшують витрати на фізичне зберігання даних, підвищують продуктивність і безпеку. Нові методи та технології аналізу даних можуть дозволити аналізувати, розуміти та впливати на поведінку людей (або їхніх цифрових близнюків) на основі їхніх дій в Інтернеті.

Технології Інтернету поведінки (IoB), який визначають як мережу, що розроблена та використовується для відтворення, розуміння, прогнозування та впливу на людську поведінку за допомогою аналітики даних [1], дозволяють створювати персоналізований досвід для клієнтів і точні прогнози щодо майбутньої поведінки, визначати тенденції в поведінці або вподобаннях клієнтів з урахуванням особливостей різних демографічних показників і регіонів.

Мета IoB – фіксувати, аналізувати та розуміти поведінку людей. Збір даних здійснюється за допомогою соціальних мереж, веб-сайтів, тощо. Зібрані дані аналізуються на основі моделей поведінки та вподобань людей з урахуванням соціальних взаємодій, методів та технологій прийняття рішень. Після аналізу даних генеруються висновки.

Відома п'ятирівнева архітектура IoB [2], яка складається з таких рівнів: сприйняття поведінки, поведінкової мережі, поведінкових обчислень, надання послуг і безпеки/конфіденційності. Також визначено чотири важливі наслідки поведінкових обчислень, а саме: висновок про наміри, визначення поведінки, програмування поведінки та оптимізація ланцюжка поведінки. Технологія IoB містить наступні етапи: відстеження поведінки за допомогою пристроїв Інтернету речей (IoT), збір даних, аналіз даних для отримання логічної та структурованої інформації, розуміння інформації для отримання точних знань за допомогою науки про поведінку людини і прогнозування поведінки та вплив на поведінку клієнтів. Крім того, визначено три основні параметри IoB: реальний час, автономність і надійність.

Свій внесок у розвиток сучасної психології вносять системи і технології штучного інтелекту. В найближчій перспективі цей внесок буде істотно зростати та трансформувати психологічні науки, суттєво збільшить їх фундаментальні здобутки. В останні роки бурхливо розвиваються технології штучного інтелекту, що базуються на машинному навчанні. Це може використовуватися, наприклад, для виявлення емоцій користувача (за текстовими, голосовими або візуальними сигналами) та адаптації його відповідей для маніпулювання цими емоціями.

Використання інформаційних технологій та машинного навчання йде в ногу зі збільшенням доступності даних із реального життя, яке стає все більш спостережуваним та реєстрованим. Вже сьогодні в психологічних дослідженнях досить широко використовуються дані із соцмереж та геолокації стільникових телефонів. Збільшується кількість відеозаписів поведінки людей при різних умовах.

Можна відзначити користь залучення різних програмних додатків для покращення роботи психолога в умовах дистанційної та змішаної роботи внаслідок їхньої зручності, мобільності, доступності та функціональності. Наприклад, завдяки додатку "Daylio" можна зрозуміти, які види повсякденної активності супроводжують певні емоції. Можна запланувати частіше робити те, що надихає, а не пригнічує, і відстежувати зміни. Клієнти записують свій настрій щодня разом з різними типами дій, в яких вони брали участь.

Серед психологічних програм особливе місце займають ігри. Вони допомагають сконцентруватися на тренуванні уваги, пам'яті, уяви або просто відволіктися від негативних переживань. Як приклад можна навести "Lumosity", що дозволяє через гру залучити користувача до процесу щоденного навчання.

Mental Health App, або програми для психологічної допомоги, – це різновид програм для підтримки або відновлення психологічного комфорту. Вони націлені на те, щоб допомогти людині досягти внутрішньої рівноваги.

Електронне психічне здоров'я (e-Mental Health) – це загальний термін для цифрових послуг, спрямованих на вирішення проблем психічного здоров'я. Електронне психічне здоров'я передбачає використання Інтернету та пов'язаних технологій, таких як програми для смартфонів, веб-сайти та соціальні медіа, для надання послуг у сфері психічного здоров'я. За останнє десятиліття ця сфера досягла значних успіхів за кордоном. Ринок додатків у галузі психічного здоров'я оцінювався приблизно у 6 мільярдів доларів США у 2023 році і, як очікується, зростатиме зі значним середньорічним темпом зростання близько 16.5% протягом 2024–2032 років [3]. Сфера ментального здоров'я тісно пов'язана з конфіденційною інформацією та особистими даними, тому проблема захисту інформації потребує посиленої уваги.

Необхідно звернути увагу і на електронний кабінет психолога (мережевий е-кабінет, хмарний е-кабінет тощо), – індивідуальне персоніфіковане програмне середовище, яке дозволяє психологу накопичувати свої особисті цифрові ресурси або посилання на них, надавати доступ до них, а також бачити поточні результати роботи у режимі реального часу.

Використання інформаційних технологій полегшує доступ до психологічних послуг шляхом підвищення зручності для клієнтів і скорочення часу їх надання, усунення географічних обмежень, зниження витрат і збільшення спроможності системи охорони здоров'я.

**Висновок.** Використання сучасних інформаційних технологій надає якісно нові можливості для інформаційної підтримки діяльності психолога та підвищення його професійної компетентності.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mohd Javaid, Abid Haleem, Ravi Pratap Singh, Shahbaz Khan & Rajiv Suman. (2022) An extensive study on Internet of Behavior (IoB) enabled Healthcare-Systems: Features, facilitators, and challenges. Bench Council Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations 2:4 p.
2. J. Sun, W. Gan, H. -C. Chao, P. S. Yu and W. Ding, "Internet of Behaviors: A Survey," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 10, no. 13, pp. 11117-11134, 1 July1, 2023
3. Mental Health Apps Market: Current Analysis and Forecast (2024-2032). URL: <https://univdatos.com/report/mental-health-apps-market/>.
4. Lal S. E-mental health: Promising advancements in policy, research, and practice. Health Manage Forum, 2019. P.56-62.

## МЕТОД АНАЛІЗУ ОКЛЮЗІЇ ЗУБІВ ЛЮДИНИ

Висоцька О. В., д.т.н., проф., e-mail: [o.vysotska@khai.edu](mailto:o.vysotska@khai.edu)

Трунова А. І., к.т.н., доц., e-mail: [a.pecherska@khai.edu](mailto:a.pecherska@khai.edu)

Фомін Є. С., магістрант, e-mail: [y.s.fomin@student.khai.edu](mailto:y.s.fomin@student.khai.edu)

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**Актуальність дослідження.** Прикус – це змикання зубних рядів при звичному статичному положенні нижньої щелепи. При нормальному прикусі (оклюзії) звичне положення нижньої щелепи збігається з центральним положенням (центральною оклюзією). При аномаліях оклюзії центральне положення нижньої щелепи та її звичне положення не збігаються [1].

Методи аналізу оклюзії зубів людини (тобто змикання зубів верхньої та нижньої щелепи) виконують важливу роль у стоматології, ролі ортодонції та ортопедії, намагаються допомогти діагностувати та лікувати порушення оклюзії. Проте кожен метод має свої недоліки, такі як суб'єктивність, недостатня точність, необ'єктивність у визначенні виду аномалії оклюзії.

Використання комп'ютерного аналізу оклюзійних контактів набуло широкого застосування стоматології. Комп'ютерні системи забезпечують точні дані про силу та тривалість контакту кожного зуба під час змикання щелеп, що зменшує можливість суб'єктивної оцінки, характерної для традиційних методів. Однак до недоліків можна віднести обмежену деталізацію: знімки не завжди дають точне уявлення про дрібні зміщення та нахили зубів.

**Мета досліджень.** Метою роботи є розробка метода аналізу оклюзії зубів людини на основі аналізу сукупностей антропометричних точок обличчя, нейромережевого та ймовірного моделювання, що дозволить підвищити точність розпізнавання аномалій оклюзії та визначення наявності деформації щелепи.

### **Основні матеріали досліджень.**

Метод аналізу оклюзії зубів людини полягає в послідовному вирішенні ряду задач:

- 1) визначення розміру та орієнтації обличчя на фотографії;
- 2) аналіз сукупностей антропометричних точок обличчя;
- 3) нейромережеве розпізнавання аномалій оклюзії;
- 4) визначення наявності деформації щелепи шляхом ймовірного моделювання.

Визначення розміру та орієнтації обличчя на фотографії ґрунтується на визначенні координат ключових точок обличчя. Для отримання координат вікон для пошуку носа та рота застосовують метод інтегральних проєкцій. З вхідного зображення обличчя отримують дві інтегральні проєкції – горизонтальну та вертикальну. Далі відбувається розпізнавання аномалій оклюзії за допомогою нейронних мереж (іноді їх також називають автоасоціативною пам'яттю), яке полягає в тому, щоб у відповідь на деяку вхідну сукупність даних, звану «ключем», видати на вихід найбільш близьку до вхідної за значеннями сукупність такої ж розмірності, з тих, що зберігаються в мережі. У разі розпізнавання обличчя ключем є зображення обличчя людини. Нейроном називається осередок мережі, який є найпростішим елементом пам'яті. Порядок роботи нейронних мереж наступний:

1-й крок – зображення оцифровується та кодується у вигляді вектора;

2-й крок – кожна координата вектора розташовується в окремому осередку, пов'язаному з усіма іншими осередками (навчання або налаштування системи відбувається шляхом зміни ваги зв'язків між осередками);

3-й крок – зображення обличчя фільтруються через нейромережу, при цьому вхідне зображення трансформується в найближче запам'ятоване, яке і подається на вихід.

Лінійна автоасоціативна пам'ять є одним шаром нейронної мережі. Кожен нейрон цього шару асоціюється з одним компонентом, що вийшов з розкладання зображення вектора. Таким

чином, при розмірі зображення  $w \times h$  пікселів кожен шар даної мережі буде містити  $w \times h$  нейронів. Крім того, кожен нейрон пов'язаний з усіма іншими і лінійна асоціативна пам'ять будується при обчисленні ( $w \times h$ ) ваг зв'язків цієї нейронної мережі. Дані ваги визначаються етапі навчання, у якому кілька навчальних зображень, представлених лінійно автоасоціативній пам'яті, запам'ятовуються у ній.

Пошук найближчого до зображення, що перевіряється, може проводитися в два етапи:

- з бази вибирається задана кількість найближчих за ключем зображень;
- проводиться безпосередня перевірка відстаней між характерними точками вибраних зображень, хоча якщо вони беруть участь у формуванні ключа, то за умови унікальності отримання ключа повторна перевірка необов'язкова і на цьому етапі перевіряються інші параметри або використовується порівняння з еталоном.

Визначення близькості образу до біометричного еталону відбувається з використанням міри Хеммінга. Для «Свого», тобто для класу, що відповідає типу аномалії оклюзії пацієнта, вектор Хеммінга повинен складатися практично з одних нулів. Для «Чужого», тобто, класу, який не відповідає аномалії оклюзії пацієнта, цей вектор матиме багато розбіжностей (багато одиниць). Відстань Хеммінга завжди нейтральна і може змінюватися від 0 до  $k$  (де  $k$  - число контрольованих оклюзійних параметрів).

Нейронні мережі (лінійні і нелінійні) дозволяють проводити пошук спільного рішення через об'єднання безлічі приватних рішень, отриманих за групами біометричних даних [2]. Основною проблемою застосування штучних нейронних мереж є їх навчання або проблема пошуку значень ваг нейронів і коефіцієнтів зміщення. Під навчанням нейронної мережі біометричної системи будемо розуміти процес пред'явлення їй прикладів групи біометричних образів «Свій» і «Чужий», а також підбір ваг нейронів з тим, щоб мережа могла із заданою вірогідністю помилок розділяти ці дві групи біометричних образів.

На наступному етапі для визначення наявності деформації щелепи застосовують ймовірнісне моделювання. В імовірнісних моделях обов'язково використовується навчальний набір, в якому формуються два класи з усіх варіантів уявлення об'єктів: внутрішньооб'єктної та зовнішньої мінливості, тобто відбираються ознаки, якими всі портрети діляться на два класи: деформація щелепи даної людини і всі інші деформації.

Функції щільності ймовірності для кожного класу оцінюються за допомогою навчальної множини і згодом використовуються для обчислення міри схожості, яка ґрунтується на отриманих дослідним шляхом ймовірностях. Крім того, для отримання більш точних результатів іноді використовується ймовірнісна модель деякого фізичного процесу, за допомогою якої і формується остаточна міра схожості двох зображень.

**Висновок.** Таким чином, розроблений метод, заснований на виділенні із зображення обличчя людини антропометричних точок та аналізі їх взаємного розташування, забезпечує достатню точність при невисокій обчислювальній вартості та складності алгоритму. Однак при його використанні для аналізу оклюзії зубів людини в базах зображень доцільно перетворювати систему параметрів в інтегральну ознаку, яка обчислюватиметься лише один раз для кожного зображення на момент розміщення зображення в базу даних. Ця величина буде ключем для пошуку зображення у базі. Таким чином, не обов'язково вираховувати всі параметри кожної фотографії в момент порівняння, тобто, час, що витрачається на розпізнавання зображення, можна зменшити з допомогою попередньої підготовки ключа на момент поповнення бази даних черговим зображенням.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження оклюзії: ключові аспекти та види в стоматології. URL: <https://vdsstomat.com.ua/doslidzhennya-oklyuzii-klyuchovi-aspekti-ta-vidi-v-stomatologii/>
2. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с.

АСПЕКТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ  
ПІД ЧАС ПЛАНТОГРАФІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Галушко Д. Є., здобувач, e-mail: [dmytro.halushko@nure.ua](mailto:dmytro.halushko@nure.ua),  
Носова Т. В., к.т.н., доцент, e-mail: [tatyana.nosova@nure.ua](mailto:tatyana.nosova@nure.ua),  
Євстратов Н. Д., к.т.н., доцент, e-mail: [mykola.yevstratov@nure.ua](mailto:mykola.yevstratov@nure.ua),  
Носова Я. В., к.т.н., доцент, e-mail: [yana.nosova@nure.ua](mailto:yana.nosova@nure.ua)  
Семашко С. А., ст. викладач, e-mail: [svitlana.semashko@nure.ua](mailto:svitlana.semashko@nure.ua)  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** Плантографія – це один із методів визначення стану стопи у дорослих та дітей [1, 2]. Суть методу полягає у використанні спеціального діагностичного пристрою, який дозволяє відстежити відбитки стопи людини за допомогою оптичної системи, блоку освітлення та реєструючої камери [3, 4]. Цей метод дуже часто застосовується в медицині, особливо в ортопедії та реабілітації, для діагностики та скринінгових досліджень, а також у спортивній медицині для оцінки та корекції проблем стопи [5, 6]. Зараз саме актуальною задачею є розробка методу автоматизованого аналізу зображень відбитків стопи, які отримуються за допомогою стандартної плантографічної платформи для визначення діагностичних ознак.

**Мета досліджень.** Метою досліджень є аспекти автоматизованого аналізу пантографічних зображень.

**Основні матеріали досліджень.** Принцип роботи оптичної плантографії заснований на реєстрації відбитку стопи у світловому полі [1-5]. Апаратна частина автоматизованого пантографічного модулю складається з плантографічної платформи з прозорого скла, блоку світлодіодного освітлення та фотографічної камери з розрізненням не менш, ніж FullHD (2048\*1024) елементів зображення. Модуль призначений для візуальної оцінки, діагностики, та моніторингу ортопедичних захворювань та деформацій стоп як у дітей, так і дорослих. Отримання зображення займає не більш ніж 30 секунд. Модуль характеризують компактні розміри та невелика вага, що дають можливість проводити діагностику не тільки в кабінеті лікаря, а ще й під час різноманітних скринінгових медичних оглядів. Попередня обробка зображень стандартно є першим етапом перед їх сегментацією, описом та аналізом [7, 8]. Таким чином, виходячи з особливостей вхідних плантографічних зображень, можна сформулювати схему методу їх аналізу, що складається з вводу вхідного зображення, попередньої обробки даних для усунення локальних завад та оптичних артефактів від освітлення [9, 10], сегментації зображення [11, 12] стопи та його послідууючої обробки, що містить визначення характерних анатомічних точок та геометричних розрахунків для отримання діагностичних показників. Виходячи з особливостей вхідних плантографічних зображень, можна сформулювати схему методу попередньої обробки плантографічних зображень, що складається з фільтрації завад та артефактів, перетворення кольорових систем, побудови гістограми, гістограмної корекції, визначення порогу сегментації, процедури сегментації і візуалізації та виводу вихідного зображення для послідууючого діагностичного аналізу. Визначено, що для аналізу плантографічних зображень необхідно використовувати контурну сегментацію для визначення характерних точок периметру на зображеннях відбитку стопи. Попередньою обробкою при цьому є фільтрація для усунення сегментів малої площини, які будуть ускладнювати аналіз зображення. Визначення базових характерних точок відбитку стопи відбувається шляхом пошуку вгору та вниз (від умовної вертикальної середини стопи) точок, які мають максимальні x-координати, відповідно. Визначення інших характерних точок стопи виконується послідовним скануванням вздовж перпендикулярної базової прямої до перетину з точками периметру відбитку стопи. У зв'язку з особливостями зображення відбитку стопи та орієнтації базових точок, для геометричних розрахунків доцільно рівняння прямих будувати у параметричній формі. Метод може бути пристосований для реалізації через телемедичні сервіси [13, 14].



**Висновок.** Попередня обробка пантографічних зображень виконується для усунення артефактів – сегментів зображення малої площини, які будуть ускладнювати аналіз зображення стопи та знижувати її достовірність. Визначення базових характерних точок відбитку стопи відбувається шляхом пошуку їх геометричних особливостей. Перспективою роботи є клінічна апробація розробленого програмного забезпечення для аналізу пантографічних даних.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. V. Tsapenko, M. Tereshchenko, V. Shevchenko, R. Ivanenko, “Methodology for calculating shock loads on the human foot”, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, no. 6(2), pp. 58-64, 2021.

2. V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, “Models of evaluation of biomechanical parameters of lower extremities in children”, *KPI Science News*, no. 1, pp. 67–75, 2019.

3. Бичук І. О. Вплив програми профілактики плоскостопості на біомеханічні характеристики стопи дошкільнят / І. О. Бичук, А. І. Альошина // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – 2011. – № 2. – С. 10–13.

4. Гозак С. В. Особливості формування порушень опорно-рухового апарату у дітей старшого дошкільного віку / С. В. Гозак, А. М. Парац, Т. В. Станкевич, О. Т. Єлізарова, В. П. Киселевська // *Довкілля та здоров'я*. – 2013. – №3 (66). – С. 62–66.

5. Абрамов В., Клапчук В., Неханевич О. Фізична реабілітація, спортивна медицина: підручник для студ. вищих мед. навч. закладів / ред.: В. Абрамов, О. Смирнова. Дніпропетровськ : Журфонд, 2014. 456 с.

6. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С. В. Павлов, О. Г. Аврунін, С. М. Злепко, Є. В. Бодяньський та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.

7. Avrunin OG Visualization of the ventrolateral nucleus of the thalamus of the human brain / O.G. Avrunin, V.V. Semenets, S.Yu. Maslovsky // *Radioelectronics and Informatics*. – P. 132-134.

8. Місоченко С. Ю. Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень / С. Ю. Місоченко, К. Г. Селіванова, О. Г. Аврунін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХХ міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD2022, 19-21 жовтня 2022 р. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – С. 902.

9. Аврунін О. Г. Методы визуализации внутримозговых структур на современном этапе / О. Г. Аврунін, В. В. Семенец, А. Б. Щербакова. *Радиоэлектроника и информатика*. 1999. № 4(9) С. 107-108.

10. Тымкович М. Ю. Использование DICOM изображений в медицинских системах / М. Ю. Тымкович, О. Г. Аврунін, В. В. Семенец // НТУУ «КПІ» Техн. електродинаміка : Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, (СЕЕ'2012)». – Київ : НТУ «ХПІ». – 2012. – С. 178-183. ISSN 1607-7970.

11. Шамраева, Е. О. Вибір метода сегментації кісткових структур на томографічних зображеннях / Е. О. Шамраева, О. Г. Аврунін // Біоніка інтелекта: інформація, мова, інтелект. – 2006. – № 2 (65). – С. 83–87.

12. Шамраева Е. О., Аврунін О. Г. Побудова моделей черепних імплантантів по рентгенографічним даним // *Прикладна радіоелектроніка*. – 2005. – Т4, С. 441– 443.

13. Sokol, Y., Avrunin, O., Kolisnyk, K., & Zamiatin, P. (2020). Using medical imaging in disaster medicine. Paper presented at the 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS 2020 - Proceedings, 287-290. doi:10.1109/IEPS51250.2020.9263175

14. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., & Avrunin, O. (2019). Application of modern internet technologies in telemedicine screening of patient conditions. *IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T*, 459-464. doi:10.1109/PICST47496.2019.9061252.

## ДВОКАНАЛЬНИЙ НЕІНВАЗИВНИЙ ТРАНСКРАНІАЛЬНИЙ СТИМУЛЯТОР

Горбовий О. В., асистент, e-mail: [oleg.gorbovuy@gmail.com](mailto:oleg.gorbovuy@gmail.com)

Подільський державний університет

**Актуальність дослідження.** Актуальність фізіотерапевтичного методу лікування транскраніальною електростимуляцією (ТЕС) обумовлена тим, що це неінвазивний та низьковартісний спосіб безпосередньої зміни функцій мозку. Сучасні дослідження довели безпечність ТЕС, відкривши можливість стимуляції як глибинних, так і кортикальних локальних частин мозку для поліпшення когнітивних властивостей, лікування ментальних та вікових захворювань. Наразі, важливою для країн світу та України є розробка пристрою, що поєднуватиме в собі різні форми струму, дозволяючи струму проникати углиб мозку, при невисокій вартості.

**Мета дослідження.** Основною метою дослідження за медико-технічними вимогами до апарату, розробити модель розподілу електричного поля у мозку під час стимуляції постійним або змінним струмом та ескізу документацію на прототип виробу.

**Основні матеріали досліджень.** Метод транскраніальної стимуляції полягає в тому, що він є відносно безпечним способом підвищення розумової активності для здорових людей, наприклад поліпшення процесу запам'ятовування, підвищення моторної активності для спортсменів. Це особливо важливо для усунення вікового зниження когнітивних та рухових функцій у літніх людей. Для пацієнтів з ментальними розладами, такими як депресія та синдром дефіциту уваги, дегенеративними захворюваннями центральної нервової системи та болями, ТЕС є ефективним та сучасним методом лікування. Важливим є те, що лікування стимуляцією не потребує генетичного або медикаментозного втручання.

Стимуляція може відбуватись безпосередньо на кору мозку або на глибокі структури мозку, не змінюючи мембранного потенціалу навколишніх клітин. Технологія, заснована на явищі темпоральної інтерференції дозволить неінвазивну нейростимуляцію глибокої тканинної структури, наприклад гіпокампу для поліпшення пам'яті або ядро субталамусу для лікування симптомів хвороби Паркінсона, не вимагаючи інвазивної хірургії, що значно зменшує витрати та ускладнення.

У концепції темпоральної інтерференції (ТІ) (рис. 1) електричні струми подаються на високих частотах  $f_1$  і  $f_2 = f_1 + \Delta f$ , але відрізняються незначною величиною,  $\Delta f$ , яка потрапляє в діапазон частот, які супроводжуються нейрональною відповіддю. Суперпозиція двох електричних полів всередині мозку призводить до електричного поля з частотою  $(f_1 + f_2) / 2$ , криві якого модулюються на частоті  $\Delta f$  (рис. 1 б).

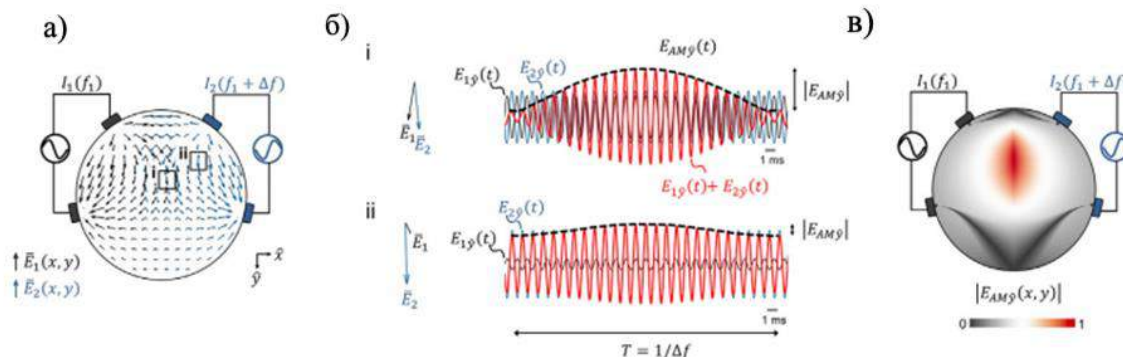


Рисунок 1 – Концепція стимуляції з ТІ [6]

Амплітуда модуляції огинаючої (пачки) в певному місці залежить від векторної суми двох застосованих векторів поля в цій точці і як результат може мати максимум у віддаленій

точці від електродів, потенційно навіть глибоко в мозку (рис. 1 в). Розташування пачки максимуму залежить від конфігурації електрода, а також властивостей форми хвиль.

Проектування приладу було розпочато зі створення медико-технічних вимог згідно існуючих стандартів. Структурна схема генератора спроектована у САПР КОМПАС та були розроблені принципові схем вузли виробу. Основними структурними елементами пристрою є генератор струму, стабілізатор струму (джерело струму), джерело живлення (акумулятор), панель індикації, що складається зі світлодіодів та регулятор амплітуди. Сигнали переключаються перемикачем, схема вмикається за допомогою кнопки. Вихід пристрою підключається до електродів. Розширена принципова схема була розроблена у середовищі Dip Trace. Вибір компонентів для приладу був здійснений згідно сучасних технологій для розробки друкованих плат, наприклад SMD резистори та конденсатори, підсилювачі AD820, DC/DC-перетворювач серії АМ-1. Досліджена схема генератора у середовищі Micro-CAP 12 працює згідно технічних вимог до апарату. Струм стимуляції регулюється по амплітуді до 1 мА, створено задавач частоти імпульсних сигналів та коливальний фільтр для генерації синусоїди.

#### **Висновок.**

Для проходження стр. крізь шкіру та череп була створена та змодельована математична модель у середовищі Micro-CAP 12. Для визначення значень елементів RC-схеми було використано значення провідностей та товщин шарів мозку. Порівняння ізотропної та анізотропної моделі показано, що струм при різних провідностях розповсюджується неоднорідно, амплітуда стр., що проходить крізь сіру речовину вище, ніж струму через кісткову тканину. Це обумовлено різним хім. складом тканин, оскільки від кількості рідини в тканині залежать її провідні властивості. У моделі було також змодельовано залежність від площі електродів та відстані між ними, залежність ємності від частоти прикладеного струму.

Еквівалентна математична модель шкіри, черепа, сірої та білої речовини показала розподіл стр. в мозку залежно від провідності тканин. Продемонстровано, що стр. у сірій речовині (дендрити та сома) має вищу амплітуду, ніж струм у черепі. При проходженні низькочастотних імпульсів практично не було активації аксонної мієлінової структури, що обумовлює необхідність застосування темпоральної інтерференції для стимулювання мозку. Тому для розвитку методу актуальним та перспективним є проведення дослідження впливу струму на двох різних частотах.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Tkach, Oleg, Viktor Dubik, Oleh Ovcharuk, Lyudmila Mikhaylova, Hanna Pantsyрева, Dariia Vilchynska, Sergii Slobodian, and Oleg Gorbovy. "Technological characteristics and potential of biogas from a municipal solid waste (MSW) landfill for electricity generation." *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)* 13, no. 2 (2023): 97-108.

2. Tryhuba, A., Bashynsky, O., Garasymchuk, I., Gorbovy, O., Vilchynska, D., Dubik, V. Research of the variable natural potential of the wind and energy energy in the northern strip of the ukrainian carpathians(2020) E3S Web of Conferences, 154, art. no. 06002.

3. Горбовий О.В. Дослідження процесу залучення комах до штучних джерел оптичного випромінення / Горбовий О.В., Михайлова Л.М., Дубік В.М. // Розвиток освіти, науки та бізнесу: результати 2020: тези доп. міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 грудня 2020 р. – Україна, Дніпро, 2020. – Т.1. – С.307–310.

4. Дубік, В. М. Особливості генерації біогазу з твердих побутових відходів [Текст] / Дубік В. М., Горбовий О. В., Овчарук О. В. // Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика: зб. тез доп. Міжнар. наук. Інтернет-конф. [м. Тернопіль, 20 листоп. 2019 р.] / редкол.: Andrzej Samborski, Marcin Niemiec, В. І. Овчарук [та ін.] ; ред. О. В. Овчарук, В. Я. Хоміна. - Тернопіль : ТНЕУ, 2019. - С. 97-100.

## ОСОБЛИВОСТІ ТА КЛЮЧОВІ ПАРАМЕТРИ ВАЛІДАЦІЇ МЕТОДИК ФЕНОТИПУВАННЯ КЛІТИННИХ ЛІНІЙ

Гузенко В. В., к.т.н., доцент, e-mail: [hnaghv@gmail.com](mailto:hnaghv@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

Неліна І. М., к.м.н., старший науковий співробітник, e-mail: [nelina\\_iv89@ukr.net](mailto:nelina_iv89@ukr.net)

ДУ «Інститут охорони здоров'я дітей та підлітків НАМН України»

**Актуальність дослідження.** Аналізи, які проводяться методом проточної цитофлуориметрії, використовуються на всіх стадіях процесу розробки препаратів на основі життєздатних клітин людини: біомедичних клітинних продуктів (БМКП) та високотехнологічних лікарських препаратів (ВТЛП), а також при оцінці їх якості. Ця технологія дозволяє проводити ідентифікацію клітинних маркерів на поверхні клітин, а також специфічні виміри у її внутрішніх структурах. Метод проточної цитофлуориметрії також підходить для кількісного визначення розчинних аналітів (цитокінів, фармацевтичних субстанцій, антитіл у зразках плазми або сироватки) [1,2].

Таким чином, в даний час відсутня детальна інформація щодо особливостей та переліку необхідних параметрів для належної валідації специфічних методик, що виконуються за допомогою проточної цитофлуориметрії стосовно препаратів клітинної терапії

**Мета досліджень.** Аналіз особливостей, притаманних валідації методик проточної цитофлуориметрії з метою оцінки ідентичності (справжності) препаратів на основі життєздатних клітин людини за допомогою імунофенотипування.

**Основні матеріали досліджень.** Досліджуваний в роботі проточний цитофлуориметр (цитометр) – це пристрій, що використовується в молекулярній та клітинній біології для аналізу та підрахунку клітин, частинок, розчинних білків та інших біологічних об'єктів на основі їх оптичних властивостей. Він складається з рідинної (флюїдної), оптичної та електронної систем [3]. Рідинна система фокусує зразок у проточному осередку шляхом обтискання його з усіх боків буферним розчином. Наявність такої системи необхідне для формування потоку окремих клітин. Далі потік протікає перпендикулярно лазерному променю та флуорохроми на поверхні частинок і клітин випромінюють світлові сигнали з довжиною хвилі, більшою, ніж довжина хвилі джерела випромінювання. У той же час сама по собі частка заломлює і розсіює світло, що потрапляє на неї, на тій же довжині хвилі, що і випромінювач. Це заломлене та розсіяне світло проходить через оптичну систему і потрапляє на детектори. Потім електронна система світлочутливих елементів детектує та перетворює сигнал, реєструючи значення основних параметрів, які вимірюються проточним цитофлуориметром, таких як флуоресценція (від флуорохрому та автофлуоресценція), пряме (FSC) та бічне (SSC) розсіювання.

Система детектування проточного цитофлуориметра складається з фотодетекторів та спектральних фільтрів, які дозволяють вимірювати інтенсивність світла за різних довжин хвиль. Ця інформація повинна використовуватися для створення багатовимірного профілю кожної клітини, що дозволяє дослідникам аналізувати її характеристики та класифікувати відповідно із певними критеріями.

В науковій роботі доведено, що ступінь та характер розсіювання світла від клітини залежить від багатьох факторів, таких як розмір, форма, внутрішня структура клітини, її індекс рефракції, середа і навіть кути, під якими розташовуються детектори.

Проведений дослід показав обов'язковість налаштування параметрів цитометра для конкретних типів аналізу, що воно є ключовим етапом у багатопараметричному аналізі фенотипу клітин і включає налаштування дискримінатора для розрізнення окремих клітин і частинок, параметрів світлорозсіювання для вимірювання їх розміру та структури, чутливості детекторів флуоресценції при визначенні типу та кількості флуорохрому та введення

коефіцієнтів компенсації для коригування результатів вимірів флуоресценції та обліку перекриття спектрів випромінювання різних флуорохромів.

Не всі підходи до валідації традиційних імуноаналітичних методик аналізу можна легко адаптувати до препаратів клітинної терапії. Зразки, що містять клітини з різними рівнями експресії аналізованого фактора (аналіту), при змішуванні будуть показувати не усереднений показник сигналу, а дві відмінні популяції з різними рівнями експресії. Це ускладнює підхід до вивчення лінійності методу. Крім цього, такі параметри зразка з життєздатними клітинами людини, як експресія антигенів, клітинна композиція та життєздатність, мають тенденцію змінюватися з часом навіть у пробірці з антикоагулянтом. У такому разі альтернативою буде ручний підрахунок у камері гемоцитометра або цитометричній пробірці із заздалегідь розфасованими частинками. Який би метод підрахунку концентрації клітин та їх життєздатності у продуктах, що містять клітини людини, не був обраний, він також має бути валідований.

Необхідні значення були отримані на основі розподілу Пуассона, який при достатньо великому очікуваному числі подій прагне нормального розподілу. Для отримання інших значень. Необхідно спочатку визначити кількість подій “ $\lambda$ ”, яке потрібно отримати на цитометрі, виходячи з коефіцієнта варіації “ $CV$ ”, необхідного у цьому дослідженні:

$$\lambda = \left( \frac{100}{CV} \right)^2 \quad (1)$$

Потім обчислюємо мінімальну необхідну кількість клітин  $N$  за формулою:

$$N = \lambda * \left( \frac{100}{P} \right) \quad (2)$$

У деяких випадках, коли шукані події дуже рідкісні або варіабельність результатів “ $P$ ” висока, можуть знадобитися додаткова оцінка та статистичний аналіз. Введення коефіцієнтів компенсації - це прийом, використовується в проточній цитометрії для коригування та мінімізації спотворення даних, одержуваних, коли флуорохром має діапазон випромінювання, що перетинається з каналами, не призначеними на його детекції. Такі канали називаються вторинними, а єдиний канал, в якому повинен реєструватися сигнал флуорохрому, називається первинним. Це важливий етап проведення аналізу, тому він має бути врахований у процесі проведення валідації. Процес ручного налаштування флуоресцентної компенсації на детекторах цитофлуориметра заснований на візуальній оцінці представлення отриманих даних, у зв'язку з чим схильний до помилок, пов'язаних із суб'єктивним сприйняттям оператора, який проводить налаштування. Для сучасних приладів існують вбудовані алгоритми автоматичного налаштування компенсації напруг, використання яких краще, оскільки призводить до більш повторюваних результатам.

**Висновок.** Фенотипування клітинних ліній (клітин), на сьогодні, є одним із ключових досліджень в оцінці якості та підтвердження справжності препаратів на основі життєздатних клітин людини. У цьому дослідженні виходячи з аналізу документів та наукової літератури, все ж таки, вдалося виділити ключові параметри валідації методики фенотипування клітинних ліній, які включають: правильність, прецизійність, специфічність, межа виявлення, межа кількісного визначення, лінійність; аналітична область; та доповнюючі: чутливість, граничне значення та фактор перенесення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гонський Я.І., Максимчук Т.П., Калинський М.І. Біохімія людини: підручник. Тернопіль, 2013.- 744с.
2. Основи імунології: функції та розлади імунної системи: 6-е видання / Абул К. Аббас, Ендрю Г. Ліхтман, Шив Піллай Київ «Медицина» 2020р. – 336
3. Казмірчук В. Є. Клінічна імунологія і алергологія / В.Є. Казмірчук, Л.В. Ковальчук. - Вінниця: Нова книга, 2006. - 504 с.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР

Денисов Б. Ю., аспірант, e-mail: [Denisov7997@gmail.com](mailto:Denisov7997@gmail.com)  
Чорна М. О., к.т.н., доцент, e-mail: [masher1533@gmail.com](mailto:masher1533@gmail.com)  
Державний Біотехнологічний Університет

**Актуальність дослідження.** В останні роки Україна втратила частину свого аграрного потенціалу внаслідок бойових дій та постійних мінно-вибухових забруднень територій, разом з цим потенціалом втрачено дуже велику кількість садових культур на відновлення яких підуть роки а можливо і десятиліття.

Збереження залишків садових рослин наразі стає важливою задачею не тільки аграріїв, а і наукової спільноти. Безпечність існуючих методів обробки рослин виробами хімічної промисловості доводиться ставити під сумнів, оскільки після такої обробки в середині плодів залишаються пестициди та генно-модифіковані організми, які шкодять спочатку рослині яка була оброблена, потім плоду та насінню яке в ньому зберігається і кінцевому споживачу, людині чи тварині.

Багато років науковцями проводяться дослідження та відшукуються безпечні способи впливу на родючість садових культур. В найближчій перспективі це особливо важливо оскільки наш аграрно промисловий комплекс постає перед ситуацією де необхідно забезпечити потреби населення, враховуючи те, що найбільш зруйновані та забруднені території - саме найродючіші землі.

**Мета досліджень.** Окресливши діапазон проблем, метою цього дослідження можна визначити пошук екологічного, безпечного, ефективного та економічно вигідного впливу на існуючі дорослі рослини для забезпечення потреб населення сьогодні, а також прискорення вирощування нових садових культур та відновлення попереднього аграрного потенціалу в області садівництва.

**Основні матеріали досліджень.** Плодові та ягідні культури – є живими організмами, які складані з органічного матеріалу та завдяки молекулам води та мінеральних солей мають магнітні властивості через полярну структуру та поляризовані хімічні зв'язки взаємодіяти з якими можливо через те, що вони створюють навколо себе магнітне поле. Саме тому при правильному підборі параметрів впливу, така взаємодія є безпечною як в електромагнітному так і в електричному полі [1].

Існують дослідження, які доводять, що передпосадкова ЕМ обробка насіння позитивно впливає на швидкість та якість вирощування рослини. Електромагнітний вплив добре впливає на мітоз – що є фундаментальним процесом у рості клітин та тканин. Окрім цього у ядрах клітин збільшується кількість нуклеїнових кислот, зростає швидкість переміщення цитоплазми, збільшується енергія проростання, через що паростки ростуть швидше та стійкішими.

Кожна клітина дерева або куща, має феритин і велику кількість атомів заліза які приймають участь в рості розвитку та метаболізмі як молодих так і дорослих дерев. Вплив магнітного поля на атоми заліза підвищує температуру в середині створенням упорядкованого обертального моменту. Таким чином можливо змінювати метаболічні характеристики культури, вплив на які особливо важливий у період вирощування, а також під час цвітіння та дозрівання плода [1-2].

Дуже важливим є процес зрошення висаджених культур. Відомо що вода, якою зрошують рослини, зокрема і садові культури, має певну концентрацію солей та в цілому добре піддається електромагнітній обробці. Вода може бути перед подачею до рослини піддана електромагнітному опроміненню, що збільшить поглинання поживних речовин. Цей спосіб впливу може бути використаний як для молодих так і для дорослих садових культур [2].

Дослідження по впливу ЕМП на рослини різних культур показують, що вони при певних енергоінформаційних параметрах ЕМП можуть підвищити схожість і енергію проростання насіння до 30% [2-3].

Зміна клімату в Україні зараз створила умови, коли влітку є дуже засушливий період. Дія електромагнітного поля стимулює в рослинах диференціювання камбію для утворення ксилеми та флоєми, що допомагає їм краще поглинати та транспортувати воду в умовах посухи.

Існують підходи до пояснення механізму дії електромагнітних полів, що ґрунтуються на розгляді енергетичних взаємодій електромагнітних полів із біологічними структурами - поглинання квантів електромагнітного випромінювання, енергія яких відповідає різниці енергетичних рівнів молекул і молекулярних комплексів. У результаті експериментів припускають, що мультистаціонарні мембранні системи можуть піддаватися регуляції електромагнітним полем малої амплітуди.

Існують критичні частоти впливу, на яких відбувається зміна потенційно можливих режимів функціонування системи. Отримані дані свідчать, що зміна іонної сили та рН у примембранному шарі істотно впливає на метаболічний стан клітини, аж до стимуляції її поділу. Одним із механізмів такого впливу є переходи периферичних білків зі зв'язаного на мембранах стану в цитоплазму і назад [3]. Існує багато гіпотез, що стосуються конкретної фізичної, фізико-хімічної та біологічної інтерпретації взаємодії електромагнітного поля з біооб'єктом. Незважаючи на існування різних точок зору, багато дослідників єдині в головному: електромагнітні збурення впливають насамперед на фізико-хімічні процеси, а через них на спрямованість біохімічних реакцій.

Застосування електромагнітної обробки може бути навіть з метою боротьби з біологічними стресами такими як мікроби, паразити, шкідники.

**Висновок.** Дослідження електромагнітної обробки садових культур наразі не на початковому етапі, існує багато теорій та доказів користі такого впливу, тому зовнішня електромагнітна обробка не шкодить рослині, а відкриває великий горизонт можливостей фундаментального впливу на фізіологічні та біохімічні процеси які відбуваються в середині. Така обробка має великі перспективи збільшення врожайності, прискорення вирощування та довготривалого утримання багаторічних рослин.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чорна М. О. Використання інформаційних електромагнітних технологій в сільському господарстві/ М. О. Чорна, М. В. Вусатий // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, 2019. – Вип. 152. – С. 141 – 142.
2. Vadym Popriadukhin et al., “Analysis of the Electromagnetic Field of Multilayered Biological Objects for their Irradiation in a Waveguide System,” Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 6, no. 5, pp. 58–65, 2017.
3. Чорна М. О. Застосування електромагнітного випромінювання для сушки та дезінфекції насіння зернових культур // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 186 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2017. – с. 146-147.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЛАЗЕРА В ПРИЛАДАХ  
МІКРОІМПУЛЬСНОЇ ЦИКЛОФОТОКОАГУЛЯЦІЇ  
Дубік В. М., к.т.н., доцент, e-mail: [vmdubick@gmail.com](mailto:vmdubick@gmail.com)  
Подільський державний університет

**Актуальність дослідження.** У наукових виданнях відзначалося про високу безпеку методу мікроімпульсної циклофотокоагуляції (мЦФК), з різним гіпотензивним ефектом і тривалістю її збереження. У роботах застосовувалися різні налаштування лазерної дії залежно від типу, стадії глаукомного процесу. Це вказувало на невизначеність оптимальної технології лікування, що дозволяють зберегти баланс між ефективністю і безпекою і можливість порівнювати отримані результати [1, 2]. Незважаючи на багатообіцяючі результати, пошук ефективних і безпечних параметрів лазерної дії мЦФК нині є актуальним.

**Мета дослідження.** Визначення значення оптимального діапазону енергії при виконанні безперервної ЦФК, що впливає на підхід до планування процедури в мікроімпульсному режимі.

**Основні матеріали дослідження.** Існують декілька параметрів лазера за допомогою яких можна варіювати значенням загальною енергією: потужність, робочий цикл, тривалість лікування, швидкість проходження зонду. Ці параметри варіювалися і могли мінятися залежно від тяжкості, виду глаукоми, від гостроти зору, початкових стадіях підвищення внутрішньоочного тиску (ВОТ):

**потужність** - діапазон значення від 1,5 до 3,0 Вт, рекомендоване значення 2,0 Вт [1, 2];

**робочий цикл** - для мікроімпульсного режиму застосовується в двох значеннях 25% і 31,3%, за даними порівняльних досліджень виявлено, що ефективність вище при останньому значенні [3];

**тривалість лікування** - цей параметр зазвичай варіює від 100 до 320 сік [67];

експозиція на півсферу - багатьма хірургами рух зонду при мЦФК нагадує повільний «малюючий» рух, у відмінності від безперервної ЦФК у вигляді аплікації. Час одного проходу по півсфері найчастіше складає 10 секунд, в тому час як деякими хірургами експозиція могла скласти до 60 секунд при повільному русі [4].

В якості спроби стандартизації технології М. Johnstone і співавтори продемонстрували, що існує нижній поріг енергії, що доставляється, рівною 62 Дж, коли ефект скорочення подовжніх волокон відсутній або мінімальний і не призводить до появи пілокарпиноподобного ефекту [3,4]. Тоді як використання значень вище 150 Дж, сприяють максимальному і тривалому скороченню, що не виключає максимального прояву гіпотензивного ефекту.

У тому ж році група співавторів Sanchez et al. (2018 р.) представив серію випадків, де клінічно підтвердив, що застосування загальної енергії рівної 62 Дж не приводить гіпотензивному ефекту. Авторами було виявлено, що у багатьох дослідженнях тривалість лікування варіювала від 100 с до 360 с, що з розрахунку на загальну енергію показники варіювали з 62 Дж до 225 Дж. У зв'язку з цим було запропоновано умовно розділити рівні енергії на наступні значення: низькі, середні і високі. (Рис. 1) [3,4].

**Низькі рівні енергії.** При потужності дії 2 Вт, робочий цикл - 31,3%, тривалість лікування від 100 до 160 сік, загальна енергія складає від 62 Дж до 100 Дж [2, 3, 4].

У дослідженнях, де застосовувався низький рівень енергії, виявлений помірний гіпотензивний ефект до 30%, з відсутністю ускладнень, з короткочасним гіпотензивним ефектом, що вимагає повторних втручань більше 1 процедури (в середньому 3) для підтримки гіпотензивного ефекту впродовж 6-12 місяців, що зрештою не отримало активного застосування цих рівнів енергії.

**Середні рівні енергії.** При потужності дії 2 Вт, робочий цикл - 31,3%, тривалість лікування від 180 до 240 сік, загальна енергія складає від 112 Дж до 200 Дж [3, 4].

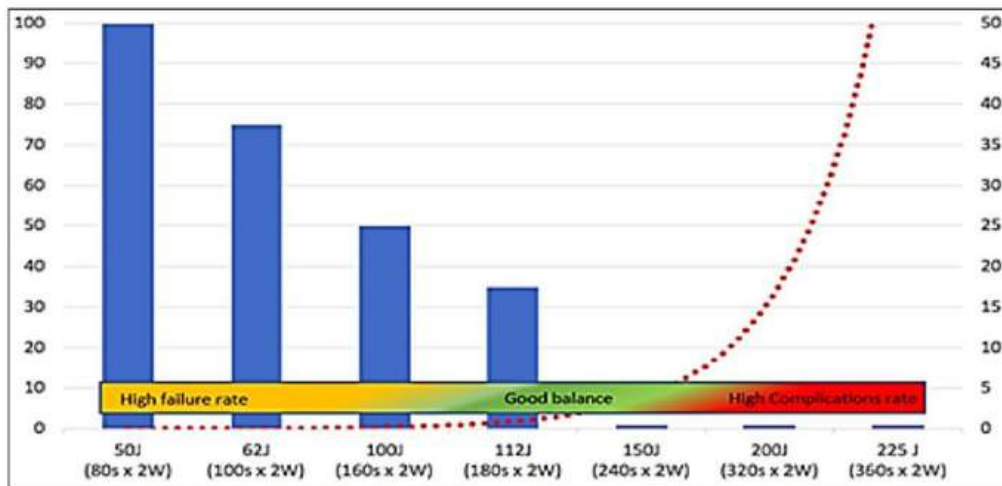


Рисунок 1 – Розподіл рівнів енергії

Використання рівня енергії з 112 до 150 Дж показали хороший профіль безпеки і ефективне зниження ВОТ на 35-43% впродовж 6 - 15 місяців. Zaarour et al. у 2019 р. представили результати використання мЦФК з тривалістю лікування 180 сек., із загальною енергією 112 Дж у 69 пацієнтів (75 очей) із високою стадією рефрактерної глаукоми. Рівень успіху визначалося як зниження ВОТ на 20 і більше % від початкового значення. До терміну спостереження 1 рік в групі дослідження успішність досягнута в 56,7 % випадках.

В жодному випадку не було виявлено ускладнень.

**Високі рівні енергії.** При потужності дії 2 Вт, робочий цикл - 31,3%, тривалість лікування від 320 до 360 сік, загальна енергія складає від 200 Дж до 225 Дж [3,4]. Використання високих показників енергії вимагає дотримуватися обережності, оскільки з одного боку відзначається ефективне зниження ВОТ, а з іншої - багата високим ризиком післяопераційних ускладнень.

**Висновок.** Таким чином, різноманітність комбінацій параметрів лазерного налаштування, що включає потужність, час дії і швидкість проходження по півкулі очного яблука, а також відсутність чітких стандартів, призводить до різноманітності клінічних результатів. У випадках застосування загальної енергії нижче 100 Дж, повідомлялося про недостатній гіпотензивний ефект, а перевищення показників вище 200 Дж супроводжується значимим зниженням ВОТ з високим ризиком післяопераційних ускладнень [4]. Тому проведене дослідження дозволило визначити інтервал загальної енергії від 112 Дж до 150 Дж знижуючий ВОТ приблизно на 30% з хорошим профілем безпеки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Grippo, T. M. Evidence-Based Consensus Guidelines Series for MicroPulse Transscleral Laser Therapy: Dosimetry and Patient Selection/ T.M. Grippo, R.M.P.C. de Crom, M. Giovingo, et al.//Clin Ophthalmol. – 2022. – №16. – P. 1837-1846. – DOI: [10.2147/OPHT.S365647/](https://doi.org/10.2147/OPHT.S365647/).
2. Grippo, T. M. Micropulse transscleral laser therapy – fluence may explain variability in clinical outcomes: a literature review and analysis / T.M. Grippo, F.G Sanchez, J. Stauffer, G. Marcellino // Clin. Ophthalmol. – 2021. – № 15. – P. 2411-2419. – DOI: [10.2147/OPHT.S313875/](https://doi.org/10.2147/OPHT.S313875/).
3. Johnstone, M. A. Microscope real-time video (MRTV), high-resolution OCT (HR-OCT) & histopathology (HP) to assess how transcleral micropulse laser (TML) affects the sclera, ciliary body (CB), muscle (CM), secretory epithelium (CBSE), suprachoroidal space (SCS) & aqueous outflow system / Johnstone M. A., Song S., Padilla S. et al.// Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2019. – № 60 (9). – P. 2825.
4. Sanchez, F. G. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation: a hypothesis or the ideal parameters / F.G. Sanchez, J.C. Peirano-Bonomi, T.M. Grippo – Text: unmediated // Med. Hypothesis Discov. Innov. Ophthalmol.– 2018. – № 7 (3). – P. 94-100.

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Думанський О. В., к.т.н., доцент., e-mail: [dumanalexsandr@gmail.com](mailto:dumanalexsandr@gmail.com)

Подільський державний університет

**Актуальність дослідження.** Обробка насіння сільськогосподарських культур електромагнітним випромінюванням відповідної частоти позитивно впливає на схожість і ріст рослин, приводить до зменшення часу вегетації. Це, в свою чергу, дає змогу зменшити норму висіву насіння, при чому врожайність сільськогосподарських культур, по відношенню до контрольної партії, не обробленої електромагнітним полем, збільшується [1].

До найбільш розповсюджених електротехнологій передпосівної обробки насіння слід віднести: електричні і електростатичні з використанням полів постійної генерації, електромагнітних полів безперервного генерування низькою (НЧ), високою (ВЧ), надвисокою (НВЧ), електромагнітних полів імпульсної генерації (НЧ, ВЧ, НВЧ) і полів коронного розряду.

Обробка насінневого матеріалу, згідно даних технологій, здійснюється двома способами: об'єкт поміщається між електродами різної полярності через який протікає електричний струм різної щільності або в здобутті ним статичного електричного заряду; дія на оброблюваний об'єкт за допомогою електромагнітного поля підвищеної напруженості, причому насіння і рослини виступають тут у ролі діелектрика, який отримує енергію від зовнішнього електричного поля.

**Мета досліджень.** Встановлення впливу електромагнітного поля на посівні якості насіння сільськогосподарських культур при передпосівній обробці.

**Основні матеріали досліджень.** Принцип, на якому основана дія електромагнітних технологій, з використанням полів безперервної генерації, полягає в обробці насіння і рослин електромагнітними хвилями НЧ, ВЧ, НВЧ. Змінними параметрами виступають: напруженість електромагнітного поля, час обробки біооб'єкту, доза дії, або інтенсивність електромагнітного випромінювання [2]. Стимулюючий біологічний ефект спостерігався в тій або іншій мірі практично на всьому досліджуваному діапазоні радіочастот. Дія електромагнітного поля неперервної генерації на рослинний біологічний об'єкт в НЧ – діапазоні полягає в зміні протікання інтенсивності сигналів по симпластам і у впливі на гуморальну систему рослини. Обробка ж у ВЧ, НВЧ – діапазонах впливає на механізм протікання внутріклітинних реакцій і пов'язаний з інформаційною, низько- енергетичною і енергетичною дією на компоненти клітинної структури.

Обробка насіння перед опроміненням розчинами мікроелементів, біологічно активних речовин, стимуляторами росту з додаванням плівкоутворювачів дозволяє зволожити оболонку, яка складається з мікроорганізмів, що володіють великою вологопоглинаючою здатністю (до 80 – 90%), тоді як насіння залишається сухим. У енергонасиченому полі ВЧ і НВЧ випромінювання в результаті селективного нагріву хвороботворні мікроорганізми, які поглинають H<sub>2</sub>O, гинуть.

Застосування електротехнологій з використанням електромагнітного поля ВЧ і НВЧ на зернових культурах дозволяє практично повністю подавити інфекцію насіння і підвищити врожайність на 23 % в порівнянні з обробкою фунгіцидами [3].

Така комплексна технологія дозволяє понизити загальні витрати на обробку насіння і підвищити врожайність на 15 – 20 % порівняно з обробкою пестицидами і повністю відмовитися від їх використання.

Використання технологій ВЧ і НВЧ обробки рослинних біологічних об'єктів в режимі безперервної генерації зазвичай зв'язано з підвищеними енергетичними витратами, для подолання цього недоліку використовують імпульсну генерацію, але при тих же параметрах дії. Заслужують уваги результати досліджень по впливу електромагнітного випромінювання при підвищеній напруженості на злакові культури. Для зняття органічного спокою в насінні



найбільш ефективною, в порівнянні з безперервною дією, виявилася обробка рослинних біологічних об'єктів імпульсним електромагнітним випромінюванням при тій же напруженості, при якій приріст урожаю склав 11%.

Наголошувалося, що зволожений посівний матеріал швидше реагує на зовнішній стресовий чинник – електромагнітне випромінювання НВЧ діапазону, що пояснюється діелектричною проникністю насіння. Перезволожений же насінний матеріал при поміщенні його у ВЧ – поле втрачає свою життєздатність і гине від перегріву.

Електротехнологія НВЧ обробки з використанням імпульсних електромагнітних полів є менш енергоємною і альтернативною по відношенню до технологій, що застосовують неперервну генерацію електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону для стимуляції і знезараження насіння [4].

В останні роки у зв'язку з підвищенням рівня інформатизації виникли гіпотези відносно можливості практичного використання інформаційних методів обробки насіння і вегетуючих рослин з метою підвищення їх схожості і врожайності.

Подальший розвиток електромагнітних технологій слід пов'язувати з інформаційним впливом на рослинні організми з метою активізації їх до певного рівня впродовж необхідного часу протікання окремих біохімічних і фізіологічних процесів в рослині.

Перспективним в електротехнологіях обробки насіння є вживання імпульсних амплітудно-модульованих електромагнітних полів надвисокої і край високої частоти низької інтенсивності [1].

Технології інтенсифікації, що використовують в своїй основі принцип використання електромагнітного випромінювання НВЧ діапазонів імпульсної модуляції мають ряд переваг, властивих даним діапазнам довжин хвиль, а саме: - дозволяють обробляти насінний матеріал як в зволоженому стані, так і «насухо»; - знижують механічне травмування насіння і вегетуючих рослин; дозволяють створити оптимальну інтенсивність електромагнітного випромінювання на горизонтальній поверхні, забезпечуючи тим самим обробку насінного матеріалу в один шар; - дозволяють обробляти вегетуючі рослини в різних площинах і видах поляризації; - створюють можливості механізації і автоматизації процесу обробки рослинних біологічних об'єктів; - вирішують проблему виробництва екологічно чистої продукції рослинництва.

**Висновок.** Вживання низькоенергетичного електромагнітного випромінювання НВЧ діапазонів дозволяє комбінувати методи резонансної дії на клітинну структуру, властиві способу безперервної генерації електромагнітного випромінювання з підвищеною потужністю. Розвиток електротехнологій покращення посівних якостей і активації насіння, слід пов'язувати з розробкою і впровадженням не енергетичної, а інформаційної дії на насінний матеріал з метою реалізації ними потенційно можливої продуктивності і поліпшення адаптивних властивостей до несприятливих умов навколишнього середовища.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волков С. І., Воронін П. І., Воронін О.П. Передпосівна обробка насіння полями УВЧ // Вісник Полтавського державного сільськогосподарського інституту. – 1999. – №3.– С. 20.
2. Смердов А. А., Волков С. І., Ландар А. А. Вплив УВЧ опромінення на інтенсивність обмінних процесів у насінні // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2008. – № 2 – С. 172 – 174.
3. Никифорова Л. Є. Огляд існуючих способів підвищення врожайності овочевої продукції в захищеному ґрунті / Л. Є. Никифорова. // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. «Проблеми енергозбереження в АПК України». – Х.: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 27, Т. 2. – С. 85 – 89.
4. Базалій В. В., Малигін Б. В., Дюдяєва О. А. Магнітно-імпульсна обробка насіння як метод підвищення врожайності зернових культур / Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Вип. 76. – Херсон: Грінь Д.С.,2011. – 634 с.,С.3-10.

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЛАКТАЦІЇ У КОРІВ

Дьоміна Т. О., аспірантка, [t.dyomina241@gmail.com](mailto:t.dyomina241@gmail.com)

Лисиченко М. Л., д.т.н., професор, [1prlysychenko@ukr.net](mailto:1prlysychenko@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Молочне скотарство є провідною галуззю тваринництва, що забезпечує цінною сировиною переробну, харчову, фармацевтичну галузі, однак найвагомим її продуктом є виробництво молока. Молоко і молочні продукти є продуктами першої необхідності, попит на них не може зменшуватися при зростанні цін, незалежно від соціально-економічної ситуації. З іншого боку, не можна стверджувати, що ціллю виробництва є виключно великий обсяг виробництва. Смак продукції, а значить і попит залежить в тому числі і від вмісту білка та кількості соматичних клітин (*Somatic Cell Count, SCC*) відповідно до обов'язкових стандартів, очікувань ринку та довіри споживачів [1].

Зрозуміло, що діапазон факторів, що впливають на якість молока, сильно відрізняється, включаючи все, від генетики тварин та гігієни до поводження з продуктом та погодними умовами [2].

Раціон корови також грає вирішальну роль. Дефіцит енергії або необхідних поживних речовин може помітно впливати на здатність корів чинити опір збудникам маститу, а підтримання імунної системи корови може допомогти їй боротися з бактеріальними проблемами, що викликають високий рівень захворюваності і, як наслідок – зниження продуктивності молочних тварин [3].

**Мета досліджень.** Визначення лактаційних кривих надоїв у молочних корів на рівні стада з урахуванням кількості соматичних клітин *SCC* для використання в імітаційній математичній моделі, яка показує зміни біохімічних процесів в молоці від довжини хвилі та дози опромінення.

**Основні матеріали досліджень.** Для опису процесу доїння та визначення кількості соматичних клітин окремих корів використовується завелика кількість параметрів. Надійність моделі, що описує рівень надоїв корів і кількість соматичних клітин і використовує параметризацію симуляції стада та корів, потребує зменшення кількості параметрів, для чого потрібно визначити паритетні ознаки у виробництві молока. Такими ознаками можуть бути надої, вміст білка та кількість соматичних клітин окремих корів. Узгодження параметрів на рівні стада дозволяє побудувати криві лактації на рівні корови з трьома, двома або одним параметром на лактацію [4]. Це дає змогу порівняти криві контрольного дослідження та дослідження з використанням лазерної обробки біологічно-активних точок вимені корови з різною довжиною хвилі та дози опромінення.

Кореляції надоїв молока та кількості соматичних клітин оцінювалася між лактаціями та між маткою та потомством. Форма лактаційних кривих помітно різнилася між фермами. Кореляція між лактаціями для надоїв і кількістю соматичних клітин становила 0,23 - 0,67 і була достовірною на понад 95 % випадків. Модель з одним параметром на корову з використанням кривої рівня стада дозволяє оцінити рівень продуктивності корів з першого запису в паритеті, тоді як модель з двома параметрами вимагає більше записів для достовірної оцінки, але може більш точно передбачити стійкість, і враховуючи незалежність параметрів, їх можна легко графічно зобразити для використання в імітаційних моделях [5].

При максимально реалістичному моделюванні молочного стада кожній корові необхідно призначити індивідуальну криву лактації. Параметри, які описують таку криву лактації, можна отримати з відповідних розподілів. За основу можна узяти криву Вуда [6] та отримати параметри більшості кривих лактації шляхом статистичної кореляції. Також можна використовувати моделі, у яких параметри не мають кореляції [7]. Математична функція, що описує надої, як молоко з поправкою на інтенсивність (енергію) (*Energy Corrected Milk, ECM*) [4], визначається як:

$$\psi_{ECM} = \tau_{milk}(0,22fat + 0,077protein + 0,249), \quad (2)$$

де  $\tau_{milk}$  – молоко в кг,  $protein$  становить білок у %, а  $fat$  становить вміст жиру у %. 305-денний надій відповідав стандартній трипараметричній кривій Вуда для першого, другого та третього періодів лактації [4]:

$$f_{ijk}^{ECM}(T) = a_{ijk} T^{b_{ijk}} \exp \exp(-\exp \exp(c_{ijk}) T), \quad (3)$$

де параметр  $a$  є коефіцієнтом масштабування для представлення продуктивності на початку лактації та параметри  $b$  і  $c$  це фактори, пов'язані з нахилом і спадом кривої лактації, відповідно, специфічні для лактації  $j$  корови  $i$  на фермі  $k$ . Коефіцієнт  $c$  підноситься до степеню, щоб досягти кращого масштабування параметра, щоб досягти під час підгонки та побудови графіка. Параметр  $b$  використовується як змінна-прогностика Дані кореляції можна параметризувати як:

$$f_{jk}^a(b_{ij}) = \theta_{1jk}^a \exp(-\theta_{2jk}^a b_{ij}); f_{jk}^c(b_{ij}) = \theta_{1jk}^c \exp(-\theta_{2jk}^c b_{ij}) + \theta_{3jk}^c, \quad (4)$$

де  $f^a$  і  $f^c$  – функції, які описують параметри  $a$  і  $c$  кривої Вуда, змінна  $b$  – лактація  $j$  корови  $i$  на фермі  $k$ ,  $\theta_1^a, \theta_2^a, \theta_1^c, \theta_2^c, \theta_3^c$  – п'ять параметрів стада. Це дозволяє нам описати кожну корову:

$$f_{ijk}^{ECM}(T, \alpha_{ij}, \beta_{ij}) = \alpha_{ij} N_{jk}(\beta_{ij}) f_{jk}^a(\beta_{ij}) T^{\beta_{ij}} \exp(-\exp(f_{jk}^c(\beta_{ij})) T). \quad (5)$$

де  $\beta_{ij}$  – параметр форми лактації  $j$  корови  $i$ , враховуючи інформацію про всіх корів на фермі  $k$ . Якщо підібрати  $\alpha_{ij}$  і  $\beta_{ij}$  у рівнянні,  $\alpha_{ij}$  стає рівнем молока окремої корови і порівняно із середнім надоем лактації за 305 днів на фермі  $k$  у період лактації  $j$ ,  $N_{jk}(\beta_{ij})$  – нормалізувальна функція, яка враховує середнє виробництво молока на фермі за дану лактацію.

**Висновок.** Вказані параметри (1)-(4), описують надої молока та характерні для SCC ознаки поголів'я. Наведені функції (5) можна адаптувати для включення варіації в імітаційну математичну модель, яка показує зміни біохімічних процесів в молоці, а саме його жирність, вміст білка від довжини хвилі та дози лазерного опромінення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Що ви можете зробити вже зараз, щоб покращити якість молока / Vetfactor. URL: <https://www.vetfactor.com/ua/news/shcho-vi-mozhete-zrobiti-vzhe-zaraz-shchob-pokrashchiti-yakist-moloka/> (Дата звернення 01.11.2024 р)
2. Scherpenzeel C.G.M., Fabri1 N.D., van Schaik G. Trends in Bulk Milk Somatic Cell Count in the Netherlands from 2018-2023. URL: [https://issuu.com/gezondheidsdienstvoordieren/docs/gd3085\\_nmc4\\_trends\\_btsc2018-2023\\_print\\_296](https://issuu.com/gezondheidsdienstvoordieren/docs/gd3085_nmc4_trends_btsc2018-2023_print_296) (Last access 01.11.2024)
3. КСК і якість молока. URL: <http://milkua.info/uk/post/ksk-i-akist-moloka> (Дата звернення 01.11.2024 р)
4. Silvestre, A.; Martins, A.; Santos, V.; Ginja, M.; Colaço, J. Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livest. Sci.* 2009, 122, 308–313.
5. Arnal, M.; Robert-Granié, C.; Larroque, H. Diversity of dairy goat lactation curves in France. *J. Dairy Sci.* 2018, 101, 11040–11051.
6. Wood, P.D. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, 1967. Lond.216: P. 164-165
7. Yamazaki T., Takeda H., Nishira A., Togashi K. Relationship between the lactation curve and udder disease incidence in different lactation stages in first-lactation Holstein cows. *Anim. Sci. J.* 2009, 80, P.636–643.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОЛОКА

Жила В. І., к.т.н., проф., e-mail: [viz.10@ukr.net](mailto:viz.10@ukr.net)

Задорожна В. М., аспірант, e-mail: [verazadorozna@meta.ua](mailto:verazadorozna@meta.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Інтерес до вивчення дії випромінювання на компоненти та мікрофлору харчових продуктів обумовлено перспективою їх направленою використання для поглибленого регулювання властивостей продуктів, які отримуємо. Відомо, що в цілому випромінювання може приводити до фототрансформації структурно-функціональної організації метаболічних систем більшості мікроорганізмів, здійснювати вплив на біополімерні білки та нуклеїнові кислоти, а також на вітамінний склад молока.

Зміни, які відбуваються під дією випромінювання в бактеріях та нижчих організмах, відбуваються у три стадії: збудження та підсилення дії, початок деструктивних змін, загибель клітини в результаті фотохімічних процесів. Відомо, що крива бактерицидної ефективності, наприклад оптичного випромінювання з довжиною хвилі в синій області спектру відповідає спектру поглинання нуклеїнових кислот, тобто мішенню променів є молекули ДНК [1].

Незважаючи на значний обсяг матеріалів досліджень в цій області, остаточні висновки про механізми дії випромінювання на перераховані вище показники роботи зарано, а дослідження необхідно продовжувати.

**Мета досліджень.** Визначення впливу низькоінтенсивного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 404, 445 нм на технологічні властивості молока для підвищення енергоефективності процесу обробки молока.

**Основні матеріали досліджень.** Найчутливішою до дії оптичного випромінювання синього діапазону є поділ клітин молока, причому, опромінення при певних дозах викликає не тільки зупинку поділу біля 90 % бактеріальних клітин, але й подальшу активізацію цих процесів. Враховуючи недоступність лазерного випромінювання масового застосування та результати опублікованих досліджень [2], було проведено опромінювання проб заквасок лактобактерій, пропіоновокислих бактерій низькоінтенсивним лазерним випромінюванням з довжиною хвиль 404 нм, 445 нм, 630 нм та 670 нм (рис. 1) [3]. Для оцінювання результатів обробки був задіяний вимірювальний комплекс, до складу якого увійшли: інтерференційно-поляризаційний мікроскоп типу *MPI-5*, цифрова відеокамера з виходом *on-line* на комп'ютер та в інтернет (рис. 1).



**Рисунок 1 – Зовнішній вигляд вимірювального комплексу.**

Умови досліду:

- максимальна потужність випромінювання – 50 мВт;
- ширина щілини випромінювання – 10 нм;
- час опромінювання – 5, 10, 20 с;
- основна похибка вимірювання –  $\pm 5,0$  %;
- температура молока –  $+21$  °С.

Вимірювання проводилось до опромінювання та через кожні три години бродіння.

Результати дослідження показали, що лазерне опромінення проб молока із заквасками біфідокомплексу, особливо на початковому етапі фази експоненціального росту числа

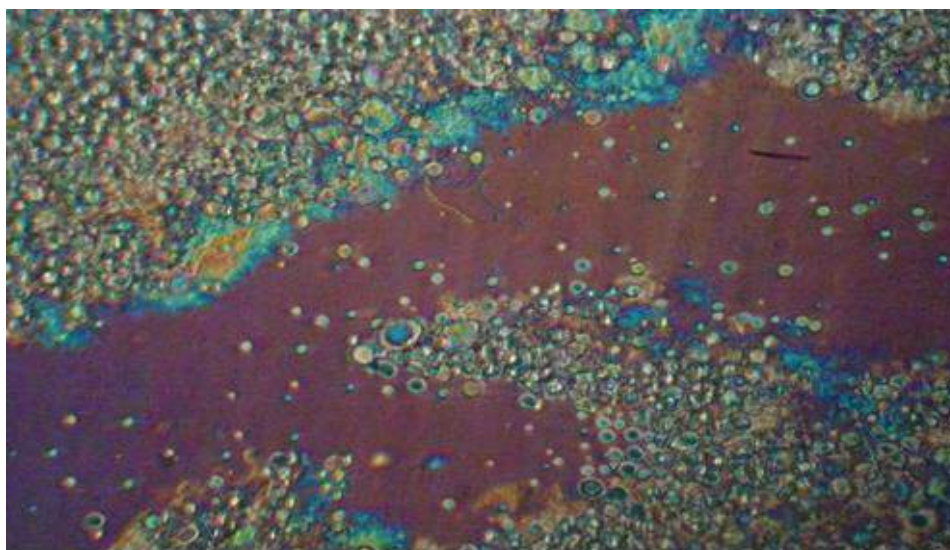
бактерій, викликає суттєве збільшення швидкості поділу клітин. При цьому найбільший відгук та збільшення швидкості розмноження бактерій спостерігалось для фіолетового діапазону. Результати дослідження через 6 годин наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1. Число бактерій в полі зору мікроскопу після 6 год. інкубації опромінених проб**

Довжина хвилі, <i>нм</i>	670	630	445	405
Контроль	1100	1100	1100	1100
5 с опромінення	2200	1200	-	3100*
10 с опромінення	1800	1100	-	5800*
20 с опромінення	1000	1100	1300	9200**

\*-  $p < 0,1$ , \*\*-  $p < 0,05$ .

Фото концентрацій лактобактерій показані на рис. 2.



**Рисунок 2 – Фото кількісних змін молочнокислих бактерій після 6 год. бродіння при опромінюванні фіолетовим лазером з довжиною хвилі 405 нм**

Опромінення дослідних проб низькоінтенсивним лазерним випромінюванням (мах. потужність 50 мВт) з довжиною хвилі 405 нм впродовж 5 с, на початковому етапі експоненціального росту клітин, збільшувало число бактерій у полі зору мікроскопу через 6 год. інкубації в 2,8 разів, 10 с – 5,3 рази, а 20 с – майже у 8,4 рази із 1100 до 9200 шт.

**Висновок.** Таким чином, застосування низькоінтенсивного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 405 нм, дозволяє створювати енергоєфективні економічно вигідні технологічні процеси збродування свіжого молока.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Akshay Kumar Anugu Microbial inactivation and allergen mitigation of food matrix by pulsed ultraviolet light [електронний ресурс]. – 2013. Режим доступу: <http://ufdc.ufl.edu/UFE0045406/00001> .
2. New methods for UV treatment of milk for improved food safety and product quality / D. J. Reinemann [et al.] // ASABE paper no. 066088. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, MI. – 2006.
3. Кіпенський А. В. Лазер і здоров'я. / А. В. Кіпенський, Л. Я. Васильєва-Лінецька, В. Вуйцік, Н. І. Заболотна, та ін. Харків: «Міська друкарня», 2024. 387 с.



## МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИК ГОЛЧАСТИХ ЕМГ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ ПЕРИФЕРИЧНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ

Забродін К. Ю., здобувач, e-mail: [zabrodin.kostiantyn@nure.ua](mailto:zabrodin.kostiantyn@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** У сучасних умовах зростаючої кількості травм, спричинених бойовими діями та іншими чинниками, діагностика, лікування та оцінка реабілітаційних заходів у пацієнтів із захворюваннями периферичної нервової системи набувають особливого значення [1].

**Мета дослідження.** Метою цього дослідження є огляд міографічних методик, які використовують голчасті електроди для діагностики стану периферичної нервової системи, травм нервів та ефективності реабілітаційних заходів.

Руховий апарат людини – це біологічна система, що складається з кістково-м'язового каркаса та нервової системи, яка забезпечує рухову активність організму. М'язи, як виконавчі органи, скорочуються під впливом нервових імпульсів, що надходять від центральної нервової системи. Нервово-м'язова одиниця, що складається з мотонейрона і іннервованих ним м'язових волокон, є основною структурно-функціональною одиницею периферичної нервової системи. Голкова або голчаста ЕМГ - це спеціалізований метод дослідження, який відображає інформацію про стан окремих м'язових волокон та рухової одиниці в цілому. Методика голчастої ЕМГ полягає у введенні спеціалізованого голчастого електрода безпосередньо в м'яз для відведення електричних потенціалів [2].

Голкові електроди бувають чотирьох типів: (А та В) концентричні моно - та біполярні електроди, в них активний електрод знаходиться в середині голки, а референтом є “тіло” голки, вони є найбільш поширеними у використанні завдяки найкращому співвідношенню сигнал-шум; (С) монополярні, в них кінчик голки є активним електродом, а референтом є поверхневий електрод, що накладається поруч з місцем вколу, на місце яке не генерує потенціал, наприклад, кістковий виступ або сухожилок; (D та E) голка для ЕМГ одиничного м'язового волокна, для цього типу голки активний електрод розташований не на кінці голки, а збоку на 3 мм вище вістря, таким чином є можливість підвести реєструючий електрод ближче до кінцевої пластини нерву, а площа, з якої реєструється потенціал стає меншою; голка для макро - ЕМГ, в цьому типі голки реєструючий електрод представляє собою весь кінчик електрода завдовжки 10 мм, таким чином в поле реєстрації потрапляє набагато більше м'язових волокон - генераторів сигналу, ніж у випадку відведення за допомогою концентричного або монополярного електрода.

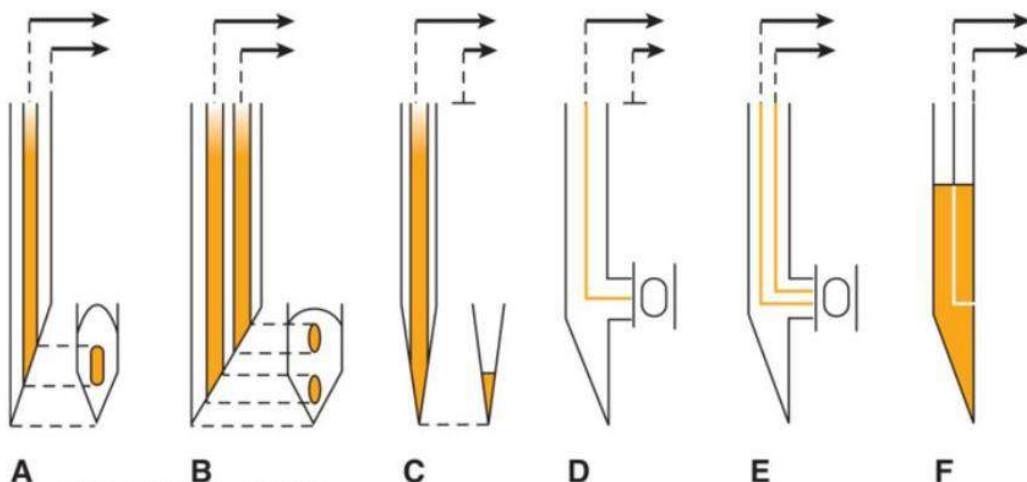


Рисунок 1 – Види тестів голчастої ЕМГ напряму залежать від типу використовуваного електрода

У традиційному обстеженні за допомогою голчастої ЕМГ розрізняють наступні методики.

1. Спонтанна ЕМГ - запис активності м'язу в спокої, з метою вивчення різних типів патологічних електричних сигналів, таких як фібриляції, позитивні гострі хвилі та потенціали фаскуляції, які можуть свідчити про порушення в роботі нервів та м'язів.

2. Методика аналізу потенціалів рухових одиниць (ПРО). Потенціали рухових одиниць генеруються усіма частинами рухової одиниці, а саме нейроном, його аксоном та групою м'язових волокон. Реєстрація ПРО відбувається під час мінімальної довільної активності вивчаємого м'яза. Традиційно проводять запис 20 ПРО від різних зон одного м'язу після чого проводять аналіз таких характеристик ПРО як тривалість, амплітуда, фронт кількість фаз та інші, із підрахунком мінімальних, максимальних та середніх значень.

Саме методика ПРО надає основну інформацію про стан м'язових волокон, тип патологічної перебудови рухових одиниць, ознаки денерваційного процесу у хворих із травмами нервів, захворюваннями периферичної нервової системи а також у вивченні ефективності реабілітаційних заходів [3].

3. Турно-амплітудний аналіз, або інтерференційний паттерн. Цей метод дозволяє оцінити функцію м'язів під час їх довільного скорочення, виявляючи інтерференційні патерни, які формуються в результаті сумування електричних імпульсів від окремих рухових одиниць, проаналізувати алгоритми скорочення м'язу, його включення під час довільного скорочення. Дослідження інтерференційного паттерна допомагає виявити зміни характеру скорочення ураженого м'язу, виявити резерви для процесів реіннервації.

4. Міографія одиничного м'язового волокна - метод дослідження, який дозволяє записувати електричну активність від окремих м'язових волокон, зокрема його реакцію на стимуляцію. Запис потенціалів одиничного м'язового волокна дозволяє вивчати характеристики, такі як амплітуда, частота та форма сигналів. Цей метод є особливо корисним для виявлення специфічних захворювань, оскільки дозволяє детально аналізувати функцію окремих волокон і їх взаємодію з нервовими імпульсами [4].

**Висновки.** Таким чином, методика голчастої ЕМГ, є ключовим методом оцінки функціонального стану нервово-м'язового апарату у хворих із травмами нервів, при різноманітних системних ураженнях периферичної нервової системи, контролю відновлення після операцій на нервах та в діагностиці хворих із м'язовою слабкістю. Також застосування різних типів голкових електродів (концентричних, монополярних, голок для одиничного м'язового волокна та макро ЕМГ) забезпечує додаткові можливості вибору оптимальної методики для кожного клінічного випадку.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Половенко К. Г. Анализ диагностических характеристик методов игольчатой и поверхностной электромиограмм человека при диагностике гиперкинеза / К. Г. Половенко, А. А. Гелетко // материалы 4-го междунар. радиоэлектрон. форума (МРФ'2011) 18-21 окт. 2011 г. : сб. науч. тр. : Т.3. Конф. «Актуальные проблемы биомедицины». / АНПРЭ, ХНУРЭ. – Х. : АНПРЭ, ХНУРЭ, 2011. – С. 43–47.

2. Половенко К. Г. Автоматический анализ интерференционных электромиограмм для исследования больных с различными гиперкинезами / К. Г. Половенко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей ХХ міжнародної науково-практичної конференції, Ч.ІІІ (15-17 травня 2012 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – 334 с. – С. 101.

3. Половенко К. Г. Диагностика дрожательных феноменов на электромиограммах при гиперкинезах / К. Г. Половенко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 15-й Международный молодежный форум, Том 1.: материалы конф. – Х., 2011. – С. 244-245.

4. Аврунин, О.Г. Автоматизированный анализ количественных параметров электромиограмм в норме и при патологии / О. Г. Аврунин, К. Г. Половенко // Міжнародні конференції : Проблеми інформатики и моделирования. Секция - Молодые ученые. - НТУ "ХПИ", 2011. - С. 5.

## МЕТОД ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЖИТТЯ ЛЮДИНИ

Кизилов І. Р., магістрант, e-mail: [kizilov.illya@gmail.com](mailto:kizilov.illya@gmail.com)

Висоцька О. В., д.т.н., проф., e-mail: [evisotska@ukr.net](mailto:evisotska@ukr.net)

Порван А. П., к.т.н., e-mail: [a.porvan@khai.edu](mailto:a.porvan@khai.edu)

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**Актуальність дослідження.** Якість життя – надзвичайно широке, багатоаспектне, багатогранне поняття. На сьогоднішній день існує безліч концепцій та визначень якості життя, які не є загальноприйнятими. Більшість зарубіжних дослідників дотримується наступного визначення: «якість життя – комплексна характеристика соціально-економічних, політичних, культурно-ідеологічних, екологічних факторів та умов існування особистості, становища людини у суспільстві [1].

Змістом якості життя є і спосіб життя, і рівень життя, і довкілля, збагачені якісними оцінками.

Можна виділити три підходи до оцінки якості життя:

1) у загальному сенсі – це оцінка різних сторін життя людини, пов'язаних не тільки зі станом його здоров'я, але й з умовами життя, професійними особливостями, роботою, навчанням, домашньою обстановкою, оточенням, соціальними умовами;

2) у медичному сенсі – це показники, пов'язані зі станом здоров'я індивідуума (показники тимчасової непрацездатності, інвалідності тощо);

3) під терміном «власне – якість життя» мається на увазі суб'єктивна оцінка свого благополуччя у фізичному, психологічному та соціальному аспектах.

Таким чином, оцінка якості життя включає безліч як об'єктивних, так і суб'єктивних показників і виступає у двох формах: об'єктивна оцінка за комплексом умов життя та задоволеність якістю життя самих людей.

Відомі методи оцінки якості життя мають недоліки і потребують подальшого вдосконалення для підвищення точності, зниження суб'єктивності та адаптації до різних груп користувачів [2, 3].

**Мета досліджень.** Метою дослідження є розробка методу оцінки якості життя людини, який дозволить підвищити точність оцінки впливу найбільш значущих факторів на здоров'я людини, допоможе комплексно оцінювати стан здоров'я, задоволення від життя та загального благополуччя людини, що є ключовим фактором для успішного соціально-економічного розвитку та покращення медичної допомоги.

**Основні матеріали досліджень.** Метод заснований на формуванні чотирьох компонентної моделі, простір ознак якої заснований на спеціальному виді згортки ряду статистично зареєстрованих власних критеріїв відповідної категорії.

Нехай  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – набір змінних, що статистично реєструються, які досить повно характеризують аналізовану категорію стану здоров'я та якості життя в деякому регіоні, тобто можуть бути інтерпретовані як приватні критерії цієї синтетичної категорії. І нехай структура зав'язків між цими власними критеріями така, що завдання побудови єдиного інтегрального індикатора, який достатньо інформативно характеризує аналізовану синтетичну категорію, має задовільне рішення.

Тоді як єдиний інтегральний індикатор  $QL$  ми будемо використовувати зважену суму

$$QL = \sum_{j=1}^4 w_j \cdot X_j, \quad (1)$$

де  $X_j$  – власні критерії, вимірювані в уніфікованій N-бальній шкалі, ( $X_j \in \{x_{ij}\}, i = \underline{1}, n, j = \underline{1}, 4$ );

$w_j$  – ваги, що визначаються з умови максимізації інформативності інтегрального індикатора з точки зору можливості якомога точніше відновлювати значення приватних критеріїв.

Оцінки інтегрального показника стану здоров'я у цій роботі пропонується визначати як результат зважування обчислених значень за окремими факторами (психічне здоров'я, функціональний стан, загальне здоров'я, тощо), що описують чотири компоненти моделі (здоров'я населення, рівень життя, ринок праці та безпеку життєдіяльності) і результати опитування за тестом SF-36, та приведення результату до інтервалу  $[0; 100]$ .

Особливістю медичних показників є різноманітність форм їхнього подання. Для формалізації предметної області необхідно навести первинні показники, представлені вербальним описом, якісними та інтервальними шкалами до точкового кількісного вигляду. Для перекладу до шкали  $[0, 100]$  використовується формула:

$$l_2 = \left( l_1 - \frac{L_1 - L_2}{L_2} \right) \cdot \frac{[L]_2}{[L]_1}, \quad (2)$$

де  $l_1, l_2$  – точкові оцінки у шкалах 1 та 2;

$L_1, L_2$  – точки початку відліку у відповідних шкалах;

$[L]_1, [L]_2$  – довжини інтервалів.

Коефіцієнт впливу того чи іншого параметру може бути визначений експертним шляхом за методом парних порівнянь.

Побудова єдиного інтегрального показника, що характеризує синтетичну категорію  $r$ , яка аналізується, виконуються з врахуванням значення зведеного інтегрального індикатора  $j$ -ї базової синтетичної категорії для деякого регіону та визначається за значеннями своїх блокових показників. Для цього обчислюється зважена евклідова відстань  $\rho$   $i$ -го регіону по кожному з  $r$ -критерію до еталона  $(10; 10; 10; 10)$  у просторі блокових інтегральних індикаторів  $j$ -ї синтетичної категорії.

$$\rho_i(r) = \sqrt{\sum_{j=1}^m v_j(r) (X^{(r)}(j) - 10)^2}, \quad (3)$$

де  $v_j(r)$  – нормовані невід'ємні ваги, що визначаються пропорційно до вибірових дисперсій:

$$v_j(r) = \sigma_j^2(r) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X^{(r)}(j) - \bar{X}^{(r)}(j))^2.$$

Значення зведеного інтегрального індикатора цієї синтетичної категорії для  $i$ -го регіону визначається за формулою

$$QL = 10 - \rho_i(r). \quad (4)$$

**Висновок.** Таким чином, було розроблено метод інтегральної оцінки якості життя людини, який базується на чотирьох компонентній структурній моделі (здоров'я людини, рівень життя, ринок праці та безпека життєдіяльності), результатах опитування за тестом SF-36 та процедурі мультипрофільного аналізу, що дозволяє підвищити точність оцінки впливу найбільш значущих факторів та здійснювати регіональні зіставлення за доступними статистичними даними.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чорна В. В., Доценко В. М., Махнюк В. М., Могильний С. М., Очеретяна Г. В. Методичні підходи до створення індексів для комплексної оцінки стану здоров'я населення та його забезпеченості медичною допомогою. Довкілля та здоров'я. 2021. Vol. 1 (98). С. 20-28.

2. Diener Ed, Richard E. Lucas, Shigehiro Oishi. Subjective Well-Being The Science of Happiness and Life Satisfaction. Handbook of Positive Psychology. New York, NY, 2001; online edn, Oxford Academic, 31 Oct. 2023. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195135336.003.0005>. – (дата звернення 10.09.2024).

3. Methodological approaches to measuring quality of life. Brazil. J. Polit. Econ. 2022. 42 (2) <https://doi.org/10.1590/0101-31572022-3256>. – (дата звернення 10.09.2024).

## КОМП'ЮТЕРНИЙ ТЕКСТУРНИЙ АНАЛІЗ МРТ-ЗОБРАЖЕНЬ

Козак О. В., к.т.н., доцент, e-mail: [oceanalex@gmail.com](mailto:oceanalex@gmail.com)

Подільський державний університет

**Актуальність дослідження.** Комп'ютерний аналіз виявляється перспективним підходом до кількісної оцінки характеристик пухлин на МРТ-зображеннях. Він дозволяє об'єктивно визначати та кількісно оцінювати текстурні параметри пухлин, що може бути важливим для прийняття рішень щодо лікування. Для реалізації комп'ютерного текстурного аналізу визначені необхідні методи сегментації медичних зображень та визначення текстурних параметрів. Ці методи дозволяють виділити пухлини на зображеннях та отримати характеристики їх текстури.

**Мета досліджень.** Провести комп'ютерний аналіз середньої яскравості та гетерогенності магнітно-резонансних томографічних зображень злоякісної пухлини.

**Основні матеріали досліджень.** Текстурний аналіз - це метод обробки зображень, який дозволяє визначати структурні властивості, такі як неоднорідність, нерівномірність та періодичність. Він часто використовується в радіології, зокрема в МРТ, для кількісної характеристики структурних властивостей тканин.

Один з основних підходів до текстурного аналізу в МРТ - це використання матриць середніх значень і дисперсій пікселів, які описують статистичні характеристики текстур. Можуть бути використані такі методи, як матриця сірого рівня (Gray Level Co-occurrence Matrix), яка визначає взаємне розташування пікселів з різними відтінками сірого у зображенні. Ця матриця може бути використана для розрахунку різних текстурних характеристик, таких як енергія, контрастність, кореляція і ентропія. Декілька основних параметрів текстурного аналізу включають середню яскравість, індекс Морана і інші. На рисунку 1 можна побачити схему текстурного аналізу.

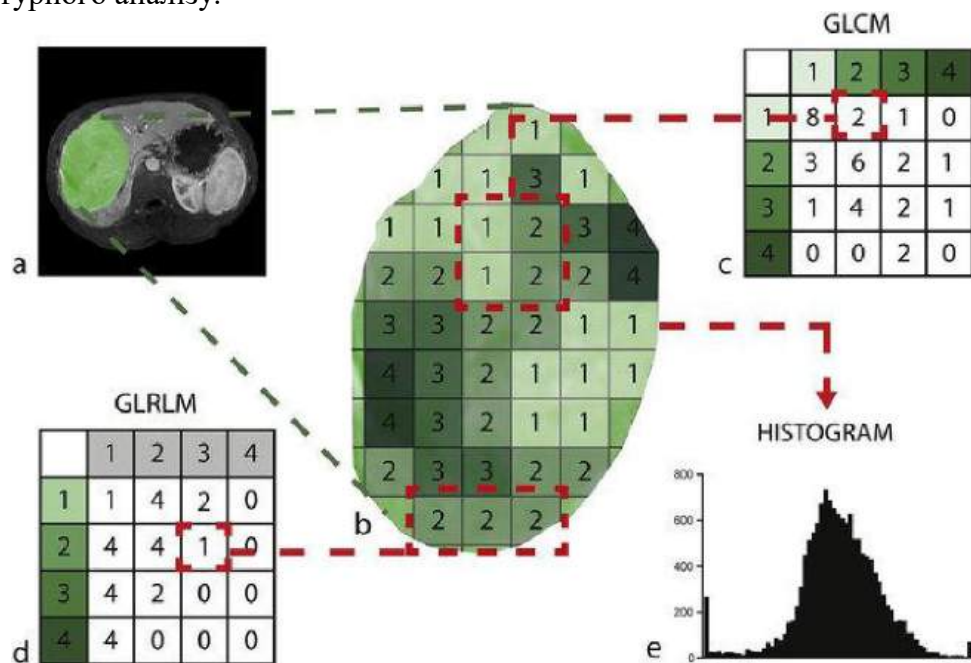


Рисунок 1 – Схематичний огляд процесу текстурного аналізу

Спочатку необхідно намалювати досліджувану ділянку, що охоплює оцінюване ураження (a) (зелене накладання у верхньому лівому куті). Для демонстраційних цілей проектується в середині зображення з довільно вибраними та розташованими фіктивними пікселями з різними рівнями сірого, пронумерованими від одного до чотирьох, як приклад (b). З матриці значень у ROI обчислюється GLCM (c), GLRLM (d) і гистограма (e). Для GLCM



кожен піксель зображення сканується та використовується як «еталонний піксель» один раз. Потім цей піксель порівнюється з пікселем на заданій відстані та напрямку (0, 45, 90 або 135), «сусіднім пікселем».

Коли контрольне значення та пара сусідніх значень знайдено, GLCM збільшується на 1 у відповідному стовпці та рядку (у наведеному вище прикладі знайдено дві пари 1:2 і відповідно до матриці додається 2). GLRLM кількісно визначає серії однакових рівнів сірого в заданому напрямку (0, 45, 90 або 135). На відміну від GLCM, GLRLM має довжину пробігу, відкладену на осі Y. У наведеному вище прикладі показаний цикл із трьох двійок і відповідно до матриці додається 1. Для наведеного прикладу було використано відстань 1 і напрямок 0.

Середня яскравість (Mean Intensity): Це середнє значення всіх пікселів на зображенні. Цей показник може бути корисним для визначення загальної яскравості або "інтенсивності" зображення.

Середня яскравість є одним з ключових параметрів у аналізі зображень, включаючи зображення, отримані за допомогою МРТ.

Зображення МРТ складається з пікселів, кожен з яких має певне значення інтенсивності. Це значення відображає властивості тканин у конкретному місці сканування. Різні типи тканин відображаються на зображенні МРТ як пікселі з різною інтенсивністю. Наприклад, жирова тканина і вода мають високу інтенсивність сигналу на послідовностях зважених за T2 часом релаксації і візуалізуються на зображенні МРТ яскравими, тоді як кістка і повітря мають низьку інтенсивність сигналу і візуалізуються темними.

Формула для розрахунку середньої яскравості:

$$I_{\text{mean}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i \quad (1)$$

де  $I_{\text{mean}}$  – середня інтенсивність,  $N$  – загальна кількість пікселів на зображенні,  $I_i$  – інтенсивність.

Міра просторової автокореляції, індекс Морана, що вимірює ступінь схожості між сусідніми пікселями на зображенні. Він може бути використаний для визначення структурних характеристик, таких як неоднорідність або нерівномірність. Для кількісної оцінки зображення розраховують індекс просторової автокореляції по Морану.

Гетерогенність  $G$  МРТ зображення оцінюють за допомогою модифікованого індекса  $r$  просторової автокореляції за Мораном.

**Висновок.** Розглянуто передумови виникнення проблеми щодо необхідності визначення кількісних параметрів текстурної характеристики пухлин. Комп'ютерний текстурний аналіз МРТ-зображень надає можливість об'єктивної оцінки характеристик пухлин, що є важливим для моніторингу відповіді пухлини на лікування.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Methodological aspects of bioeconomy development strategy formation in Ukraine (example of renewable energy sources). Kucher, O., Yermakov, S., Andreitseva, I., Plotnichenko, S., Kozak, O. *Engineering for Rural Development*, 2024, 23, pp. 850–857.

2. Possibilities of landfills and solid waste sites for energy production in Ukraine. Mikhailova, L., Dubik, V., Dumanskyi, O., Kozak, O. *Machinery and Energetics*, 2024, 15(1), pp. 86–94.

3. Determining the parameters of the acoustic system for the primary treatment of wool. Mykhailova, L., Kozak, O., Kosulina, N., Potapsky, P., Cherenkov, A. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, 3(5-93), pp. 61–68.

НАСАДКА З ПРЯМОКУТНИМ ВИХІДНИМ ПОТОКОМ ОПТИЧНОГО  
ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ З МЕДИЧНОЮ ЛАЗЕРНОЮ  
АПАРАТУРОЮ

Комарова О. С., інженер-технолог, аспірант, e-mail: [komarova.ollha@gmail.com](mailto:komarova.ollha@gmail.com)

ПП "Фотоніка Плюс", КПІ ім. Ігоря Сікорського

Холін В. В., к.т.н., директор, e-mail: [fotonikaplus@gmail.com](mailto:fotonikaplus@gmail.com)

ПП "Фотоніка Плюс"

Павлов С. В., д-р техн. наук, проф., e-mail: [psv@vntu.edu.ua](mailto:psv@vntu.edu.ua)

Вінницький національний технічний університет

Рева А. В., інженер-конструктор, e-mail: [Annisiya@meta.ua](mailto:Annisiya@meta.ua)

Івасенко В. І., інженер-електронік, e-mail: [fotonikaplus@gmail.com](mailto:fotonikaplus@gmail.com)

Ткаченко М. В., інженер-електронік, e-mail: [Maxkot@icloud.com](mailto:Maxkot@icloud.com)

Івлєв Я. О., інженер-конструктор, e-mail: [ya.ivlev.fp@gmail.com](mailto:ya.ivlev.fp@gmail.com)

ПП "Фотоніка Плюс"

Шинкаренко Д. Г., директор, e-mail: [info@edulase.net](mailto:info@edulase.net)

Навчальний центр EDULASE

Войцехович В. С., канд.фіз.наук.-мат.наук, с.н.с, e-mail: [valvvs55@gmail.com](mailto:valvvs55@gmail.com)

Інститут фізики Національної академії наук України

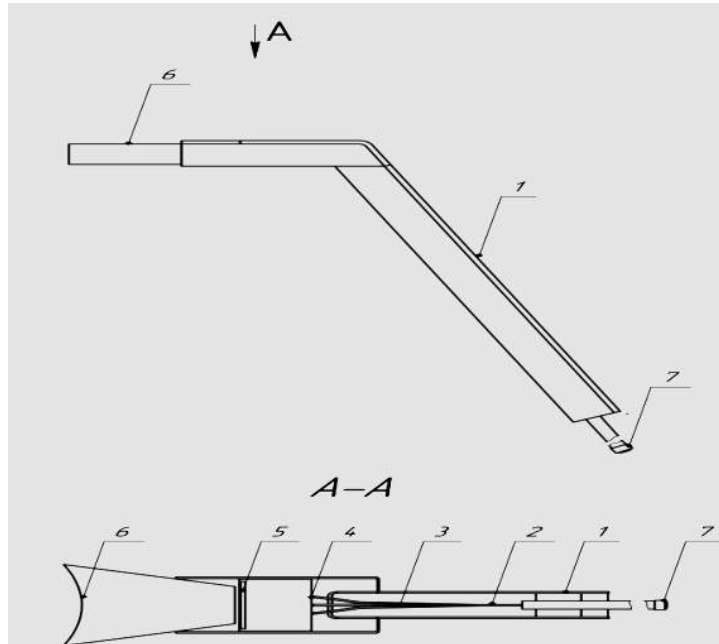
**Актуальність дослідження.** Завдяки своїй технологічній еволюції, лазерні технології поступово витісняють традиційні хірургічні та терапевтичні методи, пропонуючи ряд переваг, таких як малотравматичність, надійний гемостаз, стерильність післяопераційної рани, безболісність в хірургії, зменшення болю, оптимізація реологічних властивостей крові, швидша реабілітація та кращі клінічні результати в терапії, і на сьогодні лазерне обладнання стало стандартом у більшості медичних установ.

Вихідні оптичні каскади медичної лазерної апаратури і периферійний інструментарій, який підключається до них, насамперед, використовує оптичні волокна циліндричної форми з округлим поперечним перерізом оптичного потоку на виході зазвичай з гаусовим розподілом інтенсивності [1, 2], де зона освітлення від оптоволоконного наконечника може мати центральну область з високою інтенсивністю, відому як «гаряча точка», оточену периферійними зонами з нижчою інтенсивністю. Враховуючи анатомічні особливості будови тіла людини особливий інтерес представляє забезпечення оптичної однорідності не тільки округлих світлових плям, а і вихідних потоків оптичного випромінювання прямокутної форми.

**Мета дослідження.** Це підкреслює важливість розробки насадки з прямокутним вихідним потоком оптичного випромінювання для використання з медичною лазерною апаратурою, яка в т.ч. дозволяє оптимізувати використання існуючих лазерів, розширюючи їх функціональність без необхідності значних фінансових вкладень.

#### **Основні матеріали досліджень**

Нами було розроблено насадку з прямокутним вихідним потоком оптичного випромінювання для використання з медичною лазерною апаратурою [2] (надалі насадка) (рис. 1), яка використовується в терапевтичній практиці, зокрема в терапевтичній стоматологічній практиці включаючи ендодонтію, пародонтологію, ортодонтію та косметичне лікування зубів, косметології та дерматології, для відновлення та реабілітації пацієнтів, які мають травми різної локалізації та етіології, опіки та рани, хронічні тендинопатії, ушкодження м'язів, артрози, тунельні синдроми, травматичні ушкодження периферичних нервів у передопераційному та післяопераційному періодах, порушення кровообігу і мікроциркуляції тканин, больові синдроми різної локалізації тощо. На рис. 2 представлено використання насадки з лазером хірургічним діодним «LIKA-SURGEON» в стоматологічній практиці, процедура відбілювання зубів.



**Рисунок 1 – Насадка з прямокутним вихідним потоком оптичного випромінювання для використання з медичною лазерною апаратурою**

Насадка складається з корпусу виготовленого з нержавіючої сталі (1) на кінці якого закріплено з'ємний скляний клиноподібний хвилевод (6), який формує однорідний оптичний потік прямокутної форми. Поверхня хвилеводу (6) має увігнуту кривизну. В корпусі рукоятки (1) розміщено передавальне оптичне волокно (2) проксимальна ділянка якого виходить з рукоятки і окінцьована конектором (7) під'єднується до джерела випромінювання (8), а дистальна ділянка розгалуджується на три оптичні волокна (3) з мікролінзами (4) на їх торці.



**Рисунок 2 – Приклад використання насадки з лазером хірургічним діодним «LIKA-SURGEON» в стоматологічній практиці, процедура відбілювання зубів**

Оптичні волокна (3) зафіксовано на певній відстані  $X$  від входу в клиноподібний хвилевод, дана відстань визначена таким чином, щоб випромінювання з оптичних волокон (3) повністю попадало на хвилевод (6), і на виході з хвилеводу (6) давала однорідний оптичний потік прямокутної форми. Між мікролінзами (4) та хвилеводом встановлене захисне скло (5). Використання скляного клиновидного хвилеводу (6), який можна змінити, надає значні переваги. По-перше, скло має високу біосумісність і може бути легко очищено до ідеального стану, що сприяє безпеці процедур. По-друге, у разі зносу матеріалу через умови постійної стерилізації стоматологічні клініки можуть замінити тільки хвилевод (6) без необхідності оновлення всієї насадки.

**Висновки.** Розроблено насадку з прямокутним вихідним потоком оптичного випромінювання для використання з медичною лазерною апаратурою, яка використовується в терапевтичній практиці, зокрема в терапевтичній стоматологічній практиці включаючи ендодонтію, пародонтологію, ортодонтію та косметичне лікування зубів, косметології та дерматології, для відновлення та реабілітації пацієнтів, які мають травми різної локалізації та етіології, опіки та рани, хронічні тендинопатії, ушкодження м'язів, артрози, тунельні синдроми, травматичні ушкодження периферичних нервів у передопераційному та післяопераційному періодах, порушення кровообігу і мікроциркуляції тканин, больові синдроми різної локалізації тощо.

*Дослідження виконано за підтримки гранту Національного фонду досліджень України 2022.01/0135.*

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lizotte T. E. Laser beam uniformity and stability using homogenizer-based fiber optic launch method: square core fiber delivery / T. E. Lizotte // Optical Fibers, Sensors, and Devices for Biomedical Diagnostics and Treatment XI: proc. SPIE, 2011. — Vol. 7894.

2. Комарова О., Холін В., Терещенко М., Павлов С., Розуменко В., Посохов М., Івасенко В., Лапіна С. Експериментальне оцінювання однорідності вихідних потоків оптичного випромінювання прямокутної форми при різних варіантах виконання вихідних ділянок світловодних насадок до медичної лазерної апаратури [Електронний ресурс] / О. Комарова, В. Холін, М. Терещенко, С. Павлов, В. Розуменко, М. Посохов, В. Івасенко, С. Лапіна // Bulletin of Kyiv Polytechnic Institute. Series Instrument Making. — 2023. — №65(1). — С. 123–127. — Режим доступу: <http://visnykpb.kpi.ua/article/view/283458> (дата звернення: 30.10.2024).

## МЕТОДИ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТРЕНАЖЕРІВ У ФІЗИЧНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ М'ЯЗОВОЇ ДИСФУНКЦІЇ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК

Королович О. С., здобувачка, e-mail: [olha.korolovych@nure.ua](mailto:olha.korolovych@nure.ua)

Селіванова К. Г., к.т.н., доц., e-mail: [karina.selivanova@nure.ua](mailto:karina.selivanova@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки

У сучасних умовах соціальні наслідки травм опорно-рухового апарату мають суттєве значення. Серед травм опорно-рухового апарату друге місце посідають ушкодження верхніх кінцівок, що становить 76,3%. Від 31% до 48% випадків такі ушкодження призводять до стійкої втрати працездатності [1]. А також потрібно враховувати той факт, що на території України активно ведуться бойові дії, де цивільне населення зазнає не лише наслідки психологічного травмування, а й безпосередньо фізичні травми різної складності та походження.

Це вказує на складнощі реалізації та неефективність традиційних методів лікування, бо травми верхньої кінцівки мають значні ускладнення при відновленні функціональної активності, а результати лікування можуть не дати необхідного результату. Складна анатомія і підвищені вимоги до координації та тонких рухів, дрібної моторики верхньої кінцівки є причиною неповного відновлення її функції у післятравматичному періоді [2].

Рука людини, як орган праці, виконує різноманітні рухи. Тому є певна необхідність у соціально-трудовому відновленні хворого або інваліда. Це пов'язано не тільки із фізичною реабілітацією та збереженням здоров'я, але й з максимально повним збереженням особистості та соціального статусу людини [1].

Тому враховуючи вище написану актуальність роботи, сформулювали мету дослідження наступним чином: аналіз методів оцінки та тренування при м'язовій дисфункції, що можна застосувати для верхніх кінцівок, розробка методики та біотехнічної системи з апаратів- тренажерів для фізичної реабілітації.

Важливе значення має складання програми реабілітації для кожного хворого. В якій відзначається послідовність та етапність реабілітаційних заходів. Основний механізм відновлення рухової функції верхніх кінцівок полягає у поновленні нейронних зв'язків між областями функціональної організації відділів та кори головного мозку під час проведення регулярних мануальних тренувань за індивідуальною реабілітаційною програмою. Високоінтенсивні та повторювані тренування сприяють головному мозку пацієнта відновити рухові функції рук [3].

Проаналізував літературу стосовно методів оцінки стану, функціонування та тренування верхніх кінцівок при м'язовій дисфункції, було обрано такі методи:

1. Для об'єктивізації больових відчуттів використовуватимемо оцінку рівня болю за візуальною-аналоговою шкалою болю – метод суб'єктивної оцінки, де пацієнт відзначає точку на не градуированій лінії довжиною 10 см, що відповідає інтенсивності болю. Ліва межа лінії означає «болю немає», права – «найгірший біль, який можна уявити».

2. Для оцінки функціонального стану пальців кисті обрали шкалу Total Active Motion (ТАМ) (запропонована американською асоціацією хірургів кисті). Суть даного методу полягає в тому, що загальний обсяг рухів визначається сумою кутів активного згинання та розгинання в суглобах оперованого пальця. Амплітуди рухів:  $>220^\circ$  – «відмінно»,  $200-219^\circ$  – «добре»,  $180-200^\circ$  – «задовільно»,  $<180^\circ$  – «незадовільно». Оцінка розраховується як відношення ТАМ пошкодженого пальця до ТАМ здорового пальця, помножене на 100 %. Співвідношення у 100 % оцінюється «відмінно»; 75-99 % – «добре»; 50-74 % – «задовільно», менше 50 % – «незадовільно».

3. Коловий метод тренування – це система виконання активних вправ, що передбачає послідовне виконання фізичних вправ на різних станціях у поєднанні з короткими паузами для розвитку фізичних якостей [4].



Лабораторія спортивної медицини та фізичної реабілітації Харківського національного університету радіоелектроніки обладнана сучасними тренажерами (рис. 1), які можна використовувати не лише для реабілітації м'язової дисфункції верхніх кінцівок в медичних закладах, а й для подальшого відновлення вдома.



**Рисунок 1 – Тренажери для фізичної реабілітації верхніх кінцівок**

За допомогою апаратів-тренажерів формуються моторні якості верхньої кінцівки: загальні, швидкісні та швидкісно-силові, витривалість, координація, сила, гнучкість. Основна увага приділяється до вправ, які побудовані таким чином, щоб поєднувалися стиснення, розтягування, розслаблення руки, а також використовувалися ізольовані рухи кожного з пальців, де кінцевою метою реабілітації є не тільки відновлення анатомічної структури, але і тонких функцій кисті, як органу захвату та утримання, дотику та комунікації.

Отже, таким чином, проаналізувавши літературу щодо м'язової дисфункції верхніх кінцівок, дійшли до висновку, що ця тема є серйозною соціальною проблемою, що може призводити до значної втрати працездатності та ускладнень при відновленні, але якщо знайти правильний підхід, обравши ефективні методи оцінки та тренування, а також доповнивши індивідуальну реабілітаційну програму необхідними тренажерами, що значною мірою сприяє покращенню активного функціонування верхніх кінцівок при м'язовій дисфункції, а також це дає можливість контролювати та у будь-який момент корегувати реабілітаційний процес.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ефективність фізичної реабілітації пацієнтів із наслідками травм дистальних відділів верхніх кінцівок / О. Б. Неханевич та ін. Український вісник медико-соціальної експертизи, № 3-4 (33-34). 2019. 40–45 с.

2. Королович О. С., Селіванова К. Г. Основні вимоги до процесу фізичної реабілітації м'язової дисфункції верхніх кінцівок. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2024, 22– 25 трав. 2024 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2024. 1342 с.

3. Селіванова К. Г., Аврунін О. Г. Використання можливостей інтелектуального робота для прискорення процесу фізичної реабілітації рук. Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 125-річному ювілею Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського», 13–14 груд. 2023 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 196–198 с.

4. Волошко М., Мірчук Д. Фізична терапія осіб із травмами верхніх кінцівок. Рухові розлади: Всеукр. конкурс студент. робіт у галузі «Фіз. терапія, ерготерапія». 2020.

## МЕДИЧНІ ДАТЧИКИ У СПОРТІ: ФІЛОСОФСЬКІ ТА ЕТИЧНІ МІРКУВАННЯ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ТА ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ

Корщіков А. М., аспірант, e-mail: [andrii.korshchikov@nure.ua](mailto:andrii.korshchikov@nure.ua)  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** Сучасний спорт переживає трансформацію завдяки застосуванню передових технологій, включно з медичними датчиками. Ці пристрої стали важливим інструментом у контролі здоров'я та підвищенні ефективності спортсменів [1, 2]. Проте, інтеграція таких технологій піднімає ряд філософських та етичних питань, пов'язаних із правом на приватність, справедливістю у змаганнях та можливими соціальними наслідками [3, 4].

**Мета досліджень.** Метою роботи є філософські та етичні міркування щодо застосування технологій моніторингу у спортивній медицині.

**Основні матеріали досліджень.** Медичні датчики у спорті бувають різних видів і забезпечують точний моніторинг стану спортсмена у реальному часі. Вони включають носимі пристрої, такі як фітнес-браслети та годинники, професійні портативні сенсори, а також вживлені пристрої для постійного контролю фізіологічних показників [5,6], таких як моніторинг пульсу та серцевої активності, відстеження рівня кисню у крові, контроль температури тіла, аналіз м'язової активності та рівня стресу. Використання таких технологій дозволяє спортсменам і тренерам оперативно адаптувати тренувальні програми для досягнення максимальних результатів і запобігання травмам [7]. Медичні датчики зазвичай використовуються для збору даних про фізичний стан спортсменів, що включає контроль витривалості, відновлення після тренувань, а також відстеження ефективності різних методів тренування. Їх інтеграція в спортивні програми забезпечує детальний аналіз стану організму.

Технології моніторингу дозволяють оптимізувати тренувальні процеси, що підвищує ефективність підготовки спортсменів. Вони знижують ризик перенапруги та травм, виявляючи ознаки перевтоми або медичні показники, які можуть сигналізувати про потенційні проблеми [8]. Застосування технологій для моніторингу людського тіла змушує піднімати питання про межі людського тіла та його можливості [9]. Зростає інтерес до кібернетики та можливостей злиття біологічного та технологічного, що ставить під сумнів традиційні уявлення про людську природу.

Одне з ключових філософських питань — чи впливає застосування датчиків на автономію особистості. Використання технологій може бути сприйняте як обмеження свободи спортсмена через постійний контроль з боку тренерів або організацій. Тому важливо зберігати баланс між інтересами здоров'я спортсмена і його особистою автономією.

Датчики дозволяють розширювати можливості людини, впливаючи на визначення «нормального» рівня продуктивності та підвищуючи еталони успішності. Це піднімає питання про те, чи не веде така оптимізація до знецінення природних можливостей людини.

Використання медичних датчиків також пов'язане з етичними питаннями, які стосуються конфіденційності даних, справедливості в спорті та довгострокових соціальних наслідків. Одне з основних етичних питань полягає в захисті конфіденційності даних спортсменів [10]. Використання датчиків означає збір великого обсягу особистої інформації, і це створює потенційні ризики витоку або неправомірного використання цих даних.

Здатність використовувати технології може бути недоступною для всіх спортсменів через їх високу вартість. Спортсмени з багатших клубів чи країн можуть мати перевагу перед тими, хто не має доступу до таких ресурсів. Це може створювати нерівні умови в змаганнях, що суперечить принципам рівності у спорті [11].

Тривалий моніторинг здоров'я та зосередження на максимальній продуктивності може змінити суспільні уявлення про здоровий спосіб життя та вплинути на те, як люди розуміють своє тіло та можливості. Один із найбільших викликів полягає у тому, щоб забезпечити баланс між максимізацією ефективності спортсменів і збереженням людяності. Використання

датчиків може сприяти об'єктивізації можливостей людського тіла, де спортсмени розглядаються як об'єкти для підвищення продуктивності [12]. Постійне відстеження та аналіз фізіологічних показників може мати вплив на психологічний стан спортсменів. Основні ризики включають:

- психологічний тиск: постійне спостереження може спричинити тривогу через страх невідповідності нормам;
- підвищення рівня стресу: концентрація на результатах датчиків може сприяти розвитку емоційного вигорання;
- знеособлення: спортсмени можуть сприйматися не як індивідууми, а як сукупність показників і цифр.

**Висновок.** Медичні датчики відіграють важливу роль у сучасному спорті, сприяючи підвищенню результатів і безпеки спортсменів. Проте їх використання піднімає значущі філософські та етичні питання. Важливо забезпечити баланс між розвитком технологій, правами спортсменів та етичними нормами, щоб ці інновації працювали на благо суспільства і не порушували основних принципів справедливості та поваги до особистості. Для вирішення цих проблем необхідно впроваджувати етичні стандарти та забезпечувати обізнаність про потенційні наслідки використання технологій у спорті.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Селиванова К. Г., Аврунин О. Г., Семенец В. В., Разработка интерактивных тестов для оценки уровня развития мелкой моторики, Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна: Х. 2014. – № 1143, Вип.6. – С. 72-75
2. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., & Avrunin, O., Application of modern internet technologies in telemedicine screening of patient conditions. IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T, 459-464. 2019
3. Smith, M. J., & Jones, P. L. Ethical Implications of Biometric Data in Sports. Sports Science Review. 2022.
4. Lee, A. M. The Philosophy of Performance Enhancement: A Modern Overview. Sport, Ethics and Philosophy. 2019.
5. Носова Т. В., Аврунин О. Г., Сучасний погляд на можливості технології панорамного відео для інклюзивної освіти. Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій : матеріали XX Всеукраїнської науковотехнічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Ч. 1. Одеса, ОНАХТ, 2020. С. 144-146.
6. Присыч А. Ю., Носова Я. В., Тестирование носового дыхания у спортсменов, Матеріали 25-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті».Том 1. – Харків.: ХНУРЕ. – 2021. – С. 133-134
7. Brown, T. H. Monitoring Technologies and Human Autonomy in Competitive Sports. Journal of Sports Ethics. 2021.
8. Павлов С. В., Аврунін О. Г., Злепко С. М., Бодянський Є. В., та ін., Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.
9. Williams, R., & Carter, L. Technological Boundaries in High-Performance Athletics. Human Kinetics Journal. 2020,
10. Gomez, F. The Privacy Challenge of Health Data in Sports. International Journal of Data Protection. 2022.
11. Zhou, X., & Hernandez, C. Wearable Technology and Equity in Sports Competitions. Sports Management Review. 2021.
12. Аврунин О. Г. Особенности исследования носового дыхания при физических нагрузках / О. Г. Аврунин, Я. В. Носова, С. А. Худаева. // Тези доповіді 5-й всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров'я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні». – 2018. – С. 117–119.

## РИЗИКИ В ЛАПАРОСКОПІЧНІЙ ХІРУРГІЇ

Косулін С. В., к.т.н., асистент., e-mail: [kosulinmd@gmail.com](mailto:kosulinmd@gmail.com)

Харківський національний медичний університет

**Актуальність дослідження.** Ідея лапароскопічної хірургії сягає корінням у ХІХ століття, хоча є відомості про застосування в медицині дзеркального відбивача та трубчастих інструментів, які виходять ще з античної Греції та стародавньої Месопотамії. Термін «лапароскопія» перекладається з грецької мови як «дивитися в живіт».

Історія сучасної ендоскопії почалася в 1805 році – відомо, що акушер із Франкфурта використав свічки, спрямовуючи їх світло в трубку для огляду піхви та уретри.

1897 – уролог Нітце і оптик Райнке монтують перший цистоскоп, оснащений платиновим провідником і лінзами, щоб створити ефект освітлення. 1901 – відомий російський акушер-гінеколог Д.О. Отт вперше застосував ендоскопічний – внутрішній – огляд черевної порожнини за допомогою електричної лампи, рефлектора і дзеркала, введеного в живіт через розріз піхви. 1902 рік – на зборах у Гамбурзі Георг Келінг доповідає про целіоскопію та огляд черевної порожнини без широкого розрізу в експериментах на собаці. 1910 – хірург Якобеус зі Стокгольма успішно проводить перше лапароскопічне втручання, оперуючи людину, і в практику входить термін «лапароскопія». 1929 – німецький гепатолог Кальк розробляє для лапароскопу лінзи, що нахилиються. 1938 – Угорщина. Янош Вереш розробив спеціальну безпечну голку для накладання пневмоперитонеуму. Цю голку сьогодні повсюдно застосовують. 1952 рік – розвиток англійським лікарем Хопкінсом системи лінз та оптично-волоконного світла змінили тенденцію радикально та посилили роль телескопії в медицині. 1960-70-ті роки – з'являються лідери, які сприяють розвитку ендохірургії. Але в окремих хірургічних центрах, лапароскопія не завойовує в практиці хірургів міцних позицій. 1977 рік – гінеколог Де Кок виконує апендектомії з лапароскопічною частковою підтримкою.

Використання лапароскопії для обстеження жінок із підозрою на гострий апендицит зменшило на 50% частоту операцій із видалення червоподібних відростків. 1979 – група фахівців із Німеччини, якою керує доктор Фремберг, вперше описує лапароскопічно асистоване видалення каменів у жовчному міхурі, проведене у тварин. 1983 – наукова група під керівництвом Земма вперше описує метод лапароскопічної апендектомії. 1985 – німецький хірург Мюге вперше показав лапароскопічну холецистектомію з використанням вуглекислого газу для інсуфляції. 1986 – Уоршоу використовував лапароскопію для встановлення стадії раку підшлункової залози. 93% – такої цифри досягла точність діагностики. Цього ж року в ендоскопічній техніці відбулася революція – японські інженери сконструювали матрицю для трансформування відеосигналу та передачі його на монітор. 1987 – Франція. У Ліоні Філіп Муре провів лапароскопічну холецистектомію із застосуванням традиційних малоінвазивних технологій. 1988 – таку ж операцію роблять американські хірурги Сай і Мак Керман. За кілька місяців ендохірургічна техніка кардинально змінює підхід до лікування жовчнокам'яної хвороби. 1989 рік – паризький лікар Дюбуа повідомляє про лапароскопічну холецистектомію з кількома проколами черевної стінки.

Далі популяризація та розвиток техніки лапароскопії набувають глобального характеру. Принцип і технологію малоінвазивності починають активно застосовувати в різних напрямках хірургії. Створюють високотехнологічні інструменти та апарати рис. 1.

**Мета досліджень.** Аналіз ризиків при лапароскопії.

**Основні матеріали досліджень.** Сьогодні в розвинених країнах за деяких захворювань лапароскопічно проводиться 90 % операцій. У LISOD ця цифра становить 99% – абсолютна більшість – завдяки тому що даний метод має наступні переваги перед іншими: мінімальна травматизація; незначна втрата крові; відсутність утворення післяопераційних спайок; мінімальне перебування в стаціонарі (в середньому – 2 доби); мінімальний післяопераційний стрес; скорочення відновного періоду; зниження фінансових витрат.

Однак, 38,6 % лапароскопій ускладнилися несправністю обладнання. Біполярний кабель і щипці склали 31% від загальної кількості несправності при лапароскопії. Причини несправності у 45 % полягали в самому приладі і в 43 % через неправильне поєднання елементів. Рідше обладнання було недоступне або не відповідало заявленій операції. Через несправності загальна тривалість операції збільшувалась на 1,35 %. Людська помилка виявлена в 50 % випадків.

Ні захворюваності, ні смертності в цих дослідженнях не було; однак спостерігалось 34 несправності, які могли призвести до серйозних наслідків для пацієнтів, і 3 інциденти спричинили реальні наслідки для робочого процесу операції.



**Рисунок 1 – Лапароскопічне обладнання**

Лапароскопічний підхід спирається на передову технологію з використанням все більш і більш складних інструментів і потребує додаткового навчання хірургічної бригади, оскільки несправності обладнання спричиняють приблизно одну чверть хірургічних помилок в операційній [1], [2]. Потрібне добре знання обладнання від хірургічної бригади, а також належне обслуговування інструментів і швидке втручання в разі несправності. Насправді кілька авторів уже продемонстрували вплив відволікання і несправності, які впливають на хірургічний процес і безпеку пацієнта. Кілька досліджень підкреслюють негативні наслідки відволікання (таких як шум, невідповідні комунікації, мобільні телефони та збої обладнання) у хірургічних залах [3], [4]. За даними S. Forman та інших у половині випадків спричиняють збої обладнання, потім йдуть невідповідні комунікації (26 %) і слухові відволікання (9 %) [5]. За останнє десятиліття ендоскопічні інструменти значно вдосконалилися, зокрема в хірургічних довідкових центрах.

**Висновок.** Поломка обладнання – поширене явище при лапароскопії. Дослідження показує, що час, витрачений на несправності, низький при лапароскопії, оскільки він становить лише 1,35 % від загального хірургічного часу. Майже в половині випадків проблеми виникають через людські рішення.

Цей висновок може бути порадою для інтенсифікації навчання інструментарію всієї хірургічної бригади, впровадження контрольних списків і клінічного аудиту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. F. Borie et al. Risk management for surgical energy-driven devices used in the operative room. *J Visc Surg.* (2018).
2. B. Romain et al. Value of a preoperative checklist for laparoscopic appendectomy and cholecystectomy. *J Visc Surg.* (2012).
3. P. Tracol. Materials vigilance and traceability. *Orthop Traumatol Surg Res.* (2016)е
4. R.A. Weerakkody et al. Surgical technology and operating room safety failures: a systematic review of quantitative studies. *BMJ Qual Saf.* (2013).
5. M. Graafland et al. Prospective cohort study on surgeons' response to equipment failure in the laparoscopic environment. *Surg Endosc.* (2014).



ДИЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ, ЯК ОСНОВНА ВЕЛИЧИНА  
ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Косуліна Н. Г., д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)  
Капатієнко С. С., магістр, e-mail: [kapatienkos@gmail.com](mailto:kapatienkos@gmail.com)  
Державний біотехнологічний університет

Матеріал класифікується як «діелектрик», якщо він здатний запасати енергію під час застосування зовнішнього електричного поля. Якщо до конденсатора, що складається з двох паралельних пластин, підключити джерело постійної напруги, то конденсатор запасе більше енергії, якщо між його пластинами помістити діелектричний матеріал (порівняно з вакуумом). Діелектричний матеріал підвищує ємність конденсатора, компенсуючи заряди електродів, які в загальному випадку давали б внесок у зовнішнє поле. Ємність з діелектричним матеріалом залежить від його діелектричної проникності [1 – 2].

Якщо до конденсатора, що складається з двох паралельних пластин, підключити джерело постійної напруги  $V$  (рис. 1), то конденсатор запасе більше енергії, якщо між його пластинами помістити діелектричний матеріал (у порівнянні із вакуумом).

$$C_0 = \frac{A}{t}; \quad C = C_0 k'; \quad k' = \epsilon'_r = \frac{C}{C_0}$$

де  $C$  і  $C_0$  – це ємність з діелектриком і без нього,  $k' = \epsilon'_r$  – дійсна діелектрична постійна або діелектрична проникність,  $A$  і  $t$  – це площа пластин конденсатора та відстань між ними (рис. 1).

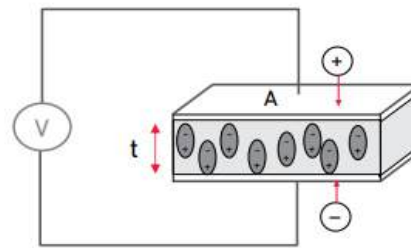


Рисунок 1 - Конденсатор із паралельних пластин, постійна напруга

Діелектричний матеріал підвищує ємність конденсатора, нейтралізуючи заряди електродів, які давали б внесок у зовнішнє поле. Ємність діелектричного матеріалу пов'язана з діелектричною проникністю через наведені вище рівняння. Якщо до того ж конденсатору підключити джерело змінної напруги  $V$  (рис. 2), то результуючий струм складається із струму перезаряду  $I_c$  і струму втрат  $I_l$  який пов'язаний з діелектричною проникністю. Втрати в матеріалі можна подати у вигляді провідності ( $G$ ), включеної паралельно конденсатору ( $C$ ).

$$I = I_c + I_l = V(j\omega C_0 k' + G)$$

Якщо  $G = \omega C_0 k''$ , то

$$I = V(j\omega C_0 k')(k' - jk'') = V(j\omega C_0)k$$

$$\omega = 2\pi f$$

де комплексна діелектрична проникність  $k$  складається із дійсної частини  $k'$ , яка представляє запас енергії, та уявної частини  $k''$ , яка представляє втрати.

Для обчислення комплексної діелектричної проникності використовується такий вираз:

$$k = k^* = \epsilon' \epsilon_r^*$$

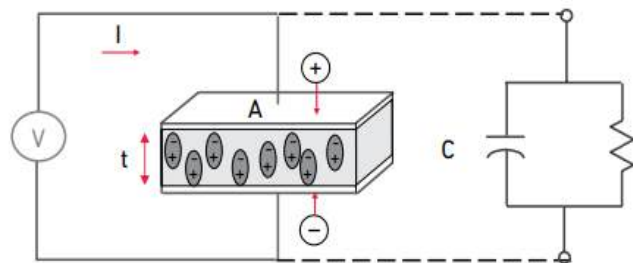


Рисунок 2 – Конденсатор із паралельних пластин, змінна напруга

З погляду електромагнітної теорії, електрична індукція (щільність просторового заряду)  $D_f$  визначається так:

$$D_f = \varepsilon E,$$

де  $\varepsilon^* = \varepsilon' = \varepsilon_0 \varepsilon_r$  – абсолютна діелектрична проникність,  $\varepsilon_r$  – відносна діелектрична проникність,  $\varepsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}$  Ф/м – діелектрична проникність вакууму,  $E$  – напруженість електричного поля.

Діелектрична проникність описує взаємодію матеріалу з електричним полем  $E$  і є комплексною величиною:

$$k = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r$$

Діелектрична постійна ( $k$ ) еквівалентна відношій діелектричній проникності ( $\varepsilon_r$ ) або відношенню абсолютної діелектричній проникності ( $\varepsilon$ ) до діелектричній проникності вакууму ( $\varepsilon_0$ ). Дійсна частина діелектричній проникності ( $\varepsilon'_r$ ) показує, скільки енергії зовнішнього електричного поля збережено у матеріалі. Уявна частина діелектричній проникності ( $\varepsilon''_r$ ) називається коефіцієнтом втрат і показує рівень розсіювання чи втрат зовнішнього електричного поля у матеріалі. Уявна частина діелектричній проникності ( $\varepsilon''_r$ ) завжди більше за нуль і зазвичай набагато менше, ніж  $\varepsilon'_r$ . на коефіцієнт втрат впливають діелектричні втрати та провідність.

Якщо комплексну діелектричну проникність подати у вигляді простої векторної діаграми (рис. 3), то дійсна та уявна компоненти будуть зрушені по фазі не  $90^\circ$ . Сумарний вектор повернутий на кут  $\delta$  щодо дійсної осі ( $\varepsilon'_r$ ). Відносні втрати матеріалу визначаються ставленням втраченої енергії до запасеної.

$$tg \delta = \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r} = D = \frac{1}{Q}$$

- Енергія, яка витрачена за один період/Енергія, яка має запас за один період

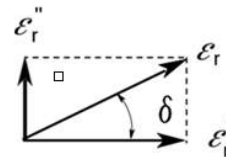


Рисунок 3 – Тангенс угла втрат

Тангенс кута втрат  $tg \delta$  визначається як відношення уявної частини діелектричній проникності до дійсної.  $D$  означає коефіцієнт втрат, а  $Q$  називається добротністю. Тангенс кута втрат або  $tg \delta$  називають тангенсом дельта, тангенсом кута втрат чи коефіцієнтом втрат. Іноді до матеріалів, які використовуються у НВЧ електронних приладах, застосовують термін «добротність», який є оберненою величиною від тангенса кута втрат. Для матеріалів з дуже малими втратами (оскільки  $tg \delta \approx \delta$ ), тангенс кута втрат можна замінити самими кутом, вираженим у мілірадіанах чи мікрорадіанах.

Так для детального вивчення стану масляних діелектриків у змінному електричному полі досліджуються  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  ( $\varepsilon''$  -  $tg \delta$ ) до температур і частот у даному інтервалі. Після отримання цих зв'язків можна охарактеризувати рухливість молекул у маслі, функцію розподілу часу вивільнення диполів [3].

Таким чином, діелектрична проникність  $\varepsilon$  є відносною діелектричною проникністю. Абсолютна діелектрична проникність  $\varepsilon$  (У системі СІ) є величиною  $\varepsilon_0$ . Тут  $\varepsilon_0$  – електричну постійну ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м) іноді називають діелектричною проникністю вакууму. У

діелектриках значення  $\varepsilon'$  та  $\operatorname{tg}\delta$  вимірюються частотою яка коливається в широкому діапазоні  $10^{-5} - 10^{10}$  Гц.

Безперервні вимірювання частоти зазвичай виконуються з науковою метою, але на практиці деякі вимірювання виробляються на деяких стандартних частотах контролю та оцінки діелектричних матеріалів, тобто. вимірювання при  $10^{-2} - 10^{-4}$  Гц або менше дуже невеликому діапазоні частот в основному виконуються для отримання інформації про поведінку молекул, відповідальних за деформацію при тривалих напругах, процесі генерації зарядів напруги та поляризації в постійному електричному полі. На таких частотах для визначення  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  методи мосту не підходять, оскільки стабілізація мосту займає багато часу. Тому зручно визначати заряд зразка конденсатора, вимірюючи розрядні струми та зв'язки струмів у  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  перетворюючи в Формули Фур'є [3].

При вимірі зарядного та розрядного струмів конденсаторів, поміщаючи електроди в посудину з поверхнею  $S$  і товщиною від 0,002 до 15 мм встановлюють у вимірювальну коробку, і електроди підключаються до електрометричного підсилювача і джерела постійної напруги.

Вихід електрометричного підсилювача підключено до монітора. Зразку дається миттєва (каскадна) напруга з характерною залежністю від часу струмом. Спочатку струми швидко ростуть, а потім зі часом уповільнюються.

Після вимірювання струму протягом часу  $t$  напруга відключається і струм реєструється шляхом підключення заземлення до електрода вище.

Зарядний струм є сумою струмів полярності та провідності та визначається електричним опором струму, який є постійним у часі. Провідність може компенсувати поляризовані струми, де  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  можуть привести до неточних результатів. Щоб уникнути цього, струм провідності повинен бути відключений від номінального струму розряду. Зазвичай струм розряду майже дорівнює струму полярності, має протилежний напрямок. Поляризована частина струму заряду вводиться в макроскопічний струм іонів  $ip$ , який може бути незворотним і відрізнятиметься від струму розряду  $ip$ . Струм провідності може бути визначено шляхом віднімання струму розряду від струму заряду. Струм можна знайти, помістивши компонент полярності  $i(t)$  (або струм розряду) до ряду Фур'є.

$$i(t) = a_0 / 2 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots a_n \cos n\omega t + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + \dots b_n \sin n\omega t,$$

де  $a_1, a_2, \dots, a_n$  мають значення  $\varepsilon''(\omega), \varepsilon''(2\omega), \dots, \varepsilon''(n\omega)$  та  $b_1, b_2, b_3, b_n$  мають значення  $\varepsilon'(\omega), \varepsilon'(2\omega), \dots, \varepsilon'(n\omega)$  Для кожного  $\omega$  значення  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  визначається по формулі Фур'є.

$$\varepsilon' = \left( \frac{1}{\varepsilon_0 E} \right) \int_0^\infty i \cos \omega t dt; \quad \varepsilon'' = \left( \frac{1}{\varepsilon_0 E} \right) \int_0^\infty i \sin \omega t dt.$$

Частота визначається по формулі:  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ ,

де  $f$  – частота,  $t$  – час, вимірний від початку заряду. Діелектрична втрата визначається знаходженням обох величин.

**Висновок.** Очевидно, діелектричні втрати мало змінюються у діапазоні частот  $10^1 - 10^3$  Гц. Значення становить  $\operatorname{tg}\delta \approx 1,7$ . Це вказує на те, що новий зразок трансформаторної олії TRM-AA відповідає діелектричних втрат звичайних стандартних трансформаторних олій.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

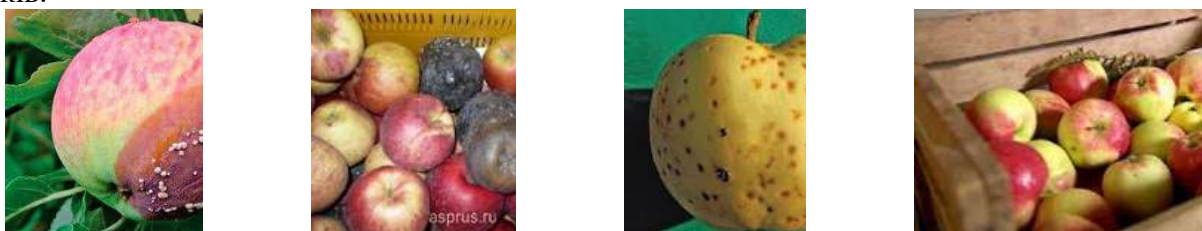
1. High-k Gate Dielectrics / Michel Houssa. – CRC Press, 2004. – 601 p. – (Series in Material Science and Engineering). – ISBN 0750309067.
2. Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P., Varadan V. V., Varadan Vijay K. Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization. – New York: Wiley, 2004. 549 p.
3. Способ измерения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь трансформаторного масла / Абдуназаров Ахлиддин Абдурашитович, Хамидов Босит Набиевич, Кучкаров Хошимжон Ортикович. Коллоидная химия. № 10 (64), Октябрь, 2019 г. ХИМИЯ и БИОЛОГИЯ. UNIVERSIUM

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЯБЛУК

Косуліна Н. Г., д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)  
 Коршунов К. С., асистент, e-mail: [k.s.korshunov@gmail.com](mailto:k.s.korshunov@gmail.com)  
 Штифура В. В. магістр, e-mail: [shtyfura24@gmail.com](mailto:shtyfura24@gmail.com)  
 Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Забезпечення населення плодовою продукцією визначається не лише рівнем виробництва, але і ефективною організацією її зберігання.

Значна доля втрат плодів (до 30% і більше) в період зберігання доводиться на поразку їх фізіологічними розладами і грибковими хворобами (рис. 1). Існуюча система зберігання плодів з регульованим газовим середовищем (РГС) з достоїнствами характеризується і рядом недоліків.



**Рисунок 1**

Проте, знищення фізіологічних і грибкових хвороб плодів яблуни може бути отримане тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів електромагнітного поля (ЕМП).

Для визначення цих параметрів були проведені дослідження по розподілу електричного поля усередині тонкого сферичного шару з мікроорганізмами на основі моделі, яка представлена кулею, заповненою ізотропним однорідним середовищем з діелектричною і магнітною проникністю. Завдання полягає у визначенні цього поля як усередині, так і поза біооб'єктом. Оскільки біооб'єкт, (яблука) має сферичну симетрію, то розглядатимемо завдання про дифракцію в сферичній системі координат з початком в центрі біооб'єкту.

Теоретичний аналіз показав, що для знищення мікроорганізмів на поверхні [1, 2] слід проводити з використанням електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 73 – 77 ГГц, експозицією 60...80 с., потужністю 650...750 мВт і відносною нестабільністю частоти  $10^{-7}...10^{-8}$ .

**Мета досліджень.** Дослідження впливу ЕМП крайвисокочастотного (КВЧ) діапазону для знищення мікроорганізмів, отримання оптимальних біотропних його параметрів, розробка високостабільного електромагнітного джерела.

**Основні матеріали досліджень.** Рішення даної задачі, пов'язане з визначенням структурної схеми високостабільного електромагнітного джерела в діапазоні частот на основі фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ), зводиться до визначення елементів системи перенесення спектру від кварцового генератора в міліметровий діапазон.

Оптимальні параметри схеми генератора КВЧ діапазону визначаються за критерієм мінімуму дисперсії частоти (фази) коливань вихідного сигналу генератора, що синхронізується. Показники системи перетворення частоти цілком визначаються показниками ФАПЧ: смугами захоплення і утримання, стійкістю, що фільтрує здатністю, числом кілець ФАПЧ. Для аналізу стійкості системи ФАПЧ за критерієм Гурвіця було використаний запис процесів за допомогою диференціального рівняння. Розрахунки показують, що система ФАПЧ має запас стійкості. На основі проведених досліджень було встановлено, що для першого кільця потрібний помножувач з коефіцієнтом множення  $N_1=150$ , а для другого кільця з коефіцієнтом множення  $N_2=0$ . Множення частоти в першому кільці джерела здійснюється від кварцового генератора з частотою 50 МГц і відносною нестабільністю частоти  $10^{-7}...10^{-8}$ .

З усіх каскадів множення в сумарну спектральну щільність потужності фазових шумів найбільший вклад вносить перший каскад, оскільки його власні шуми множаться подальшими каскадами. Тому вхідний каскад помножувача з  $n=5$  повинен поміщатися першим. На відміну

від вхідних каскадів, що визначають фазові флуктуації, подальші підсилювально-помножувальні каскади окрім множення частоти повинні посилити вихідний сигнал до рівня необхідного для нормальної роботи помножувачів на діодах з накопиченням заряду (ДНЗ). Для кращої фільтрації паразитних гармонік і забезпечення стикування з діодом з накопиченням заряду (ДНЗ) слідує, щоб крайовий каскад працював в режимі посилення, а для забезпечення стійкої роботи необхідно чергувати каскади посилення і множення.

Кварцовий резонатор типу КХ-9В працює на першій механічній гармоніці з частотою 50 МГц. З отриманих залежностей виходить, що потужність на виході кварцового генератора складає 25...28 мВт, відносна нестабільність частоти за  $\tau_u = 10^{-3}$  с дорівнює  $10^{-8}$ , а спектральна потужність фазових шумів сигналу на виході кварцового генератора складає -134 дБ/Гц при частоті налаштування від  $F = 10$  кГц. Далі експериментально були розглянуті помножувачі і підсилювачі в кільцях ФАПЧ генератора.

У діапазоні до 300 МГц застосовувалися помножувачі з коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) по входу 2 одиниці, а по виході не більше 2,5. ККД множників складає від 23 до 25%. Для отримання максимальної потужності на виході ДНЗ було застосований підсилювач, зібраний за балансною схемою. Балансний підсилювач, об'єднаний на вході і виході квадратурними НВЧ мостами, на транзисторах 2Т918Б. При  $P_{ex} = 250$  мВт (одне плече модуля) на частоті 500 МГц підсилювальний каскад на виході має  $P_{вих} = 1$  Вт,  $K_p = 4$ , ККД = 28%.

У другому кільці ФАПЧ застосований помножувач, зібраний на лавино-пролітному діоді типу 2А762А з вхідною потужністю 250 мВт і вихідний 50 мВт. Рівень бічних складових в помножувачі що нижче рівня несе не менше 22 дБ. При вхідній потужності помножувача 250 мВт потужність на виході складає 50 мВт. Рівень побічних складових що нижче рівня несе не менше чим 22 дБ. В якості синхронізуючого каскаду, на виході генератора був застосований відкритий бочкоподібний резонатор на трьох діодах 2А762А. У цій конструкції на частоті 75 ГГц була отримана потужність 750 мВт при ККД підсумовування потужності 80 %. Короткочасна відносна нестабільність частоти на виході складала  $10^{-8}$  за час вимірів  $10^{-3}$  с, а міра пригнічення дискретних складових у вихідному сигналі не менше 48 дБ.

Електронна перебудова частоти здійснюється варікапом з крутизною перебудови 600 МГц/В. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлені, що для обробки яблук електромагнітним випромінюванням перед їх зберіганням слід використати джерело КВЧ випромінювання. Для досліджень по обробці ЕМП випромінюванням яблук сорту «Голден» була розроблена пересувна установка. Для транспортера використовується фторопласт-4 з характеристиками: відносна діелектрична проникність 1,9; тангенс кута діелектричних втрат на частоті 75,8 ГГц  $(1.2) \times 10^{-4}$ . Технічні характеристики установки для обробки яблук : робоча частота 75,8 ГГц; короткочасна відносна нестабільність частоти  $10^{-8}$ ; вихідна потужність 650 мВт; крутизна електронної перебудови 600 МГц/В.

**Висновок.** Для тривалого зберігання яблук їх слід опромінювати електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота  $75,8 \pm 0,1$  ГГц; потужність на поверхні яблук  $650 \pm 0,5$  мВт; час експозиції  $60 \pm 5,0$  с., температура довкілля  $18 \dots 20^\circ\text{C}$ . Застосування ЕМП КВЧ для обробки яблук дозволило знищити мікроорганізми на їх поверхні і збільшити термін зберігання яблук до 120 діб при температурі  $18 \dots 20^\circ\text{C}$  в умовах зовнішнього середовища.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анализ распределения электромагнитного поля при облучении биологических веществ / Косулина Н. Г., Черенков А. Д., Сингатулин // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Вип. 186. – 2017. – С. 153 – 154.
2. Analysis of the electromagnetic field of multilayered biological objects for their irradiation in a waveguide system / V. Ppriadukhin, I. Popova, N. Kosulina, A. Cherenkov, M. Chorna // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №6/5(90). – P. 58 – 66.



## ІНОВАЦІЇ В ІОНІЗАЦІЇ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Косуліна Н. Г., д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)

Лебідь Д. А. магістр, e-mail: [dmitriylebed2016@gmail.com](mailto:dmitriylebed2016@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Молекули в повітрі, яким ми дихаємо, несуть електричні заряди, позитивно або негативно заряджені молекули (найчастіше кисень) називаються аероіонами (або іонами кисню). І наявність іонів в чистому повітрі – екологічна потреба будь якого біологічного об'єкту. Зміст позитивних і негативних іонів в атмосферному повітрі і їх співвідношення може змінюватися в залежності від пори року, географії, погодних умов і дуже сильно залежить від забруднення повітря [1 – 2].

У повітрі, яким ми дихаємо, завжди є частинки обох полярностей, а це означає, що організм потребує як позитивно, так і негативно заряджених іонів.

У природній екології джерелом іонізованого кисню є рослини, переважно хвойні дерева (сосни, ялини). Заряджені частинки потрапляють в повітря під час грози, під впливом ультрафіолетових променів, за рахунок рентгенівського або теплового випромінювання, в місцях дрібного дроблення води (водоспади). Іонізація повітря (особливо штучна) зменшує кількість пилу і мікроорганізмів в 2...4 рази, а відносну вологість повітря – в 5...8%. Зменшення пилу пояснюється тим, що частинки пилу під впливом аероіонів значно збільшують свій заряд і розміри, внаслідок чого швидко осідають. Зменшення кількості мікроорганізмів, мабуть, пов'язане з блокуванням ферментної системи мікробної клітини аероіонами, внаслідок чого клітина споживає менше кисню та виділяє більше вуглекислого газу. Така клітина краще фагоцитуються лейкоцитами в крові.

Зазвичай в 1 см<sup>3</sup> зовнішнього повітря міститься 250...450 тисяч легких негативних іонів, в повітрі приміщень тварин кількість цих іонів знижується до 50...100 на 1 см<sup>3</sup>. Для штучної іонізації повітря використовується наступне обладнання: електроефлювіальні люстри, антенний іонізатор систем NIL, AF-2, AF-3 та інше обладнання.

Таким чином, штучна іонізація повітря є дешевим і надійним способом поліпшення мікроклімату і підвищення продуктивності і безпеки тварин.

В нормативних документах ветеринарії та санітарії рекомендовані оптимальні режими іонізації у профілактичних цілях. Високі концентрації аероіонів (понад 400...700 тис. на см<sup>3</sup>) викликають у тварин депресію, задишку і навіть набряк легені. Однополярні іонізатори рекомендується використовувати у приміщеннях за відсутності людини, оскільки утворюється сильне електростатичне поле, що, дуже шкідливо, так як пил, що літає в приміщенні отримує заряд, а у кращому випадку осідає на стін; уніполярні прилади категорично не можна використовувати в безперервному режимі, оскільки вони виробляють озон; біполярні іонізатори повітря виробляють як негативні іони, так і позитивні. Дія негативних та позитивних іонів на організм біологічних об'єктів зовсім різна, потребує додаткових досліджень та аналізу [3 – 4].

**Мета досліджень.** Дослідження технологій для аероіонізації повітря в тваринницьких приміщеннях на основі біполярної іонізації, аналіз сучасного та іноземного обладнання (переваги та недоліки).

**Основні матеріали досліджень.** Біполярні іонізатори, як впливає з назви, виробляють як позитивні, так і негативні іони, припускаючи, що вони заряджатимуть частинки, що плавають, і змушуватимуть їх збиратися і випадати з повітря. Вони використовують електрику для створення іонів, які викидаються у повітря з метою зменшення кількості забруднюючих речовин. Біполярна іонізація розщеплює молекули в повітрі, такі як водяна пара, на позитивно та негативно заряджені іони. Іони виникають у природі і є атомами, які мають більше або менше електронів, ніж зазвичай.

Ці протилежні заряди притягуються один до одного, утворюючи з'єднання. Звичайною іонною сполукою, яку ми бачимо у повсякденному житті, є сіль (хлорид натрію). У цьому

поєднанні натрій заряджений позитивно (на один електрон менше), а хлор негативно заряджений (на один електрон більше). У разі біполярної іонізації позитивні та негативні іони оточують частинки повітря. Ця додана маса допомагає частинкам повітря падати на підлогу і тягнутися до повітряного фільтра будівлі, щоб видалити їх із повітря. Більше того, оскільки позитивні та негативні іони оточують частинки повітря, які включають патогени (наприклад, віруси, бактерії, суперечки плісняви), іони відтягують водень від патогену. У разі вірусу водень відокремлюється від його білкової оболонки.

Водень є ключовим компонентом реальної структури білкової оболонки вірусної, і без нього вірус не може заразитися. Думайте про зовнішні білки вірусу як про ключі. Вони повинні відповідати правильному замку (білкам на поверхні нашої клітини). Через зміну форми ключа в результаті видалення водню він більше не може розміщуватися в замку і заражати нас.

На рис. 1 – 5 представлена інноваційна технологія та сучасне обладнання на основі біполярної іонізації.



Рисунок 1 – Загальний вигляд



Рисунок 2 – GPS-iMOD Модульний пристрій для біполярної іонізації повітря



Рисунок 3 – GPS-iMOD Модульний пристрій для біполярної іонізації повітря

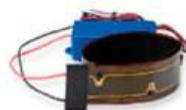


Рисунок 4 – GPS-iRIB-18 Гнучкий пристрій для біполярної іонізації повітря 18 дюймів



Рисунок 5 – GPS-FC-3-BAS Пристрій для біполярної іонізації - очищення повітря

Технологія GPSNPBI очищає повітря в приміщенні, виробляючи високу концентрацію позитивних і негативних іонів, доставляючи їх в приміщення через системи вентиляції та кондиціонування. У повітряному потоці іони приєднуються до твердих частинок, об'єднуючи їх, роблячи їх більшими та важчими - тоді вони швидше осідають або легше фільтруються з повітря. Коли іони вступають в контакт з патогенами, вони руйнують поверхневі білки патогенів, роблячи їх неактивними. Всі продукти GPS використовують технологію голчастої біполярної іонізації Needlepoint Bipolar Ionization – NPBI і відповідають стандартам UL і CE. Завдяки NPBI продукти GPS значно покращують якість повітря, скорочуючи кількість твердих частинок, неприємних запахів і патогенних мікроорганізмів, летких органічних сполук, а також економлять до 30% енергії та знижують рівень викидів вуглекислого газу.

**Висновок.** Технологія GPSNPBI та обладнання, яке використовується для іонізації тваринницьких приміщень скорочує тверді частки; зменшує кількість патогенів, бореться з легкими органічними сполуками, запахами, економить енергію.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Енергія іонів. [https://npbi.com.ua/#how\\_it\\_works](https://npbi.com.ua/#how_it_works)
2. Іонізація повітря. [https://studbooks.net/1065123/agropromyshlennost/ionizatsiya\\_vozduha](https://studbooks.net/1065123/agropromyshlennost/ionizatsiya_vozduha)
3. Хренов Н. Аэроионизация в животноводстве / Н.М. Хренов. – К.: УАСХ, 1993. – 206с.
4. Демчук М.В. Гігієна тварин / М.В. Демчук, М.В. Чорний, М.О. Захаренко, М.П. Високос // Підручник – друге видання – Х.: Еспада, 2006. – С. 54 – 56.

МОБІЛЬНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОЇ ДЕЗІНФЕКЦІЇ

Косуліна Н. Г., д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)  
 Очеретна М. В., магістр, e-mail: [m0508622454@gmail.com](mailto:m0508622454@gmail.com)  
 Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сонячне світло – важливий біологічний фактор у житті тварин. Покращує продуктивність та здоров'я: покращується перебіг обмінних реакцій в організмі, збільшується споживання кисню та виділення вуглекислого газу та водяної пари, покращується робота органів травної та інших систем життєдіяльності. Потужний дезінфікуючий фактор: посилює бактерицидні властивості крові, послаблює та руйнує шкідливо діючі мікроорганізми. При утриманні тварин та птиці в ізольованих приміщеннях вони часто хворіють через високий вміст бактерій у повітрі. Нестача природного світла зменшує приріст ваги тварини. Корови починають давати менше молока, кури – яєць, потомство народжується слабшим. Все це відбувається тому, що в крові тварин та птиці зменшується кількість гемоглобіну, еритроцитів, білка та кальцію. Ультрафіолетові промені багатогранно впливають на організм тварин та птиці, створюючи сприятливий мікроклімат для їх утримання. Дія кожного УФ-діапазону по-різному. Ультрафіолетові промені області УФ-С знищують мікроорганізми та віруси. Ультрафіолетові промені УФ-С руйнівні впливають на структуру ДНК, білок та біологічні мембрани мікроорганізмів. Клітини, в які вони проникають, зазнають пошкоджень на генетичному рівні і далі не можуть нормально функціонувати – випромінювання позбавляє віруси та бактерії можливості розмножуватися.

Нестачу ультрафіолетового випромінювання потрібно заповнювати штучно. На ринку є різноманітні УФ-лампи. Деякі відомі виробники УФ-світла перераховані в табл. 1.

**Таблиця 1. Поширені джерела УФ-лампи та застосування**

<i>Manufacturer/ retailer name</i>	<i>Related products</i>
Once Inc.	UVC chamber (various types and sizes)
Ushio America Inc.	UV bulbs (germicidal, excimer, LED)
CureUV	UV bulbs, sensors, and a variety of applications
Atlantic Ultraviolet Corp.	UV bulbs, UV systems (air, surface, water, etc.), and accessories (ballasts, quartz tubes, etc.)
American Ultraviolet	Germicidal solutions (HVAC, air, water, food, lab, etc.)

Бактерицидні ультрафіолетові лампи низького тиску (200...280 нм) використовуються для дезінфекції. За зовнішнім виглядом УФ-лампочки зазвичай поставляються з прозорою кварцовою трубкою, а УФА-лампи black light (BL) або чорний світло-блакитний (BLB) іноді мають білу або синю кришку. Поширені типи УФ-ламп показані на рис. 1.



**Рисунок 1 - Поширені типи УФ-ламп, доступних на ринку**



**Рисунок 2 - Різні моделі високопотужних настінних і пересувних опромінювачів**

**Мета досліджень.** Аналіз методів та мобільних пристроїв для ультрафіолетової дезінфекції приміщень.

**Основні матеріали досліджень.** Технологічний прогрес останніх років сприяв розробці складних систем дезінфекції, особливо характеризується появою дезінфекційних роботів УФ-С. Ці роботизовані пристрої використовують бактерицидні характеристики ультрафіолетового світла, щоб забезпечити значний рівень знищення патогенів у різноманітних конфігураціях. (рис. 2).

У табл. 2 наведено опис цінового діапазону, демонструючи, що ці роботизовані пристрої пов'язані зі значними витратами, які часто перевищують у середньому 50 000 доларів США. Загальною особливістю цих систем є використання ламп UV-C.

**Таблиця 2. Сучасний стан комерційних систем дезінфекції роботів**

Name Name	Price Range	Disinfection System	Human Det. System
Xenex Lightstrike	USD 100,000– USD 125,000	Mobile base with 1×PXF-UV-C	4×PIR Sensor
Tru-D Smart UV-C	USD 100,000– USD 125,000	Static base with 12×Double LPM UV-C	NO
UVD Robot	USD 60,000– USD 100,000	Mobile base with 8×LMP UV-C	2×RGB-D Camera
Helios	USD 90,000– USD 100,000	Mobile base with 5×LMP UV-C, parabolic reflector	Motion sensors not on the robot
BKS-UVRobot-200	Не було знайдено	Mobile base with 10×Quartz Lamp UV-C	NO
Honeywell Cabin System	USD 10/single use	Static base with multiple size LMP UV-C	NO
Keenon M2 Robot	USD 41,000– USD 50,000	Mobile base with 4×LPM UV-C and spray(15L)	NO
SIFROBOT-6.59	USD 20,000– USD 25,000 M	Mobile base with 6×LPM UV-C	NO
ZENZOE	USD 90,000– USD 100,000	Static/Mobile base with 4×LPM UV-C	NO
FARYUAN FYB-K3	Не було знайдено	Mobile base with 4×Quartz Lamp, 2×LED UV-C and spray	NO

Системи роботів надають різноманітні варіанти мобільності, можуть рухатися в будь-якому напрямку на підлозі, фокусуючи вертикально фіксоване світло УФ-С там, де це необхідно. Поява автономних можливостей є важливою віхою в розробці дезінфікуючих роботів, що дозволяє їм виконувати складні протоколи дезінфекції з меншою участю людини. Це має потенціал для зменшення операційних вузьких місць, підвищення ефективності та висвітлення технологічних досягнень.

**Висновок.** Однак перспективним, інноваційним кроком є використання світлодіодів UVC для постійної дезінфекції. У порівнянні зі звичайними ртутними лампами, світлодіоди стійкі до вібрацій, випромінюють хвилі з більшою мікробіологічною ефективністю, які дезактивують віруси, бактерії та грибки, і не мають періоду прогріву. Крім того, вони взагалі не містять ртуті, тому безпечні для навколишнього середовища.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Peiyang LiPeiyang LiJacek A KozielJacek A KozielJeffrey James ZimmermanJeffrey James ZimmermanShow all 6 authors. Basics of ultraviolet C (UV-C) light: considerations for use at livestock production facilities, December 2020. Conference: 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting, July 12-16, 2021. DOI: [10.13031/aim.202100154](https://doi.org/10.13031/aim.202100154)

2. Citation: Bratu, D.-V.; Zolya, M.-A.; Moraru, S.-A. RoboCoV Cleaner: An Indoor Autonomous UV-C Disinfection Robot with Advanced Dual-Safety Systems. Sensors 2024, 24, 974. <https://doi.org/10.3390/s24030974>



## МЕТОДИ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ҐРУНТУ

Косуліна Н. Г., д.т.н., проф., e-mail: [kosnatgen@ukr.net](mailto:kosnatgen@ukr.net)

Ткаченко А. І., магістр, e-mail: [anhelyaina@gmail.com](mailto:anhelyaina@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Дезінфекція ґрунту перед посівом має вирішальне значення, оскільки допомагає знищити шкідливі мікроорганізми, які можуть бути присутніми у ґрунті. Ці мікроорганізми можуть викликати різні захворювання рослин та негативно впливати на зростання насіння та розсади.

Профілактика захворювань рослин є ще однією важливою причиною дезінфекції ґрунту перед посівом. Згодом у ґрунті можуть накопичуватися грибкові та інфекційні захворювання, які можуть призвести до поганого зростання і навіть загибелі рослин. Дезінфекція ґрунту може допомогти запобігти поширенню цих захворювань та забезпечити здорове зростання рослин. Дезінфекція ґрунту також може покращити проростання та зростання насіння. Видаливши шкідливі мікроорганізми та хвороботворні мікроорганізми, ґрунт стає більш сприятливим середовищем для зростання насіння. Сучасні технології обробки сільськогосподарських культур включають, як правило, хімічні методи боротьби; зі шкідниками, хворобами та бур'яном. Використання хімікатів призводить до насичення ґрунту, рослин та плодів шкідливими для людини та природи хімічними сполуками. Для зниження хімічного навантаження на ґрунт, актуальним є використання альтернативних методів обробки ґрунту та рослин, до яких належать ультрафіолетові, інфрачервоні, надвисокочастотні (НВЧ), електричні методи. На рис. 1 представлені різні методи стерилізації ґрунтів.

**Мета досліджень.** Аналіз методів стерилізації ґрунту. Виявлення недоліків та переваг кожного із заявленого в роботі.

**Основні матеріали досліджень.** Найбільш поширені методи стерилізації ґрунту є *парова та термічна обробка*. Обидва методи дозволяють ефективно знищувати шкідливі мікроорганізми та насіння бур'янів, але мають деякі недоліки. Обробка паром може бути дорогою та трудомісткою, а термічну обробку важко контролювати, і вона може пошкодити структуру ґрунту. Хоча термічна обробка може ефективно знищити шкідливі мікроорганізми та насіння бур'янів, вона також має деякі недоліки. Наприклад, корисні мікроорганізми також можуть бути знищені, що може негативно вплинути на здоров'я ґрунту та зростання рослин.

*Хімічний метод стерилізації та фумігація* ефективний але токсичний та небезпечний для людини. При даному методі знищується як шкідники так і корисні комахи.

*Соляризація ґрунту* – ефективний метод знищення бактерій та зниження поширеності хвороб, шкідників та бур'янів. Він не завдає шкоди довкіллю, оскільки замість хімікатів використовується сонячне проміння та вода. Завдяки йому покращується також і стан полів. Саме тому дана практика стає все популярнішою у світі. Ефективність соляризації та час, необхідний для обробки, залежить від виду шкідників та хвороб. Наприклад, висока температура ґрунту (від 30 до 33°C) є смертельною для більшості комах, але деякі з них не гинуть ще протягом чотирьох-шести тижнів. Соляризація ґрунту ефективна проти багатьох, але не всіх грибків та бактерій, що вражають рослини. Однак існують недоліки, які треба враховувати, перш ніж починати процедуру: тривалий час обробки; залежність від клімату; можливе забруднення поля залишками пластику. До того ж соляризація ґрунту не є найкращим варіантом для регіонів з холодним кліматом, наприклад Канади та країн Північної Європи. Метою *стерилізації ґрунту озоном* є знищення патогенних мікроорганізмів, таких як бактерії, віруси, грибки і нематоди. 80% бактерій у ґрунті було знищено шляхом 20-хвилинної обробки озоном з дозою 20 г О<sub>3</sub>/м<sup>3</sup>. На жаль, стерилізація ґрунту озоном усуває або інактивує корисні мікроби, включаючи азотфіксуючі бактерії, нитрифікуючі бактерії, нитрифікуючі бактерії та денітрифікуючі бактерії. Надлишок азоту також викликає травми у рослин.





Метод стерилізації паром ґрунту



Метод соляризації ґрунту



Метод мікрохвильової стерилізації ґрунту



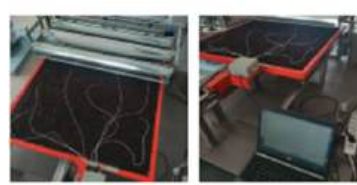
Метод електричної стерилізації ґрунту



Метод стерилізації озонем (система вприскування озону)



Метод фумігації ґрунту (хімічна стерилізація)



Метод стерилізації ґрунту ІЧ та ультрафіолетовим випромінюванням



Метод біологічної стерилізації ґрунту (мікоризотерапія)

**Рисунок 1 – Методи стерилізації ґрунтів за допомогою яких можна знезаразити ґрунт**

Результати досліджень при використанні *методу стерилізації ґрунту ІЧ та ультрафіолетовим випромінюванням* показують, що режим обробки одним інфрачервоним випромінювачем з механічним перемішуванням по відношенню до режиму без перемішування призводить до зниження кількості мікроорганізмів у ґрунті на 84%. Але зниження вмісту мікроорганізмів у ґрунті внаслідок неіонізуючого випромінювання є основою для встановлення конструктивних та технологічних параметрів і режимів роботи машин для обробки ґрунту в пристроях захищеного ґрунту.

*Метод біологічної стерилізації ґрунту використовує* мікоризний гриб утворює безліч корневих волосків, площа поглинання вологи та поживних речовин збільшується, а їх застосування стає ефективнішим. Гриб має здатність перетворювати елементи живлення, які містяться у ґрунті в недоступній формі, на сполуки, що придатні для засвоєння рослиною. Також мікориза є певним захисним щитом від ґрунтових інфекцій. А ще вона підвищує стресостійкість рослини, більшу витривалість в посушливих та інших несприятливих умовах. Даний метод потребує подальшого вивчення та дослідження в польових умовах.

*Електричний метод* найбільш доступний для автоматизації та механізації. Відомі мобільні електричні стерилізатори ґрунту – номер патенту: 1477354, 1482548, 1484306, 1498408, 1611239, 1625353, 1628877, 634153, 1678224, 1727576, 1748675.

*Передпосівна мікрохвильова обробка ґрунту* діє як технологія санітарної обробки ґрунту та призводить до значного збільшення врожайності, як і слід очікувати від інших методів санітарної обробки ґрунту. Обробка мікрохвильовою піччю має ряд важливих переваг перед іншими методами санітарії ґрунту в тому, що вона є чисто термічною за своєю природою та дозволяє отримати негайний доступ до ділянки, коли ґрунт охолоне до температури навколишнього середовища.

**Висновок.** Чим саме буде ґрунт для рослини, залежить передусім від нами вибраного методу. Для того щоб вибрати той чи інший метод стерилізації ґрунту необхідно ретельно вивчити всі фактори які впливають на процес стерилізації (тип ґрунту; наявність бур'янів та способи їхнього видалення; тривалість та терміни обробки, вологість ґрунту, можливість автоматизації процесу, собівартість, ефективність методу при даних умовах та інше).

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електроустаткування та автоматизація сільськогосподарських агрегатів – Пристрої для обробки середовищ електричним струмом. Категорія: Різне-архів. <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/elektrooborudovanie-i-avtomatizaciya-selskohozyaystvennyh-agregatov-12.html>

## ДО ПИТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КУЛЬШОВОГО СУГЛОБУ

Кузнецов О., студент, e-mail: [oleksandr.kuznetsov1@nure.ua](mailto:oleksandr.kuznetsov1@nure.ua),Носова Т. В., кт.н., доц., e-mail: [tatyana.nosova@nure.ua](mailto:tatyana.nosova@nure.ua),

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** Актуальність теми комп'ютерного моделювання кульшового суглоба є надзвичайно високою в сучасній ортопедичній і травматологічній практиці. Поширеність захворювань кульшового суглоба, таких як остеоартрит, дисплазія та травматичні ушкодження, постійно зростає, особливо серед літнього населення [1]. Це стимулює потребу в ефективних підходах до діагностики та плануванню хірургічного лікування, включно із заміною суглоба [2]. Використання комп'ютерного моделювання значно підвищує точність передопераційної підготовки, знижує ризики та оптимізує реабілітаційний період пацієнта.

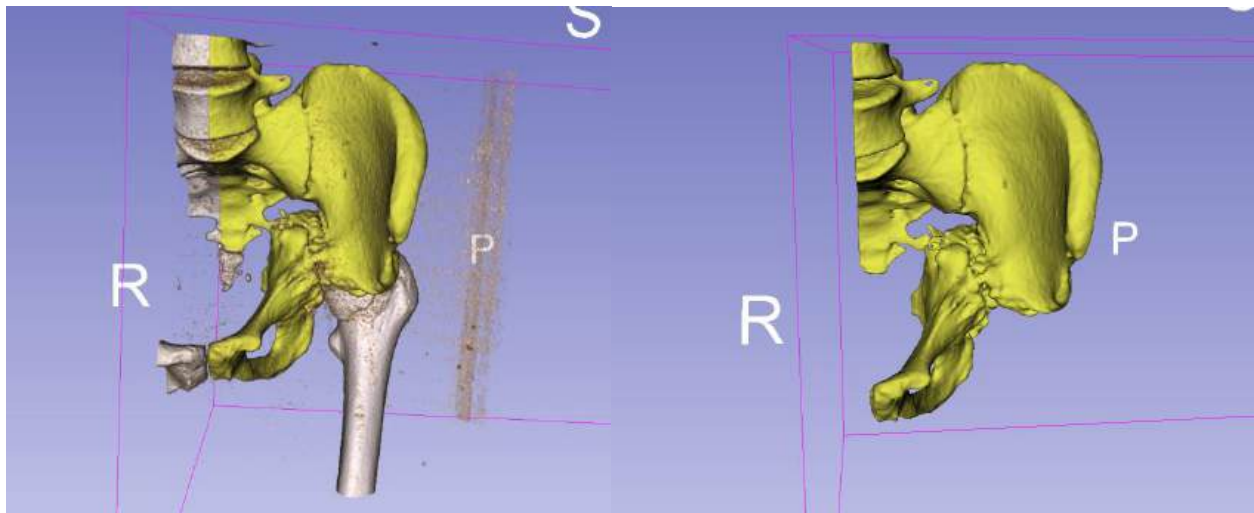
Сучасні методи візуалізації, такі як комп'ютерна томографія (КТ) і магнітно-резонансна томографія (МРТ), дають можливість створення високоточних тривимірних моделей, які відображають анатомічні особливості кульшового суглоба. Це особливо важливо для пацієнтів зі складними анатомічними деформаціями або аномаліями, що вимагають індивідуального підходу до планування операцій [3]. Додатково, комп'ютерне моделювання з використанням 3D-технологій дозволяє проводити передопераційні симуляції, зокрема, віртуальну репетицію хірургічного втручання, що зменшує ймовірність помилок і скорочує тривалість операції. Технології моделювання також активно використовуються для виготовлення індивідуальних імплантатів та інструментів, що значно покращує кінцеві результати лікування [4]. Критично важливим аспектом є точність побудованих моделей, оскільки найменші відхилення можуть призвести до хірургічних ускладнень і непередбачених результатів у постопераційний період [5].

**Мета досліджень.** У цій статті розглядаються математичні методи оцінки точності моделей, створених на основі КТ-даних, а також методи верифікації цих моделей із використанням програмного забезпечення Slicer 5.6.1.

**Основні матеріали досліджень.** Для створення та оцінки точності моделей кісткових структур, зокрема кульшового суглобу, використовуються такі математичні методи: коефіцієнт схожості Дайса (Dice Similarity Coefficient, DSC) для оцінки збігу об'ємів, відстань Гаусдорфа (Hausdorff Distance, HD) для вимірювання максимальних відхилень між поверхнями вихідної та змодельованої структури, а також топологічна оцінка за допомогою числа Ейлера (Euler Number), що дозволяє оцінити структурні характеристики моделі. Програмне забезпечення, що використовується для сегментації та аналізу даних, — Slicer 5.6.1 (рис.1).

Створення моделі включає сегментацію КТ-даних та оцінку точності. Розраховується коефіцієнт схожості Дайса (DSC), відстань Гаусдорфа (HD) та число Ейлера (Euler Number).

Отримані метрики, такі як коефіцієнт Дайса, відстань Гаусдорфа та число Ейлера, демонструють високу ступінь відповідності між вихідною структурою кульшового суглобу та його змодельованою версією. Коефіцієнт Дайса, що дорівнює 0.936, вказує на майже повний збіг об'ємів, а відстань Гаусдорфа, рівна 1.5 мм, показує, що максимальні відхилення між моделями знаходяться в межах допустимого. Число Ейлера, рівне 0, свідчить про правильну топологічну структуру моделі.



**Рисунок 1 – Результат моделювання кульшового суглоба**

**Висновок.** Математичні методи оцінки точності моделей, такі як коефіцієнт Дайса, відстань Гаусдорфа та число Ейлера, дозволяють кількісно оцінити якість побудованих 3D-моделей на основі КТ-даних. Ці методи забезпечують точну верифікацію моделей, що є критичним для їх клінічного застосування у хірургічній навігації та плануванні операцій. Використання програмного забезпечення, такого як Slicer 5.6.1 та плагіна SlicerMorph, дозволяє не лише сегментувати дані, а й проводити детальний морфометричний і топологічний аналіз. Таким чином, розвиток комп'ютерного моделювання кульшового суглоба має потенціал значно покращити якість надання медичної допомоги пацієнтам з патологіями суглобів, скоротити відсоток післяопераційних ускладнень і підвищити точність виконання оперативних втручань.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Куценко В. О. Вивчення дегенеративних захворювань поперекового відділу хребта у військових ЗСУ / В. О. Куценко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2022, 17-20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків : НТУ «ХПІ». – С. 1122
2. Біомеханічні основи протезування та ортезування: навчальний посібник / А. Д. Салєєва, В. В. Семенець, Т. В. Носова, І. М. Василенко, П. О. Басв, С. В. Корнеєв, О. М. Литвиненко, І. В. Карпенко, І. М. Чернишова, І. В. Кабаненко. - Харків: ХНУРЕ, 2022. - 352 с.
3. Конструювання та технології виготовлення ортезів на хребет: навч. посібник / А. Д. Салєєва, О. Г. Аврунін, В. Г. Петров, Т. В. Носова, П. О. Басв, В. В. Півоваров, І. В. Карпенко, С. В. Корнеєв. — Харків: ХНУРЕ, 2022. — 176 с.
4. Чечель Т. О. Аналіз метода ендпротезування суглобів кисті / Т. О. Чечель, Т. В. Носова // «Наукова весна» 2023 : матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 1–3 березня 2023 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП». - 2023. - С.401-403.
5. Чечель Т. О. Особливості моделювання елементів ендпротезу кисті руки / Т. О. Чечель, Т. В. Носова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2022, 17-20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків : НТУ «ХПІ». – С.1145

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ МОДУЛЬНИХ ПРОТЕЗІВ НИЖНІХ КІНЦІВОК НА РЕЗУЛЬТАТ РЕАБІЛІТАЦІЇ

Лизень Д. І., здобувач, e-mail: [dmytro.lyzen@nure.ua](mailto:dmytro.lyzen@nure.ua)

Кузнецов О. В., здобувач, e-mail: [oleksandr.kuznetsov1@nure.ua](mailto:oleksandr.kuznetsov1@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** Актуальність теми дослідження, присвяченій реабілітації осіб із набутою ампутацією нижніх кінцівок підвищується через зростання кількості постраждалих під час військових конфліктів. Технічні засоби реабілітації нижніх кінцівок набувають великого значення у відновленні мобільності та функціональності пацієнтів, забезпечуючи підтримку як фізичного, так і психологічного відновлення. Особливу увагу слід приділити конструктивним характеристикам колінних вузлів і модульних компонентів, що застосовуються в протезуванні, оскільки вони впливають на швидкість і якість реабілітаційного процесу [1-3].

**Мета досліджень.** Метою цього дослідження є порівняння швидкості функціональної реабілітації пацієнтів із двобічними ампутаціями нижніх кінцівок, які використовують модульні технічні засоби реабілітації з колінними вузлами різних типів, зокрема гідравлічними, пневматичними та вузлами із зовнішнім джерелом енергії. Дослідження спрямоване на доведення, що протези з колінними модулями із зовнішнім джерелом енергії сприяють ефективнішому відновленню ходьби завдяки адаптивному контролю фази переносу та запобіганню випадку [4-5].

### **Основні матеріали досліджень.**

#### 1. Біомеханічні основи ходьби при двобічній ампутації нижніх кінцівок

Однією з головних складових аналізу є вивчення біомеханічних процесів ходьби, зокрема фази переносу, опорної фази та переходу між ними. При ампутації нижніх кінцівок хода зазнає суттєвих змін: втрата суглобів і м'язів нижньої частини тіла змушує пацієнта адаптувати рухи, що підвищує потребу в допоміжних конструктивних рішеннях, які компенсують втрачену функцію.

#### 2. Модульні колінні вузли: конструктивні особливості

Колінні вузли є критично важливим компонентом протезів нижніх, які безпосередньо впливають на баланс, стабільність та плавність ходьби. Конструкції вузлів поділяються на три основні типи:

*Гідравлічні вузли:* Забезпечують амортизацію та сприяють адаптивній зміні швидкості руху в залежності від навантаження.

*Пневматичні вузли:* Легші, порівняно з гідравлічними, забезпечують плавність руху, але можуть мати недостатню стабільність при різких змінах темпу.

*Вузли із зовнішнім джерелом енергії:* Використовують адаптивний контроль із застосуванням мікропроцесорів, що забезпечує індивідуальну регуляцію сили та швидкості руху під час фази переносу і підвищує стабільність при ходьбі на пересіченій місцевості та сходах.

#### 3. Порівняння ефективності моделей протезування

Основним критерієм оцінки швидкості реабілітації є можливість виконання стабільних рухів, зменшення витрат енергії під час пересування та зниження ризику падінь. Окрім цього, проводиться аналіз біомеханічних характеристик, таких як:

- час контакту з опорою;
- стабільність фази переносу;
- енергозатрати пацієнта на одиницю переміщення.

У дослідженні також враховуються психологічні та соціальні аспекти, оскільки швидкість реабілітації впливає на повернення пацієнтів до активного життя та зменшує ризик розвитку вторинних патологій, пов'язаних з втратою функціональних можливостей кінцівок.



### Результати дослідження

В процесі дослідження було встановлено, що протези нижніх кінцівок що мають у своєму складі колінні вузли із зовнішнім джерелом енергії демонструють значні переваги у порівнянні з іншими типами [6-7]:

*Покращена стабільність:* Мікропроцесорні вузли автоматично регулюють опір, забезпечуючи плавний перехід між фазами ходьби.

*Адаптивність до навколишніх умов:* Пацієнти з такими протезами можуть безпечно пересуватися на сходах і нерівних поверхнях, що важко досягне з гідравлічними чи пневматичними моделями.

*Зменшення енерговитрат:* Завдяки автоматичному регулюванню під час кожної фази ходьби знижується витрата енергії, що позитивно позначається на витривалості пацієнта та його здатності до тривалих прогулянок.

**Висновок.** Отже, порівняльний аналіз швидкості реабілітації пацієнтів із протезами різних типів підтверджує доцільність використання модульних колінних вузлів із зовнішнім джерелом енергії. Це рішення забезпечує адаптивну підтримку на всіх етапах руху, зменшує навантаження на опорно-рухову систему пацієнта, покращує стабільність та безпеку під час ходьби. Використання таких технічних засобів реабілітації значно підвищує якість життя пацієнтів із двобічною ампутацією нижніх кінцівок, знижуючи ризик травмувань та підвищуючи ефективність функціонального відновлення.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Скляренко Є. Т. Травматологія і ортопедія : підручник / Є. Т. Скляренко. — К. : Здоров'я, 2005. — 384 с. — ISBN 5-311-01383-4.
2. Оперативна хірургія : хірургічні операції та маніпуляції / Свистонюк І. У., Пішак В. П., Лютик М. Д., Ахтемійчу Ю. Т. — К. : Здоров'я, 2001. — 368 с.
3. Королович О. С. Основні вимоги до процесу фізичної реабілітації м'язової дисфункції верхніх кінцівок / О. С. Королович, К. Г. Селіванова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. – Харків : НТУ «ХПІ». – С. 1342.
4. Селіванова К. Г. Використання можливостей інтелектуального робота для прискорення процесу фізичної реабілітації рук / К. Г. Селіванова, О. Г. Аврунін // Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії : матеріали Міжнар. наук.-прак. конф., присвяченої 125-річному ювілею Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 13-14 грудня 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 196-198.
5. Селіванова К. Г. Оцінка ступеню рухових порушень кистей рук під час проведення заходів фізичної реабілітації / К. Г. Селіванова // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (16-20 травня 2023, м. Харків) / редкол.: І. Б. Чеботарьова, О. В. Вовк, Ж. В. Дейнеко. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. Т1. 270 с. – С. 114-115.
6. Конструювання та технології виготовлення протезів верхніх кінцівок: навч. посіб. / А. Д. Салєєва, О. Г. Аврунін, О. М. Литвиненко, О. Г. Скрипка, Л. О. Белєвцова, Т. О. Трофименко, О. С. Істоміна, К. Г. Селіванова. - Харків: ХНУРЕ, 2023. - 226 с.
7. Селіванова К. Г. Використання методів комп'ютерного зору для детектування рухів рук людини під час тестування у неврології / К. Г. Селіванова // Медико-психологічні аспекти реабілітації й абілітації в епоху турбулентності. Збірник наукових праць за загальною редакцією Заслуженого лікаря України, професора О.А. Панченка. 2021. Київ. КВІЦ. 420 с.– С. 277-279.



АНАЛІЗ БІОЛОГІЧНИХ ЗРАЗКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ  
МЕТОДУ ПОРОЖНИННИХ ЗБУРЕНЬ

Ляшенко Г. А., к.т.н., доц., e-mail: [lyashgen@gmail.com](mailto:lyashgen@gmail.com)

Полянова Н. В., e-mail: [nadya.polysnjva@btu.kharkov.ua](mailto:nadya.polysnjva@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність досліджень.** Серед різних аналізів крові, які використовувалися в дослідженнях, що вивчають біомаркери в біологічних аналізах, найменш широко застосовуються діелектрична проникність і провідність. Діелектрична проникність є мірою поляризованості матеріалу і, отже, його здатності зберігати заряд [1]. Провідність біологічного зразка виникає в основному як міра здатності зразка проводити заряд, прикладений до нього [1]. Таким чином, з іншого боку, діелектрична проникність і провідність є добре відомими показниками фізіологічної структури зразка, за допомогою яких можна точно оцінити електромагнітні властивості цього біологічного зразка за допомогою методу порожнинних збурень [2].

**Мета досліджень** - показати на прикладі аналізу плазми крові методом порожнинних збурень можливість виявлення патологічних станів біологічних об'єктів.

**Основні матеріали досліджень.** Плазма крові, піддана впливу резонансних частот, налаштованих на максимальне збурення (2000 МГц - 4000 МГц S-діапазону в мікрохвильовому діапазоні), здатна виявити свої складові. Теорія, що лежить в основі цього методу, полягає в тому, що при введенні плазми крові в резонансну порожнину, розподіл поля в порожнині і резонансна частота, як очікується, будуть змінюватися в залежності від біологічних складових зразка. Згідно з теорією порожнинних збурень, комплексний зсув частоти пов'язаний з [3]:

$$-\frac{\Delta\Omega}{\Omega} \approx \frac{\varepsilon_r \int_0^{V_s} E \cdot E_0^* dV}{2 \int_0^{V_c} |E_0|^2 dV'} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta\Omega}{\Omega} \approx \frac{d\omega}{\omega} + \frac{j}{2} \left[ \frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_0} \right]. \quad (2)$$

Прирівнявши (1) і (2) та відокремивши дійсну та уявну частини, отримаємо

$$\varepsilon_r' - 1 = \frac{f_0 - f_s}{2f_s} \left( \frac{V_c}{V_s} \right),$$

$$\varepsilon_r'' = \frac{V_c}{4V_s} \left( \frac{Q_0 - Q_s}{Q_0 \cdot Q_s} \right), \quad (3)$$

де  $\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r''$  - відносна комплексна діелектрична проникність зразка;

$\varepsilon_r'$  - дійсна частина відносної комплексної діелектричної проникності, яка обумовлена поляризаційною складовою;

$\varepsilon_r''$  - уявна частина відносної комплексної діелектричної проникності, пов'язана з діелектричними втратами матеріалу;

$V_s$  і  $V_c$  - відповідні об'єми зразка і резонатора.

Провідність можна пов'язати з уявною частиною комплексної діелектричної проникності наступним чином:

$$\sigma_e = \omega \varepsilon'' = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon_r'' \quad (4)$$

Оскільки електромагнітні властивості біологічних зразків, включаючи плазму крові, залежать від їхніх складових, очікується чітка різниця між нормальним і аномальним зразком крові.

Вимірювання електричних властивостей біологічних зразків може бути новим способом оцінки унікальних властивостей досліджуваної речовини. Хоча цей метод високо цінується в інженерії та біофізиці, його застосування в медичних науках загалом залишається недостатньо вивченим. Лише кілька досліджень були зосереджені на властивостях провідності та діелектричної проникності біологічних зразків, але вони дали цікаві та багатообіцяючі результати [2].

Дослідження, проведені за кордоном [2, 3], продемонстрували, що провідність і діелектрична проникність плазми крові ВІЛ-інфікованих пацієнтів, хімічно індукованого зразка  $A\beta_{42}$  навіть інфікованого слизу вірусом H1N1, що викликає людський грип, відрізняється від поведінки нормальної крові. Застосування певних мікрохвильових частот для вимірювання діелектричної проникності та провідності дозволило дослідникам відрізнити нормальне від аномального людське молоко, людську сперму та кров пацієнтів, інфікованих вірусами ВІЛ/СНІД та H1N1. Крім того, діелектричні властивості плазми крові також використовуються для визначення біомаси, електрокінетичного розділення та характеристики окремих клітин.

Реалізація досліджень у вказаному напрямку можлива тільки при наявності спеціальної мікрохвильової апаратури. В Україні систематизація даних про діелектричні властивості біологічних об'єктів до теперішнього часу не проводилася. Нечисленні дослідження по діелектричній спектроскопії проводилися в обмежених частотних діапазонах і носили обмежений характер. Тому за останній період в Україні були проведені численні дослідження теоретичного характеру, що дало можливість створення широкосмугових по частоті нових засобів вимірювання діелектричних властивостей біологічних об'єктів. На теперішній момент ця задача вирішується на основі спільної праці медиків та технічних фахівців біоінженерних спеціальностей. Обмежені доклінічні та клінічні дослідження, які можуть підтвердити дані, отримані до цього часу, повинні бути розширені, щоб визнати діелектричну проникність і провідність плазми крові надійними біологічними маркерами.

**Висновки.** Викладені теоретичні міркування можуть мати практичне застосування у медико-біологічних дослідженнях, завдяки чому відкривається можливість виявлення певних патологічних змін у крові біологічних об'єктів, наприклад, при лікуванні грипу H1N1, виявленні онкомаркерів, ВІЛ/СНІД-інфекції та інших тяжких захворювань.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка / М. С. Будіщев // Підручник. Львів: Афіша, 2001. – 424 с.
2. E. Dalle. Dielectric Constant and Conductivity of Blood Plasma: Possible Novel Biomarkers for Alzheimer's Disease / E. Dalle, M. Mabandla, V. Daniels // *Oxidative Medicine Cellular Longevity*, 2020. Feb. 13.
3. A. Lonappan. Dielectric properties of human colostrum at Microwave frequencies / A. Lonappan, C. Rajasekharan, V. Thomas, G. Bindu, K. T. Mathew // *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 2007. – 41(2). – P. 30 – 35.

## НЕМЕДИКАМЕНТОЗНІЕ ЛІКУВАННЯ МАСТИТУ СВИНОМАТОК

Михайлова Л. М., к.т.н., проф., e-mail: [mihajlovamesg@gmail.com](mailto:mihajlovamesg@gmail.com)

Подільський державний університет

**Актуальність дослідження.** У сільськогосподарському виробництві України свинарство є однією з найважливіших галузей тваринництва. У світовому виробництві та споживанні м'яса всіх видів свинина займає провідне місце, причому виробництво її неухильно збільшується. Свині характеризуються високим багатопліддям, коротким ембріональним періодом розвитку, скороспілістю і високим забійним виходом.

Всі ці позитивні якості виявляються у свиней за умови їх повноцінного годування і відповідної технології утримування. Недотримання цих умов призводить до захворювання і загибелі великої кількості поросят, особливо в перші три дні їх життя, яке може скласти від 10 до 20% [1, 2, 3].

Основними незаразними хворобами органів розмноження і молочної залози у свиней є: ММА; гострий і хронічний гнійно-катаральний ендометрит; мастит; гипогалактія або агалактія; первинна слабкість родів; затримання посліду, які супроводжуються мертвонароджуваністю і загибеллю поросят в перші години і дні після опоросу, наносячи свинарству країни значний економічний збиток.

У свиней запалення молочної залози в більшості випадків протікає в прихованій (субклінічній) формі, якою уражається до 45...60%, а в окремих випадках до 70...80% функціонуючих доль молочної залози свиноматок. Клінічний мастит реєструється у 12...20% свиноматок.

До найбільш небезпечних бактерій – збудників маститу у свиней можна віднести три категорії: бактерії Coliform; стрептококи, стафілококи; мікроорганізми – псевдомови. Для лікування хвороб свиней в більшості випадків застосовуються тільки медикаментозні засоби: окситоцин; пеніцилін; неоцилін; стрептоміцин; тріметопрім; амоксицилін; фрамецилін; тілозін; енрофлокацин; цефтіофрід та ін., вказані ветеринаром. Як показують медичні дослідження, застосування антибіотиків та інших медикаментів не завжди приводить до одужання тварин і, крім того, лікарські препарати з м'ясом тварин потрапляють в організм людини, що приводить до негативного впливу на її органи. У раді країн (США, Англія, Німеччина) з 1971 року введена заборона на застосування антибіотиків для лікування тварин.

Тому розробка немедикаментозних способів лікування маститу свиноматок є актуальним завданням. Рішення даної задачі можливо на основі застосування інформаційного ЕМП.

**Основні матеріали досліджень.** Аналіз експериментальних досліджень щодо дії ЕМП на фізико-хімічні процеси в біологічних об'єктах, які проводяться: у Харківському НТУСГ ім. П. Василенка під керівництвом Л. Кучина, А. Черепньова, О. Черенкова, Ю. Мегеля, М. Лисиченко, Н. Косуліної; у ІРЕ РАН під керівництвом Н. Д. Девяткова; Національному університеті біоресурсів і природокористування під керівництвом Л. Червінського показує, що найбільший терапевтичний ефект слід чекати від інформаційних ЕМП КВЧ діапазону.

Дані численних досліджень дозволили припустити, що вибором робочих частот (спектру частот) ЕМП можливо добитися сприятливого впливу на хід лікування при багатьох хворобах, як людей, так і тварин. Доведено, що сигнали, подібні ЕМП, виробляються і використовуються в певній меті самим організмом, а зовнішнє опромінювання лише імітує їх.

Проникаючи в організм, ці випромінювання на певних (резонансних) частотах трансформуються в інформаційні сигнали, які здійснюють управління і регулювання відновними процесами або пристосованими процесами в ньому.

Основне застосування інформаційних ЕМП в тваринництві пов'язане з лікуванням і підвищенням продуктивності тварин.

Передбачається, що стимулююча дія інформаційних ЕМП КВЧ діапазону на процес лікування тварин пов'язана з формуванням і перебудовою біорідин, що характеризують процеси їх структурної альтерації. Локальна дія на гнійні протоки вимені свиноматок викликає трансформацію рідкокристалічних структур не тільки безпосередньо в цитоплазмі кліток тканин проток, але і її крові і ізольованих від проток, які запалилися, біорідин.

Безліч ефектів від дії інформаційних ЕМП на біологічні системи пов'язана з водою, яка в конденсованій фазі є суміш гексагональних фрагментів. Гексагональні фрагменти залежно від умов можуть об'єднуватися в кластери різного розміру. Співвідношення концентрації і розміри кластерів визначають структурний стан водного матриксу. Кластерні структури знаходяться в коливальному стані і утворюють систему осциляторів. Синфазні коливання осциляторів здатні викликати конформаційні підстроювання клітинних структур, впливати на проникність мембран і служити інформаційним сигналом для регуляторних систем всього біологічного об'єкта).

Як один з основних механізмів пригноблюючої дії КВЧ випромінювання на інфекційні мікроорганізми розглядається роль біологічних мембран в реакціях мікроорганізмів на ЕМВ.

Механічні порушення і дефекти в мембранах пов'язані з такими важливими біологічними процесами як злиття кліток, лізис, секреція, гемоліз та ін. Слід припустити, що відхилення мембран від рівноваги може здійснитися під дією низькоенергетичних ЕМП за рахунок локального стиснення в подовжньому або поперечному напрямі.

В даний час існують уявлення, згідно яким пробій мембран під дією ЕМ потенціалу обумовлений особливостями поведінки локальних дефектів типу кризної пори в ліпідному шарі. Аналіз методів КВЧ терапії в медицині і тваринництві показав, що терапевтичний ефект від дії ЕМВ залежатиме від використання високостабільних за частотою генераторів з високими вимогами щодо спектрально-флуктуаційних характеристик. Аналіз генераторів КВЧ діапазону, що серійно випускаються, за < такими параметрами, як нестабільність частоти, похибка установки вихідної частоти, діапазон перебудови показав, що вони не можуть бути використані для лікування маститу свиноматок.

Отже, необхідні дослідження зі створення високостабільних джерел ЕМП КВЧ діапазону, що відповідають високим вимогам за спектром вихідних сигналів діапазону перебудови частоти і потужності вихідного сигналу. Найбільш перспективним для лікування маститу свиноматок є генератори, створені на кремнієвих ЛПД.

Проведений аналіз свідчить, що в багатьох роботах відсутня розробка методичних принципів застосування інформаційного ЕІМГІ з лікувальною метою, недостатньо вивчено питання створення математичної моделі, здатної дати аналітичний опис процесів, що відбуваються при такому опроміненні на клітинному та молекулярному рівнях, а також всього організму біологічних об'єктів. Немає методології визначення чисельних значень біотропних параметрів ЕМП, здатних надавати терапевтичний ефект при лікуванні тварин, відсутні необхідні джерела випромінювання в ММ діапазоні довжин хвиль з нестабільністю частот  $10^{-7}$  ...  $10^{-9}$  і вихідною потужністю 250...300 мВт.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Немедикаментозні методи лікування в кардіології та ревматології : навчальний посібник для лікарів, лікарів загальної (сімейної) практики, лікарів терапевтичного спрямування, для лікарів-інтернів за фахом «Загальна практика-сімейна медицина» та «Внутрішні хвороби» / В. І. Кривенко, С. П. Пахомова., І. С. Качан [та ін.]. Запоріжжя : [ЗДМУ], 2020. 164 с.
2. Михайлова Л. М. Застосування електромагнітного поля високої частоти для лікування тварин / Л. М. Михайлова // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2012, № 1/6(55). С. 36-39.
3. Немедикаментозні методи лікування та реабілітації. / Лисенюк В. Л., Київ, 1999. 90 с.

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ  
ДЛЯ ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Михайлова Л. М., к.т.н., проф., e-mail: [mihajlovaimesg@gmail.com](mailto:mihajlovaimesg@gmail.com)  
Семенишина І. В., к.ф-мат.н., доцент., e-mail: [isemenisina@gmail.com](mailto:isemenisina@gmail.com)

**Актуальність дослідження.** Із розвитком соціальної економіки вимірювання та облік енергоносіїв, таких як вода, газ і нафта, мають велике значення для повсякденного життя людей. На атомних електростанціях точне вимірювання потоку живильної води значно підвищить ефективність атомних електростанцій, що важливо під час транспортування газу та нафти на великі відстані. На багатьох підприємствах у технологічних процесах потрібен контроль та облік витрат рідини з досить високою точністю, адже необхідність контролю витрати рідких і газоподібних речовин пов'язана з постійним зростанням цін на енергетичні ресурси.

А отже, виникає необхідність застосовувати точні витратоміри. Це прилади, що вимірюють об'єм або масу речовини: рідини, газу або пари, які проходять через перетин трубопроводу за одиницю часу.

**Мета досліджень.** Дослідити особливості функціонування модернізованих ультразвукових витратомірів залежно від їх конструкції та методів вимірювання.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідимо три типи ультразвукових витратомірів. Перший витратомір з алгоритмами обробки сигналу методом найменших квадратів на основі консенсусу випадкової вибірки й медіанного відхилення. Ці методи мають більшу точність порівняно з традиційним методом найменших квадратів, зокрема за наявності інтерференційних шумів. Другий витратомір ультразвуковий. Використовує алгоритм перехресної кореляції, програмовану користувачем вентильну матрицю та вбудований мікропроцесор для підвищення ефективності роботи, який має високу точність, надійність і широкий діапазон застосування. Третій витратомір зі зменшеним діаметром труби для вимірювання малих витрат.

Існують механічні, електромагнітні, вихрові й ультразвукові витратоміри. Ультразвукові витратоміри це витратоміри, принцип роботи яких заснований на проходженні ультразвукової хвилі через потік рідини або газу. На відміну від інших витратомірів, ультразвукові мають такі переваги: невисока вартість, відсутність рухомих і нерухомих частин у поперечному перерізі, середній динамічний діапазон вимірювань, а також можливість монтажу на трубопроводах великого діаметра (понад 10 метрів).

Ультразвукові витратоміри широко використовуються у водопостачанні, електроенергетиці, нафтовій і хімічній промисловостях завдяки зручному монтажу, широкому діапазону й високій точності вимірювання, навіть у пульсуючому потоці. До важливих характеристик цих витратомірів належить можливість безконтактного вимірювання, відсутність додаткових витрат тиску й обмежень на діаметр труби. Ультразвукові витратоміри працюють у діапазоні частот від 20 кГц до 1000 МГц. Для проходження хвилі та її інтерпретації необхідні приймач і передавач із п'єзоелектричним ефектом. Цей ефект мають такі матеріали: кварц, турмалін, тартрат калію, сульфат літію, титанат барію, цирконат титанату свинцю. П'єзоелектричний кристал, розміщений в електричному полі, зазнає пружної деформації. Це призводить до зменшення або збільшення його довжини відповідно до величини й напрямку полярності поля. Під дією механічного впливу п'єзокерамічний елемент генерує електричний струм, через це їх використовують як випромінювачі й приймачі сигналу [4].

Існують одноканальні, двоканальні й багатоканальні ультразвукові витратоміри відповідно до кількості акустичних шляхів. Перший містить два п'єзоелементи, кожен з яких по черзі виконує випромінювання і приймання. До їх переваг належить відсутність просторової асиметрії акустичних каналів, що залежать від відмінності їхніх геометричних розмірів, а також відмінності температур і концентрації потоку в них. Другий тип має два



випромінювачі два приймачі. Вони утворюють два незалежні акустичні канали, що розташовані паралельно або перехрещуються один з одним. Багатоканальний тип застосовується для вимірювання витрат у деформованих потоках або для підвищення точності. Порівняно з одноканальними й двоканальними ультразвуковими витратомірами, багатоканальні мають кращу адаптивність до змін у розподілі потоку, вищу точність вимірювання, зокрема для труб великого діаметра й складних розподілів потоку [5].

Ультразвукові витратоміри переважно застосовують для вимірювання великих потоків у промисловості й дослідницьких цілях. До недоліків класичних моделей належить нездатність вимірювати надзвичайно низькі витрати. Тому існує попит на проектування і виготовлення ультразвукових витратомірів для вимірювання малих витрат. Вимірювання малих витрат поширене в хімічній промисловості. Зазвичай у біопромисловості, деяких галузях медицини й напівпровідниковій промисловості існує потреба у вимірюванні малих витрат у діапазоні від менш ніж 1 мл/с до декількох десятків або декількох сотень мл/с хімічних розчинів або рідин. Для цього розроблено новий ультразвуковий витратомір зі зменшеним діаметром труби, щоб вимірювати малі витрати. Витратомір працює на основі двох п'єзоелектричних перетворювачів, розміщених на двох кінцях установки, у якій рідина протікає по трубі. Швидкість потоку розраховується вимірюванням часу проходження ультразвуку за допомогою електронної плати на основі перетворювача TDC-GP22 і мікроконтролера ARM (рис. 1) [6].

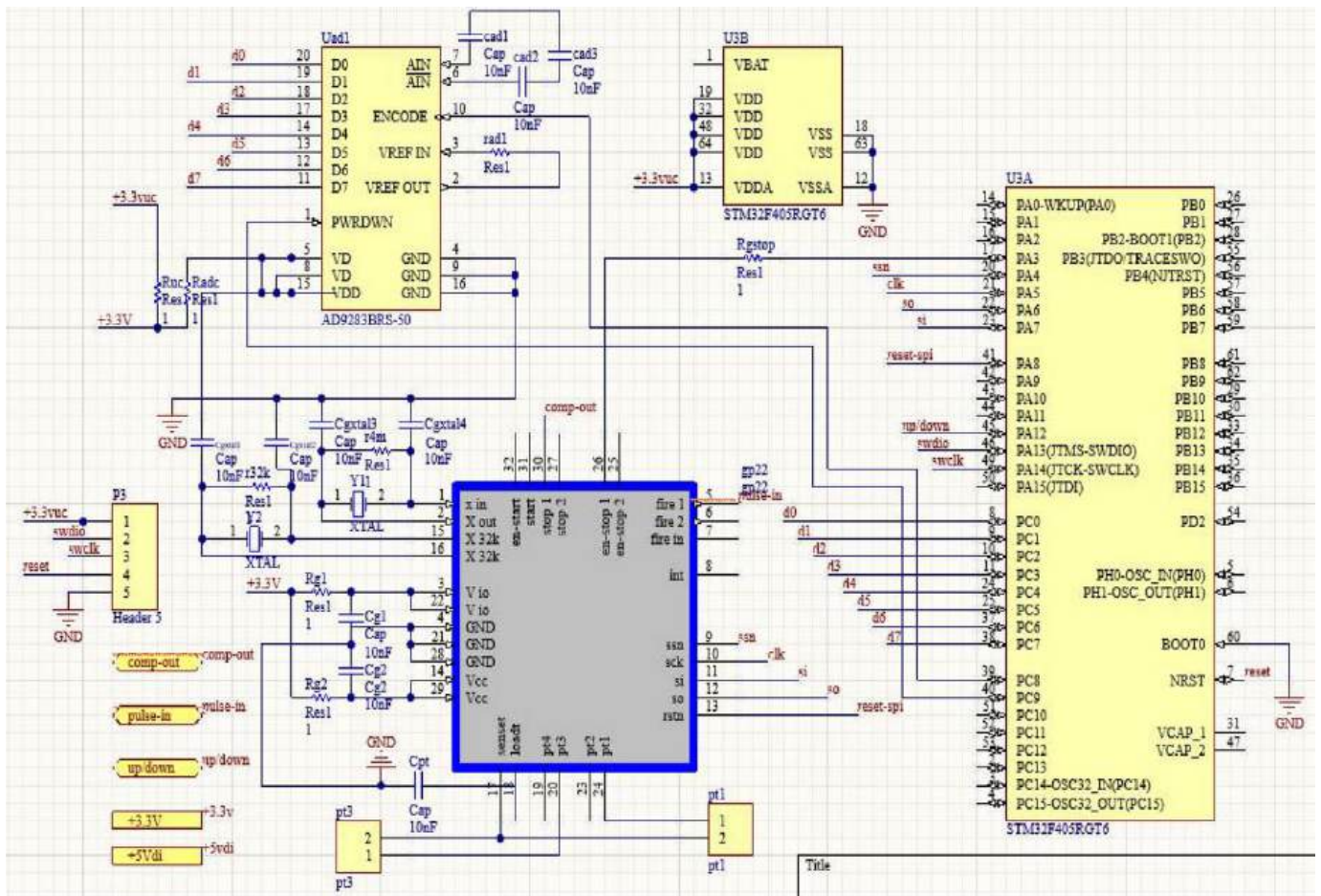


Рисунок 1 – Схема ланцюга вимірювання часу проходження сигналу [6]

**Висновок.** Ультразвукові витратоміри це високоточні прилади, принцип дії яких заснований на поширенні ультразвуку для вимірювання швидкості потоку рухомого тіла через трубопровід. До головних особливостей ультразвукових лічильників слід віднести зручний

монтаж, широкий діапазон і висока точність вимірювання, відсутність додаткових втрат тиску й обмежень на діаметр труби, можливість безконтактного вимірювання) [7].

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Riabov I., & Riabova T. Development of the creative sector of the world economy: trends for the future. *Futurity Economics&Law*. 2021. P. 12–18.
2. Семенець В. В., Аврунін О. Г., Михайлова Л. М., Косуліна Н. Г., Черенков О. Д. Визначення параметрів гідродинамічного випромінювача звукових коливань. *Радіотехніка*. 2019. Вип. 196. С. 167-179.
3. Коломієць К., Гришанова І. Розробка програмного забезпечення автоматизованого проектування витратомірів. *Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*. 2022. Вип. 64 (2). С. 59—66.
4. Sakhavi N., Mohammad Nouri N. Generalized velocity profile evaluation of multipath ultrasonic phased array flowmeter. *Measurement*. 2022. Vol. 187. P. 110302. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110302>
5. Integration Method of Multipath Ultrasonic Flowmeter Based on Velocity Distribution / S. Guo et al. *Measurement*. 2022. P. 112388. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112388>
6. Theoretical and experimental evaluation of small flow rate ultrasonic flowmeter. S. H. Roshanaei et al. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2022. Vol. 44, no. 8. URL: <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03618-4>
7. Михайлова Л. М., Семенишина І. В., Сікора О. О. Використання модернізованих ультра звукових витратомірів для підвищення точності обліку енергоносіїв. *Наука і техніка Науковий журнал: Секція: техніка*. Випуск 3 (17). Київ. 2023. С. 586-596.

ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ  
ЯКОСТІ ЗБРОДЖУЮЧОГО БІОМАТЕРІАЛУ

Павлов С. Г., аспірант, e-mail: [sergpavlov89@gmail.com](mailto:sergpavlov89@gmail.com)

Лисенко В. П., д.т.н., проф., e-mail: [lysenko@nubip.edu.ua](mailto:lysenko@nubip.edu.ua)

Лендел Т. І., к.т.н., доц., e-mail: [taraslendel@gmail.com](mailto:taraslendel@gmail.com)

Наконечна К. В., к.е.н., доц., e-mail: [kln273125@gmail.com](mailto:kln273125@gmail.com)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** У сучасному виробництві, у тому числі аграрному, комп'ютерний зір відіграє все більш вагомий роль, забезпечуючи автоматизоване керування як окремими технологічними процесами, так і виробництвом в цілому.

Виявлення об'єктів, що підлягають автоматизації, та оцінка їх якості - ключове завдання комп'ютерного зору, котре полягає в умінні комп'ютерно-інтегрованих систем керування розпізнавати та локалізувати об'єкти на зображеннях і відео. З кожним роком ця технологія стає все більш надійною і точною, що робить її незамінною у багатьох сферах, як приклад, сільське господарство, автономні транспортні засоби, системи розпізнавання обличчя, тощо. Важливим фактором, що зумовив прогрес у виявленні об'єктів, є відкриття й застосування штучних нейромережових архітектур. Вказані архітектури стали фундаментом для розвитку методів виявлення об'єктів, розширюючи можливості комп'ютерного зору.

Одним із найважливіших завдань в області комп'ютерного зору є об'єктне визначення - здатність системи розпізнавати, класифікувати та сегментувати об'єкти на зображеннях або відео.

**Мета дослідження.** Розробити та впровадити систему комп'ютерного зору, яка дозволяє швидко та об'єктивно оцінювати якість біоматеріалу за результатами аналізу зображень.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження базується на використанні різних методів сегментації зображень, таких як Порогова сегментація, Адаптивна порогова сегментація, Метод Оцу та його варіації (з підвищеним контрастом), Кластеризація методом K-means, Сегментація на основі глибокого навчання (CNN, U-Net). Кожен метод був застосований до зображень біоматеріалу, попередньо перетворених у градації сірого для спрощення аналізу. Ключовими показниками для оцінки стали середнє значення пікселів, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації. Важливим етапом після сегментування є етап аналізу якісних показників об'єкта, тому що на основі цього можна зробити висновки про подальші дії з цим матеріалом.

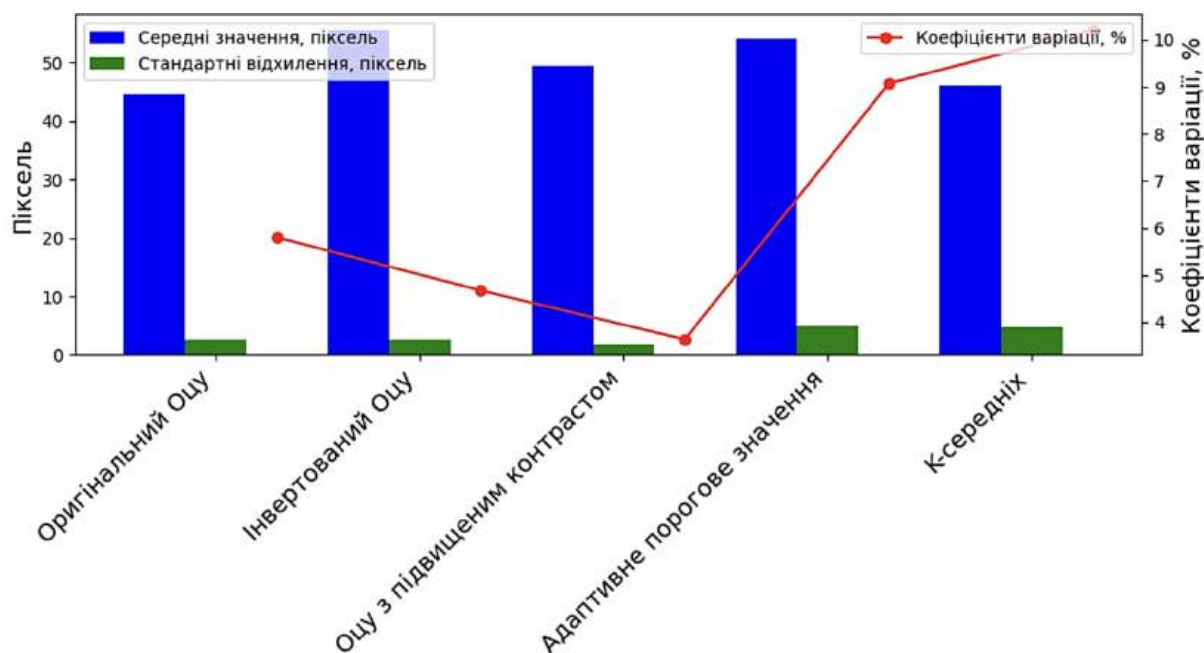
Нами було зібрано набір даних зображень біоматеріалу на полігоні дослідження. Фотофіксація відбувалася в одну пору доби для зменшення впливу рівня освітленості. Кожне зображення було конвертоване в градації сірого для уніфікації та спрощення подальшої обробки. Для вибору кращого методу з названих, ми розрахували за формулою сегментованої площі білі пікселі

$$P = \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \delta(p(i, j) = 255), \quad (1),$$

де: H - висота зображення; W - ширина зображення;  $\delta(p(i, j) = 255)$  - функція, яка дорівнює 1, якщо піксель  $p(i, j)$  дорівнює 255, і 0 в іншому випадку.

За результатами досліджень визначено, що найстабільнішим є метод Оцу з підвищеним контрастом, так як має найменше стандартне відхилення - 1.79 та коефіцієнт варіації - 3.63%, що означає меншу варіативність результатів на різних зображеннях серед обраних методів.

Розрахунок якості зображення ми проводили на основі таких параметрів: середнє значення пікселів, стандартне відхилення пікселів, асиметрія, ексцес та гістограма інтенсивностей пікселів [7].



**Рисунок 1 – Графік порівняння методів сегментації**

**Висновок.** Реалізовано модель системи комп'ютерного зору для системи оцінки зображень біоматеріалу. Використано методи аналізу багатовимірних даних для прийняття рішень щодо експрес-аналізу якості біоматеріалу за його зображенням. Запропоновано кількарівневий підхід оцінки якості біоматеріалу. Автоматизуючи оцінку якості біоматеріалу, ми можемо надати швидкий, об'єктивний інструмент для оптимізації практики щодо підготовки біоматеріалу для зброджування. Продовжуючи вдосконалювати цей метод, та об'єднавши його з показниками температури повітря, газу, біоматеріалу та кількості видобутку газу, ми плануємо зробити більш ефективним виробництво газу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Клювак, А., et al. "Двоетапне сегментування зображення із складним фоном на основі методу Отсу." Вісник Національного університету Львівська політехніка. Комп'ютерні науки та інформаційні технології 843 (2016): 335-341.
2. Bradley, D., & Roth, G. (2007). Adaptive Thresholding using the Integral Image. Journal of Graphics Tools, 12(2), 13–21. <https://doi.org/10.1080/2151237X.2007.10129236>
3. Reza, Ali M. "Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement." Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology 38 (2004): 35-44.
4. DasGupta, Anirban. Asymptotic theory of statistics and probability. Vol. 180. New York: Springer, 2008.
5. Altman D G, Bland J M. Standard deviations and standard errors BMJ 2005; 331 :903 doi:[10.1136/bmj.331.7521.903](https://doi.org/10.1136/bmj.331.7521.903)
6. Wang, Z., Wang, E. & Zhu, Y. Image segmentation evaluation: a survey of methods. Artif Intell Rev 53, 5637–5674 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09830-9>
7. Pajankar, Ashwin. Python 3 Image Processing: Learn Image Processing with Python 3, NumPy, Matplotlib, and Scikit-image. BPB Publications, 2019



## ДЕТЕКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ТА ІНТЕГРАЦІЯ МАШИНИ СТАНІВ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОГО АСИСТЕНТА В ФЛЮОРИСЦЕНТНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ НА ОСНОВІ ФРЕЙМВОРКУ DETECTRON2

Посохова К. А., студ. маг., e-mail: [kateryna.posokhova@nure.ua](mailto:kateryna.posokhova@nure.ua)  
Тимкович М. Ю., д.т.н., доц., e-mail: [maksym.tymkovych@nure.ua](mailto:maksym.tymkovych@nure.ua)  
Аврунін О. Г., д.т.н., проф., e-mail: [oleh.avrunin@nure.ua](mailto:oleh.avrunin@nure.ua)  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** Сучасні виклики, такі як пандемія, військові конфлікти та обмежене фінансування, ускладнюють доступ до спеціалізованого лабораторного обладнання, що обмежує можливості для наукових досліджень і практичних занять. У відповідь на ці обмеження зростає потреба в дистанційному навчанні та супроводі лабораторних процесів. Інтеграція технологій розпізнавання об'єктів на базі глибокого навчання, таких як Detectron2, разом із використанням машини станів (FSM) для керування віртуальним асистентом, дозволяє створити ефект присутності в лабораторії. Це значно розширює можливості віддаленого навчання, зокрема для ознайомлення з обладнанням та забезпечення техніки безпеки.

**Мета дослідження** – розробити віртуального асистента для флюорисцентної лабораторії з використанням Detectron2 і машини станів для підтримки навчальних та експериментальних процесів у дистанційному режимі. Цей асистент повинен забезпечувати розпізнавання основних елементів лабораторного обладнання та допомагати користувачам дотримуватись техніки безпеки.

**Основні матеріали досліджень.** Для створення та навчання моделі віртуального асистента були зібрані фотографії та відеозаписи лабораторного обладнання з Інституту багатозадачних процесів Університету Лейбніца. Ці дані анотували за допомогою Labelme, що забезпечило точне розпізнавання різних компонентів обладнання незалежно від кута огляду (рис. 1). У результаті анотації встановили кількість об'єктів – 7. Для перенесення зображень лабораторії і її об'єктів у 3D-простір використовували Colmap і MeshLab, а також метод Gaussian Splatting для покращення візуалізацій.

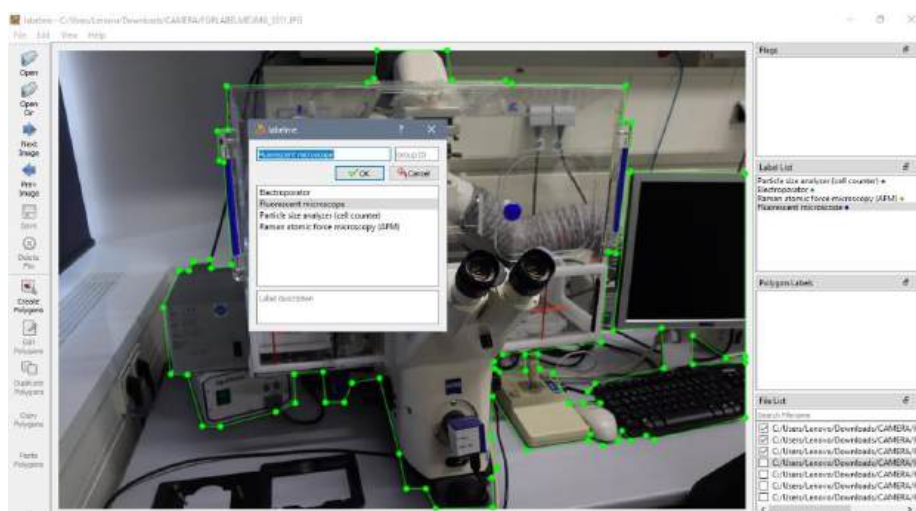


Рисунок 1 – Анотація флюорисцентного мікроскопу в Labelme

Отримані дані застосовували для навчання моделей Detectron2, які на тестування по відео показали точність прогнозів до 80-98% (рис. 2). Крім того, для управління поведінкою асистента інтегрували машину станів (FSM), яка контролює дії асистента залежно від стану і реакції на дії користувача.





Рисунок 2 – Детекція об’єктів на відео

Таке поєднання Detectron2, FSM, Colmap та Gaussian Splatting дозволяє забезпечити адаптивну та реалістичну взаємодію з користувачем у віртуальному середовищі лабораторії (рис. 3).

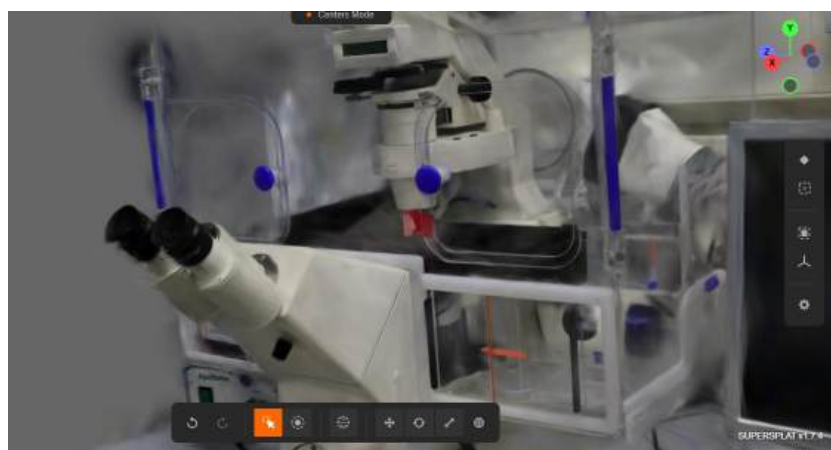


Рисунок 3 – 3D-візуалізація флюорисцентного мікроскопу

**Висновок.** Розроблений віртуальний асистент для флюоресцентної лабораторії на основі Detectron2 та машини станів демонструє високий потенціал для дистанційного навчання й підтримки експериментів у реальному часі. Модель надійно розпізнає обладнання, а FSM дозволяє адаптувати її до потреб користувача. Асистент ефективно підходить для підготовки студентів і працівників, інтегрується з VR і AR системами та підвищує доступність лабораторних досліджень у кризових умовах, забезпечуючи безпечний навчальний процес на відстані.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Anastasiia Lytvyn, Kateryna Posokhova, Maksym Tymkovych, Oleg Avrunin, Oleksandra Hubenia, Birgit Glasmacher. Object detection for virtual assistant in cryolaboratory based on Detectron2 framework. Article. 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering.
2. Balado, J., Garozzo, R., Winiwarer, L., & Tilon, S. (2025). A systematic literature review of low-cost 3D mapping solutions. Information Fusion, 114, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102656>

## ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ДОКАЗОВОГО ТЕСТУВАННЯ НОСОВОГО ДИХАННЯ

Привалов Б. В., здобувач, e-mail: [pryvalov.bogddan@gmail.com](mailto:pryvalov.bogddan@gmail.com),

Лебедєв Д. Е., здобувач, e-mail: [danylo.lebediev@nure.ua](mailto:danylo.lebediev@nure.ua)

Ібрагім Юнусс Абделхамід, здобувач, e-mail: [ibrahim.younouss.abdelhamid@nure.ua](mailto:ibrahim.younouss.abdelhamid@nure.ua)

Аврунін О. О., здобувач, e-mail: [oleksandr.avrunin@nure.ua](mailto:oleksandr.avrunin@nure.ua)

Шушляпіна Н. О., к.м.н., доц., e-mail: [nataliia.shuliapina@nure.ua](mailto:nataliia.shuliapina@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** Найбільш складною проблемою при проведенні функціональних методів дослідження є їх доказовість, яка тісно пов'язана з повторюваністю результатів [1, 2]. На їх достовірність також впливає необхідність співпраці пацієнта і лікаря, що може бути іноді недостатньою за різними обставинами [3, 4]. Крім того, метод та відповідна апаратура повинні вірно застосовуватись для усунення методичних похибок при вимірюваннях [5, 6]. Одним з таких методів є риноманометрія – метод функціонального тестування носового дихання для визначення порушень повітряної провідності верхніх дихальних шляхів [7, 8]. Метод дозволяє при носовому диханні за рахунок вимірів перепаду тиску в носоглотці та витрати повітря визначити відповідний коефіцієнт аеродинамічного носового опору як їх відношення. Доцільність використання цього методу зростає, зокрема у спортивній медицині та фізичній реабілітації [9, 10]. При цьому актуальною задачею є необхідність усувати методичні похибки, які будуть розглядатися нижче.

**Мета досліджень.** Тому, метою досліджень є розгляд особливостей тестування носового дихання та необхідність усунення методичних похибок.

**Основні матеріали досліджень.** По перше необхідно з'ясувати який саме тип активної риноманометрії використовується і визначитись з його функціоналом. При передній активній риноманометрії виконується дихання по черзі через кожен носовий отвір а перепад тиску визначається на рівні хоан. Ця неповна фізіологічність не дозволяє вірно інтерпретувати результати тесту при форсованому диханні а також при вимірах виключається аеродинаміка області носоглотки. Цей метод неможливо застосовувати під час фізичних навантажень при носовому диханні. При задній активній риноманометрії виконується дихання через обидві половини носа, що робить його більш адаптованим для форсованого дихання при навантаженнях.

При аналізі циклограми дихання необхідно визначати діючі значення витрати повітря та перепаду тиску. Дослідження доцільно проводити при форсованому диханні, в якому найбільш будуть спостерігатися прояви забруднення носового дихання і, як наслідок, збільшення коефіцієнта аеродинамічного носового опору. Аналіз необхідно виконувати не менш ніж по десяти дихальним циклам з визначенням максимальних та усередненого значень досліджуваних параметрів. На показники з вимірювальних перетворювачах будуть суттєво впливати прилягання зовнішньої маски та розташування трубки виміру перепаду тиску. Тренди вимірювальних показників також можуть свідчити при втому при диханні через аеродинамічний опір.

При аналізі залежності перепаду тиску від витрати повітря при диханні необхідно звернути увагу саме на діючі значення та характерні точки графіку. Лінійний режим буде свідчити про ламінарну течію повітря, а квадратичний – про турбулентну. Це важливі показники носового дихання, які саме будуть свідчити про потенційні можливості при фізичних навантаженнях. Також необхідно проводити порівняння даних при витрати повітря при носовому та ротовому диханні для того, щоб з'ясувати коефіцієнт ефективності носового дихання та потенційні можливості нижніх та верхніх дихальних шляхів при проходженні повітря під час фізичних навантажень.

**Висновок.** Методичні невизначеності грають суттєву роль в функціональних методах дослідження і призводять до зниження достовірності та відсутності повторюваності результатів. Тому необхідно їх усувати а також слідкувати за характерними додатковими

показниками циклограм дихання та залежностей між витратою повітря та перепадом тиску. Крім того, для незалежної верифікації результатів тестування носового дихання [11, 12] доцільно досліджувати кореляцію між функціональними та топографо-анатомічними даними.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О., Шушляпіна Н.О. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання: монографія.– Харків: ХНУРЕ, 2018. – 125 с.
2. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Калашник М.В., Семенець В.В., Філатов В.О. Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 248 с. doi:10.30837/978-966-659-234-0.
3. Avrunin, O.G., Nosova, Y.V., Paliy, V.G., Shushlyapina, N.O., Kalimoldayev, M., Komada, P., & Sagymbekova, A. Study of the air flow mode in the nasal cavity during a forced breath. In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017* (Vol. 10445, p. 104453H). International Society for Optics and Photonics. (2017).
4. Avrunin O. Extended of Diagnostic Capabilities for the Rhinomanometry Method / O. Avrunin, N. Shushlyapina, J. Ivanchenko // Chapter 5.1 (315-321 p.) in *Spatial aspects of socioeconomic systems' development: the economy, education and health care*. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – Publishing House WSZiA, 2015. – 380 p.
5. Аврунин О.Г. Сравнение дискриминантных характеристик риноманометрических методов диагностики / О.Г. Аврунин, В.В. Семенец, П.Ф. Щапов. *Радіотехніка*. 2011. 164. С. 102– 107.
6. Щапов, П. Ф. Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределенности: монография / П.Ф. Щапов, О.Г. Аврунин. Харьков : ХНАДУ, 2011. 192 с.
7. Avrunin, O. G., Nosova, Y. V., Abdelhamid, I. Y., Pavlov, S. V., Shushlyapina, N. O., Wójcik, W., Kalizhanova, A. (2021). Possibilities of automated diagnostics of odontogenic sinusitis according to the computer tomography data. *Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1-22. doi:10.3390/s21041198.
8. Книгавко Ю. В. Расчет функциональных параметров, определяющих показания к проведению ринопластики / Ю.В. Книгавко, О.Г. Аврунин, Х. Фарук // *ВосточноЕвропейский журнал передовых технологий*. – 2013. – № 2/10 (62). – С. 24 – 27.
9. Аврунин О. Г. Особенности исследования носового дыхания при физических нагрузках / О. Г. Аврунин, Я. В. Носова, С. А. Худаева. // Тези доповіді 5-й всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров'я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні». – 2018. – С. 117–119.
10. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С.В. Павлов, О.Г. Аврунін, С.М. Злепко, Є.В. Бодянський та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.
11. Тымкович М. Ю. Использование DICOM изображений в медицинских системах / М. Ю. Тымкович, О. Г. Аврунин, В.В. Семенец // *НТУУ «КПІ» Техн. електродинаміка : Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, (СЕЕ'2012)». – Київ : НТУ «ХПІ». – 2012. – С. 178-183. ISSN 1607-7970.*
12. Місоченко С. Ю. Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень / С. Ю. Місоченко, К. Г. Селіванова, О. Г. Аврунін // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD2022, 19-21 жовтня 2022 р.* – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – С. 902.

## ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Савченко В. В., к.т.н., доц., e-mail: [vit1986@ua.fm](mailto:vit1986@ua.fm)

Синявський О. Ю., к.т.н., доц., e-mail: [sinyavsky2008@ukr.net](mailto:sinyavsky2008@ukr.net)

Починок І. О., студент магістратури

Романюк Р. В., студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Нині відомі приклади успішного засосування передпосівної обробки насіння зернових культур в магнітному полі при невеликих значеннях магнітної індукції. Проведені дослідження з впливу магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур показали, що передпосівна обробка насіння в магнітному полі сприяє покращенню посівних якостей насіння [1], росту і розвитку рослин [2], урожайності сільськогосподарських культур [3], біохімічних і фізіологічних процесів, зменшенню захворюваності рослин.

Існують різні гіпотези, які описують вплив магнітного поля на насіння сільськогосподарських культур. Більшість дослідників пов'язують всі ефекти, які відбуваються в насінні, з впливом магнітного поля на водні розчини, які знаходяться в клітині. Тому важливим завданням є встановлення механізму дії магнітного поля на насіння з метою визначення діючих факторів та їх оптимальних значень.

**Мета дослідження** – встановлення впливу магнітного поля на посівні якості насіння зернових культур при передпосівній обробці.

**Основні матеріали досліджень.** Стимуляція насіння пов'язана зі зміною швидкості хімічних і біохімічних реакцій, які відбуваються в клітині.

Скориставшись теорією зіткнень, яка описує кінетику хімічних реакцій, отримали вираз для швидкості хімічної реакції під дією магнітного поля [4]:

$$\omega_m = \omega \exp\left[m(K^2 B^2 + 2KBv)N_a / 2RT\right]$$

де  $\omega$  – швидкість хімічної реакції без дії магнітного поля, моль/(л · с);  $m$  – маса іонів, кг;  $B$  – магнітна індукція, Тл;  $v$  – швидкість руху іонів, м/с;  $K$  – коефіцієнт, який залежить від виду іонів та числа перемагнічувань, м/(с · Тл);  $N_a$  – число Авагадро, молекул/моль;  $R$  – універсальна газова константа, Дж/(моль · К);  $T$  – температура, К.

Оскільки розчинність солей і кислот у воді є хімічною реакцією взаємодії речовини з водою, то під дією магнітного поля буде зростати концентрація іонів в клітині.

Зміна швидкості та рівноваги хімічних реакцій під дією магнітного поля, а також розчинності солей та кислот призводять до зміни рН клітинного середовища та біопотенціалу насіння:

Магнітне поле сприяє підвищенню проникливості біологічних мембран, що обумовлює зростання швидкості дифузії молекул і іонів через мембрану.

Внаслідок цього зростає дифузія молекул кисню, що призводить до збільшення його концентрації. Цим можна пояснити зменшення захворюваності рослин, насіння яких було оброблене в магнітному полі

Магнітне поле також викликає зростання дифузії молекул води через клітинну мембрану. Тому зростає водопоглинання насіння.

У магнітному полі іони діє сила Лоренца. Дія цієї сили на іони, а також зростання проникливості клітинної мембрани сприяє посиленню транспорту іонів через клітинну мембрану. При цьому зростає питома електропровідність клітинного розчину.

Також експериментально було встановлено, що чотирикратне перемагнічування підсилює ефект обробки. Подальше збільшення числа перемагнічувань є недоцільним, оскільки воно практично не впливає на ефективність процесу магнітної обробки насіння.

На основі отриманих аналітичних залежностей можна зробити висновок, що основними діючими факторами при передпосівній обробці насіння є магнітна індукція, її градієнт і швидкість руху насіння в магнітному полі. Ефект магнітної обробки насіння залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху насіння в магнітному полі.

Перелічені вище фактори обумовлюють зміну посівних якостей насіння, яка може бути визначена лише експериментальним шляхом.

Для проведення експериментальних досліджень була створена експериментальна установка, яка складалася з транспортера, в якого над і під стрічкою розміщувалися чотири пари постійних магнітів, встановлених зі змінною полярністю.

При дослідженнях магнітна індукція змінювалася в межах 0 - 0,4 Тл за рахунок зміни відстані між магнітами і вимірювалася тесламетром 43205/1. Швидкість руху транспортерної стрічки змінювалася в межах 0 – 0,8 м/с за допомогою перетворювача частоти Delta VFD004EL43A.

Експериментальні дослідження впливу магнітного поля на енергію проростання і схожість насіння зернових культур проводили з насінням пшениці сорту «Наталка», жита сорту «Харківський 98», ячменю сорту «Солнцедар», кукурудзи сорту «Зоря 123», вівса сорту «Деснянський».

Оброблене в магнітному полі насіння пророщували і визначали його енергію проростання та схожість за відомою методикою.

Щоб визначити рівняння регресії, які зв'язують енергію проростання та схожість насіння з параметрами обробки, застосовували теорію планування експерименту. За значення нижнього фактору для магнітної індукції було прийнято 0 Тл, середнього – 0,065 Тл, верхнього – 0,13 Тл, а для швидкості, відповідно, 0,4 м/с; 0,6 м/с та 0,8 м/с.

За результатами проведених досліджень встановлено, що при зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл енергія проростання та схожість насіння зростають, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починають зменшуватися. При магнітній індукції, що перевищує 0,13 Тл, енергія проростання і схожість насіння змінюються несуттєво, але є більшими, ніж в контролі.

На енергію проростання та схожість насіння крім магнітної індукції впливає також швидкість руху насіння в магнітному полі, хоча вона є менш значущими факторами, ніж магнітна індукція. Найвищими енергія проростання та схожість насіння зернових культур були при магнітній індукції 0,065 Тл та швидкості руху насіння 0,4 м/с.

На ефект магнітної обробки впливає також градієнт магнітного поля (полюсна поділлка). Встановлено, що полюсна поділлка є менш суттєвим фактором, ніж магнітна індукція. У межах її зміни  $0,23 \pm 0,09$  м енергія проростання насіння змінюється не більше, ніж на 3 %, а схожість – 5 %.

**Висновок.** При передпосівній обробці насіння у магнітному полі з індукцією 0,065 Тл, чотирикратному перемагнічуванні, полюсній поділці 0,23 м і швидкості руху насіння 0,4 м/с енергія проростання насіння пшениці збільшувалася на 50 %, ячменю – 42 %, жита – 30 %, кукурудзи – 24 %, вівса – 24 %, а схожість насіння пшениці збільшувалася на 22 %, ячменю – 38 %, жита – 26 %, кукурудзи – 28 %, вівса – 20 %.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Vashisth A., Joshi D.K. Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 2017; 38:151–157.
2. Maffei M.E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Front. Plant Sci*. 2014; 5:445
3. Ahamed M., Elzaawely A., Bayoumi Y. Effect of magnetic field on seed germination, growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) *Asian J. Crop. Sci*. 2013; 5: 286–294.
4. Kozyrskyi V., Savchenko v., Sinyavsky O. The Processing of Irrigation Water and Artificial Fertilizer Solutions in Magnetic Field. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9 (4). P.74-83.



## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАННЯ ТВАРИН

Семенов О. О., аспірант, e-mail: [Fanfan777@ukr.net](mailto:Fanfan777@ukr.net)Лисиченко М. Л., д.т.н., проф., e-mail: [lprlysychenko@biotechuniv.edu.ua](mailto:lprlysychenko@biotechuniv.edu.ua)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасне суспільство вимагає поглибленої уваги до розробки екологічно чистих і високоефективних технологій забезпечення населення продуктами харчування [1]. Резерви підвищення продуктивності тварин і птиці ґрунтуються не тільки на оптимальних раціонах годування, а й на підтриманні природних параметрів мікроклімату в приміщенні для їх утримання. Важливим параметром мікроклімату є оптичне випромінювання, яке створює природні умови для засвоєння кормів і нормальне загальне функціонування організму [2].

Особливо доцільно застосовувати ультрафіолетове опромінювання в зимовий період, коли тварини не мають будь якої можливості отримувати природне сонячне випромінювання. Відомі рекомендації по ультрафіолетовому опромінюванні тварин, в яких вказуються його дози, причому її величина змінюється в залежності від виду та віку тварин. Так, в більшості свиноферм, які мають типові свинарник на 3000 гол., відповідно типових проектів в одному приміщенні утримують свиней в групових боксах різного віку. Відповідно наведених рекомендацій, наприклад, поросята повинні бути забезпечені різною дозою ультрафіолетового опромінювання, *мер/год/м<sup>2</sup>* [3]: - поросята новонароджені - 20-25 *мер/год/м<sup>2</sup>*; - поросята після від'єму - 60-80 *мер/год/м<sup>2</sup>*; - свиноматки супоросні -70-90 *мер/год/м<sup>2</sup>*.

Основною проблемою галузі впродовж двох останніх десятиріч є зменшення поголів'я свиней і виробництва продукції свинарства в Україні. Найбільших втрат зазнало промислове свинарство, відповідно статистичних даних кількість поголів'я зменшилось у 3,6 рази, при цьому частка особистих господарств становить 49 % від всього поголів'я. Через нетехнологічні способи вирощування тварин показники середньодобових приростів і виходу життєздатного потомства на одну свиноматку в Україні значно нижче світових. Тому, подальший розвиток свинарства пов'язують з проведенням технічної і технологічної реконструкції галузі за рахунок будівництва нових і глибокої реконструкції свинарників, модернізації або заміни технології утримання тварин. Для цього необхідно застосовувати інноваційні ресурсозберігаючі технології спрямовані на інтенсифікацію процесу вирощування на основі використання власної кормової бази та перехід на виробничий цикл 182-189 днів з відлученням порослят у 21-35 днів, дорощуванням протягом 40-56 днів та відгодівлею 105-112 днів [4].

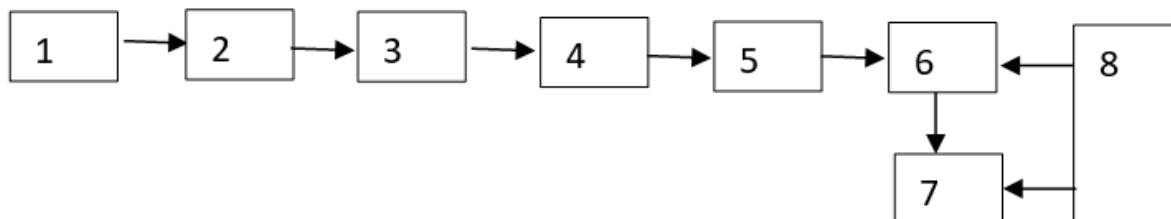
**Мета досліджень.** Розробка автоматизованої системи для корегування в реальному часі тривалості роботи ультрафіолетової установки і об'ємів видачі корму в залежності із збільшенням ваги і геометричних розмірів тварини.

**Основні матеріали досліджень.** Аналіз сформульованої проблеми показує, що доцільно враховувати той факт, що тварина з віком набирає вагу і на протязі вирощування змінюються геометричні розміри. Причому, як показали проведені дослідження, існує відповідна кореляція між віком тварини, їх вагою та площею тіла, яку вони займають при їх зображенні.

Для реалізації сформульованої мети розроблено структурну схему пульта керування. Сигнал з відеокамери 1 потрапляє на блок попередньої аналогової обробки сигналу 2, а потім на блок попередньої цифрової обробки зображення 3. Після підсилення та обробки сигнал далі надходить до блоку виділення контурів 4 де зображення запам'ятовується та передається в блок детекторів контурів з маскою Робертса 5, який проводить їх обробку. Далі сигнал надходить до блоку порівняння зображення 6, до якого надсилається еталонне зображення тварин відповідної до їх розвитку та віку і після порівняння зображень, отриманого з цифрової відеокамери та еталонних, формується відповідний сигнал в блоці синхронізації сигналу 8,

який передається до мікроконтролера керування рухом 7 пульт керування.

Завдяки сформованого сигналу регулюється швидкість руху ультрафіолетового опромінювача над боксами з тваринами в залежності від їх віку, що відповідає віку та площі зображення тварин. Таким чином, кожна тварина, яка розміщена в боксах отримає рекомендовану дозу ультрафіолетового випромінювання.



**Рисунок 1 – Структурна схема інтелектуальної системи розпізнання тварин: 1 – відеокамера; 2 – блок попередньої аналогової обробки сигналу; 3 – блок попередньої обробки зображення; 4 – блок виділення контурів; 5 – блок детекторів контурів з маскою Робертса; 6 – блок порівняння зображень; 7 – мікроконтролер керування рухом ультрафіолетового опромінювача; 8 – блок синхронізації сигналів.**

**Висновок.** Практична реалізація запропонованої інтелектуальної системи розпізнання тварин підтвердила ефективність запропонованого технічного рішення. Так, проведені експериментальні дослідження в свинарнику із утриманням свиней різного віку в окремих боксах показали, що в дослідних групах де здійснювалось опромінювання, з розробленою системою розпізнання тварин, набір живої ваги у поросят після від'єму спостерігався на 20-26 % більше ( $P < 0,001$ ) ніж у контрольній групі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стратегія розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 року / За ред. акад. НААН України Я. М. Гадзала, М. І. Башенка, В. М. Жука, Ю. О. Лупенка. - Київ: Аграр. Наука, 2016. – 216 с.
2. Червінський Л. С. Оптичні технології в тваринництві. Київ: Наукова думка, 2003. – 230 с.
3. Мельник І. Л. Ультрафіолетові промені в тваринництві. Київ: Урожай, 1965. – 112 с.
4. Тваринництво України: стан, проблеми, шляхи розвитку (1991-2017-2030 рр.) / За ред. акад. НААН України М. І. Башенка. Київ: Аграр. Наука, 2017. – 160 с.

## ІНТЕГРАЦІЯ ВІДКРИТИХ ОСВІТНІХ РЕСУРСІВ ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ СТУДЕНТІВ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ТА СПІВПРАЦЯ В УМОВАХ КРИЗОВИХ ОБСТАВИН

Соколов А. А., здобувач, e-mail: [andrii.sokolov@nure.ua](mailto:andrii.sokolov@nure.ua),

Селіванова К. Г., к.т.н., доц., e-mail: [karina.selivanova@nure.ua](mailto:karina.selivanova@nure.ua),

Носова Я. В., к.т.н., доц., e-mail: [yana.nosova@nure.ua](mailto:yana.nosova@nure.ua),

Боечко-Немовча А. О., здобувачка, e-mail: [anastasiia.boiechko-nemovcha@nure.ua](mailto:anastasiia.boiechko-nemovcha@nure.ua)

Аврунін О. Г. д.т.н., проф., e-mail: [oleh.arunin@nure.ua](mailto:oleh.arunin@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Актуальність дослідження.** У зв'язку із повномасштабним вторгненням, яке спричинило кризу в багатьох сферах, зокрема в освітньому секторі, з'явилася значна кількість вимушених переселенців. Серед них чимало представників академічної спільноти, що призвело до істотних змін у функціонуванні закладів освіти України. Як для викладачів, так і для студентів, освітній процес ускладнився через неможливість фізичної присутності в навчальних закладах, втрату доступу до навчальних ресурсів та вимушену адаптацію до нових умов, зокрема до дистанційного навчання.

На цьому тлі участь у міжнародних освітніх проєктах набуває особливої актуальності. По-перше, такі проєкти забезпечують підтримку і розвиток викладачів і студентів, надаючи їм доступ до сучасних технологій, ресурсів і програм навчання, а також сприяють інтеграції в європейське та світове освітнє середовище. По-друге, міжнародна співпраця дає змогу зберегти зв'язок з академічними колами інших країн, що важливо для професійного та наукового зростання. По-третє, це відкриває перспективи для українських студентів і викладачів отримувати знання, обмінюватися досвідом і розширювати можливості працевлаштування на глобальному рівні.

**Мета досліджень.** Створення віртуальних курсів для українських студентів для кращого доступу до освіти під час кризи. Участь викладачів українських університетів, особливо біженців, у створенні віртуального курсу. Професійні компетенції як німецьких, так і українських закладів-партнерів можуть сприяти розвитку спільних освітніх ресурсів.

### **Основні матеріали досліджень.**

Викладачі кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки другий рік поспіль беруть активну участь у створенні освітніх відеолекцій із залученням студентів [1-3]. У 2022 році працювало декілька студентів, які займалися перекладом українською мовою навчальних відео, зроблених німецькими колегами в лабораторіях кріомікроскопії. Кожне відео, крім звукової доріжки, містить субтитри українською та англійською мовами. У 2023 році робота над проєктом була зосереджена на створенні власного унікального освітнього контенту українською мовою та перекладі готових відео англійською мовою. Наша робота – це унікальний авторський контент, який передбачає підхід: навчання через дослідження. Тому вся команда готує окремі слайди для відео. Кожен слайд є результатом нашого власного дослідження [4-7].

Виконання проєкту фінансується Міністерством науки та культури Нижньої Саксонії (Німеччина). Основна мета порталу для роботи з відкритими освітніми ресурсами (OER) полягає в тому, щоб надати можливість викладачам університетів централізовано знаходити навчальні матеріали та ділитися ними, а також сприяти популяризації знань та навичок роботи з OER. Цим проєктом керує ТІВ – Інформаційний центр науки і техніки імені Лейбніца та університетська бібліотека ([www.tib.eu](http://www.tib.eu)).

ТІВ - це німецька центральна спеціалізована бібліотека техніки і природничих наук, яка забезпечує доступ до унікальної у світі колекції науково-пізнавальних матеріалів, таких як аудіовізуальні медіа, дослідницькі дані та відкриті освітні ресурси. Як університетська

бібліотека, ТІВ забезпечує Ганноверський університет імені Готфріда Вільгельма Лейбніца науково-методичною літературою, а як науково-дослідний інститут, на федеральному рівні ТІВ постійно поширює свій вплив на цифровізацію науки і техніки в ролі німецького інформаційного центру. ТІВ проводить прикладні дослідження та розробки для створення нових послуг і вдосконалення наявних.

**Висновок.** Таким чином, результати проєкту (цифрові курси) інтегруються в наявні структури та залишаються видимими, доступними для пошуку, повторного використання та цитування для всіх студентів і викладачів з України та світу. Сьогодні міжнародні освітні ініціативи є важливим ресурсом для подолання освітніх та соціальних труднощів, що виникли в умовах війни. Вони не тільки дозволяють зберегти рівень якості освіти, але й зміцнюють українську академічну спільноту, надаючи їй нові можливості для зростання й розвитку.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ісаєва О. А. Практика у проєкті DAAD Ukraine digital: OER with Ukraine / О. А. Ісаєва, О. Г. Аврунін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2022, 17-20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків : НТУ «ХПІ». – С. 1116

2. Новітні підходи до дистанційного навчання та фізичної реабілітації з використанням сучасних відеотехнологій / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, К. Г. Селіванова, Г. П. Грохова, О. Ю. Прісич // Актуальні проблеми клінічної та технологічної медицини. Збірник наукових праць за загальною редакцією Заслуженого лікаря України, професора О.А. Панченка. 2023. Київ. – С. 31-33.

3. Ісаєва О. А. Створення відкритих освітніх ресурсів з біомедичної інженерії за проєктом DAAD Ukraine digital: OER4UKRAINE / О. А. Ісаєва, О. Г. Аврунін // Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії : матеріали Міжнар. наук.-прак. конф., присвяченої 125-річному ювілею Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 13-14 грудня 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 89-91.

4. Аврунін О. Г. Стереовізуальний відеоконтент. Частина 1/ О.Г. Аврунін // 10.5446/63535 (DOI) , 2023. – Режим доступу: <https://av.tib.eu/media/63535>

5. Аврунін О. Г. Методи та засоби функціональної діагностики порушень носового дихання. Частина 1 /О. Г. Аврунін // 10.5446/63538 (DOI) , 2023. – Режим доступу: <https://av.tib.eu/media/63538>

6. Тимкович М. Ю. Носова Я.В., Аврунін О. Г., Тимкович М. Ю. Можливості відеотехнологій для дистанційної освіти. Інформатика, управління та штучний інтелект : тези восьмої міжнародної науковотехнічної конференції. Харків: НТУ «ХПІ». 2021. С. 130.

7. Особливості формування навчального 3d-контенту / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, К. Г. Селіванова, Г. П. Грохова, О. Ю. Прісич / Автоматизація, електроніка, інформаційновимірвальні технології: освіта, наука, практика : матеріали IV Міжнарод. наук.-техн. конфер., 01-02 грудня 2022 р. / Г.В. Лісачук (голова оргком.) X. 2022 – С. 3-4.

ПІДГОТОВКА СИМУЛЯТОРІВ ДЛЯ НАВЧАННЯ ЕНДОСКОПІЧНОЇ ХІРУРГІЇ  
НА ОСНОВІ 3D-МОДЕЛЕЙ В РИНОЛОГІЇ

Сокольцов А. О., аспірант, e-mail: [andrii.sokoltsov@nure.ua](mailto:andrii.sokoltsov@nure.ua)

Аврунін О. Г., д.т.н., проф., e-mail: [oleh.avrunin@nure.ua](mailto:oleh.avrunin@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Ендоскопічна хірургія пазух носа (FESS) є однією з найпоширеніших та ефективних операцій у ринології, проте вона потребує високого рівня навичок. Традиційні методи навчання базуються на практиці на пацієнтах або трупному матеріалі, що супроводжується етичними обмеженнями та складнощами з доступом до матеріалів. Сучасна післядипломна освіта активно впроваджує моделювання, зосереджуючи увагу на підвищенні безпеки пацієнтів. Це призвело до скорочення можливостей традиційного навчання, що раніше базувалося на принципах хірургічного учнівства, та до пошуку нових ефективних підходів для підготовки медичних спеціалістів.

У літературі розглядаються різні підходи для навчання основам ендоскопічної хірургії, включаючи моделювання операцій на овочах, використання тваринних тканин та сучасні 3D моделі з доповненою реальністю. Хоча такі методи, як моделі з перцю і томатів, економічно доступні та етично прийнятні, вони не можуть точно відтворювати анатомічну складність реальних тканин. Проте, ці тренування поліпшують координацію та точність роботи з інструментами, що підвищує впевненість хірургів. Більшість учасників зазначають, що ці методи добре готують до роботи з трупними зразками та живими пацієнтами [1-2]. Розвиток 3D-друку пропонує інноваційне рішення для створення персоналізованих анатомічних моделей, які можуть використовуватися для тренування хірургів та симуляції реальних операційних умов. Ця методика дозволяє підвищити якість підготовки майбутніх хірургів, мінімізуючи ризики для пацієнтів та значно покращуючи результати навчання. Виготовлення моделей пазух носа базується на комп'ютерній томографії (КТ) пацієнтів із хронічним синуситом [3-4]. На основі отриманих даних моделі розробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для тривимірного моделювання (наприклад, Mimics), яке дозволяє точно відтворити анатомічні структури [5]. Для друку моделей використовується технологія FDM (Fused Deposition Modeling), що дозволяє створювати точні копії кісткових і м'яких тканин з різною твердістю. Це важливо для відтворення реалістичного відчуття під час роботи з моделями та навчання маневрам в умовах обмеженого доступу до анатомічних структур. Для покращення реалістичності використовуються спеціальні матеріали, що імітують слиз та інші виділення, характерні для післяопераційного періоду. В експерименті вводяться біорозкладні гемостатичні вати, що імітують зміни тканин через тиждень після операції. Моделюються також специфічні стани тканин, що сприяє відпрацюванню навичок очищення порожнини носа та видалення залишкових матеріалів. Для оцінки рівня підготовки використовуються стандартизовані шкали, зокрема об'єктивна структурована оцінка технічних навичок (OSATS), яка дозволяє кількісно вимірювати прогрес стажерів до та після проходження тренування [6-7]. Система оцінювання базується на п'ятибальній шкалі Лайкерта, що враховує правильність виконання кожного етапу операції. Також використовуються КТ-сканування після тренувань для оцінки якості препарування. Дослідження показують, що стажери, які пройшли навчання на 3D-моделях, демонструють значно покращені навички маневрування хірургічними інструментами та скорочення часу операцій у порівнянні з традиційними методами підготовки. Використання 3D-моделей знижує ризик ускладнень і підвищує впевненість хірургів у роботі з пацієнтами. Крім того, багаторазове використання моделей дозволяє оптимізувати навчальні програми, оскільки моделі можуть бути адаптовані до конкретних клінічних випадків.

Застосування 3D-друкованих моделей для підготовки хірургів значно розширює можливості медичної освіти [8, 9]. Вони не лише надають можливість відпрацьовувати складні



маніпуляції, але й дозволяють підвищувати рівень персоналізації підготовки, враховуючи індивідуальні анатомічні особливості пацієнтів. Однак технологія має певні виклики: моделі з високою точністю і реалістичністю можуть бути дорогими, і постає питання щодо імітації тканин різної щільності. Проте ці виклики є технічно вирішуваними, і подальший розвиток адитивних технологій відкриває перспективи для удосконалення якості симуляторів. Тому, застосування 3D-друку у підготовці хірургів є важливим кроком вперед у медичній освіті. Це дозволяє значно покращити якість підготовки, підвищити безпеку пацієнтів і мінімізувати ризики ускладнень під час реальних операцій [9, 10]. Залучення 3D-технологій у медичні навчальні програми є перспективним напрямом, який дозволяє інтегрувати інноваційні рішення для підготовки кваліфікованих хірургів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tikka S et al. A Feasible, Low-Cost, Capsicum and Tomato Model for Endoscopic Sinus and Skull Base Surgery Training. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022 Dec;74(Suppl 3):4565-4570. doi: [10.1007/s12070-021-02583-z](https://doi.org/10.1007/s12070-021-02583-z). Epub 2021 Jul 5. PMID: 36742779; PMCID: PMC9895242.
2. de Oliveira HF et al. A feasible, low-cost, reproducible lamb's head model for endoscopic sinus surgery training. *PLoS One.* 2017 Jun 29;12(6):e0180273. doi: [10.1371/journal.pone.0180273](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180273). PMID: 28662196; PMCID: PMC5491169.
3. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; and etc. Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data. *Sensors* 2021, 21, 1198. <https://doi.org/10.3390/s21041198>.
4. Тымкович М. Ю. Использование DICOM изображений в медицинских системах / М. Ю. Тымкович, О. Г. Аврунин, В.В. Семенец // НТУУ «КПІ» Техн. електродинаміка : Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, (СЕЕ'2012)». – Київ : НТУ «ХПІ». – 2012. – С. 178-183. ISSN 1607-7970.
5. Dong D et al. [Preparation and validation of simulant for endoscopic sinus surgery]. *Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* 2021 Jan 5;35(1):70-73. Chinese. doi: [10.13201/j.issn.2096-7993.2021.01.018](https://doi.org/10.13201/j.issn.2096-7993.2021.01.018). PMID: 33540979; PMCID: PMC10128531.
6. Suzuki M et al. Repetitive simulation training with novel 3D-printed sinus models for functional endoscopic sinus surgeries. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2022 Jul 21;7(4):943-954. doi: [10.1002/lio2.873](https://doi.org/10.1002/lio2.873). PMID: 36000044; PMCID: PMC9392405.
7. Suzuki M et al. Training of Functional Endoscopic Sinus Surgery With Advanced Manufactured 3D Sinus Models and a Telemedicine System. *Front Surg.* 2021 Oct 1;8:746837. doi: [10.3389/fsurg.2021.746837](https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.746837). PMID: 34660685; PMCID: PMC8517106.
8. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Saed, H. F. I., Loburets, A. V., Krivoruchko, I. A., Smolarz, A., & Kalimoldayeva, S. (2019). Application of 3D printing technologies in building patient-specific training systems for computing planning in rhinology. Paper presented at the Information Technology in Medical Diagnostics II - Proceedings of the International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology, 2018, 1-8. doi:[10.1201/9780429057618-1](https://doi.org/10.1201/9780429057618-1).
9. Сокольников А. Аспекти моделювання хірургічних втручань на придаткових пазухах носа / А. Сокольников, О. Г. Аврунін // Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали III міжнародної науково-технічної конференції, 8–10 травня 2024 р. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – С. 188-190.
10. V. Semenets, V. Kauk, O. Avrunin. “The advanced technology of remote training at the initial process” [“Vprovadjennya tehnologiy dystantsiynogo navchannya u navchalnii protses”], *High School*, 2009. – No. 5. – P. 40–45.

РОЗРОБКА ДОДАТКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СТВОРЕНИМ ПРИСТРОЄМ  
ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ТА ОЦІНКА  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

Трушаков Д. В., к.т.н. доц., e-mail: [dmitro.trushakov@gmail.com](mailto:dmitro.trushakov@gmail.com)

Щепін В. В., студент, e-mail: [vshepin228@gmail.com](mailto:vshepin228@gmail.com)

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

**Актуальність дослідження.** В теперішній час із-за російської агресії проти України у багатьох людей в Україні з'явилося почуття тривоги, стрес, роздратованість, депресія. Нами було розроблено та створено діючий макет пристрою для покращення психоемоційного стану людини. Принцип дії пристрою полягає у випромінюванні світлових потоків різного кольору та інтенсивності, що впливають на біоритми головного мозку людини. Таким чином, спостерігаючи за цими світловими потоками у людини може відбутися покращення психоемоційного стану. Для зручного дистанційного керування пристроєм було потрібно розробити власний додаток на смартфон. Крім того, необхідно було виконати розрахунок економічної ефективності впровадження у виробництво та медзаклади.

**Метою досліджень** є розробка простого та зручного власного додатку для смартфона, щоб можливо було дистанційно керування роботою пристрою покращення психоемоційного стану людини. Крім того необхідно дослідити ефективність функціонування розробленого пристрою.

**Виклад основного матеріалу.** Блок-схема пристрою для корекції психоемоційного стану людини представлена на рис. 1. Схема містить два функціональні електронні блоки. Перший електронний блок пристрою призначений для створення різнокольорових світлових ефектів, а також він вимірює і відображає на дисплеї основні параметри мікроклімату (температуру, вологість і атмосферний тиск). Другий електронний блок пристрою застосовано для управління побутовими приладами – зволожувачем повітря та кондиціонером.

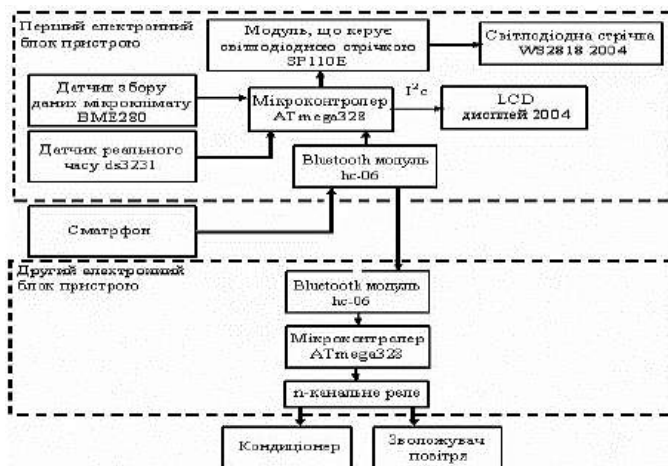


Рисунок 1 – Загальна блок-схема пристрою для корекції психоемоційного стану людини

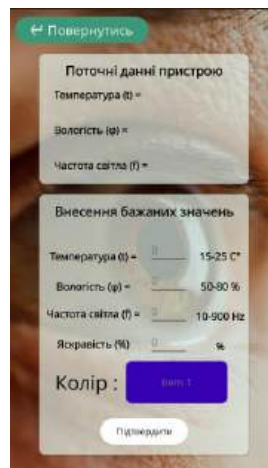
Джерело: розроблено авторами

Нами запропоновано власний простий та зручний додаток для смартфона, щоб було можливо зручно дистанційно керувати пристроєм по bluetooth. Його основне призначення: перевірити стан Bluetooth пристрою. Якщо bluetooth вимкнено, він перенаправляє користувача до BluetoothCheckScreenActivity. Для цього використовується BroadcastReceiver для відстеження змін у статусі Bluetooth.

Підключення пристрою по bluetooth представлено на рис.2а, дизайн для управління пристроєм по bluetooth зображено на рис 2б.



а – підключення пристрою



б) управління пристроєм

**Рисунок 2 – Дизайн підключення пристрою по bluetooth**

Джерело: розроблено авторами

Був виконаний розрахунок собівартості пристрою та визначено точку беззбитковості для підприємства, що буде виробляти прилад. Для цього спочатку розраховували витрати на основні матеріали та на покупні комплектуючі. Визначили трудомісткість виготовлення та окремі види витрат, включені до собівартості виготовлення пристрою. Розрахована повна собівартість приладу та його оптова ціна приведена у табл. 1.

**Таблиця 1. Повна собівартість та оптова ціна пристрою**

№ п.п.	Стаття калькуляції	Результат (сума), грн.	№ п.п.	Стаття калькуляції	Результат, (сума), грн
1	Сумарні матеріальні витрати	5140,91	7	Загальнозаводські витрати	234,96
2	Основна заробітна плата виробничих робітників	106,8	8	Інші виробничі витрати	1,53
3	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	10,68	9	Виробнича собівартість	5891,86
4	Єдиний соціальний внесок	25,84	10	Поза виробничі витрати	58,92
5	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	223,54	11	Повна собівартість	5950,78
6	Цехові витрати	147,6	12	Прибуток	1190,16
7	Загальнозаводські витрати	234,96	13	Оптова ціна	7140,94

Джерело: розроблено авторами

**Висновки.** Проведені у роботі дослідження являють собою рішення задач в області створення електронних пристроїв для медичних цілей. В результаті виконаних досліджень було удосконалено раніше нами розроблений електронний пристрій для покращення психоемоційного стану людини. Запропоновано власний простий та зручний додаток для смартфона, щоб було можливо дистанційно керувати пристроєм. Виконано дослідження економічної ефективності функціонування розробленого пристрою. Розраховано прибуток за рік для виробника.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Щепін В. В., Трушаков Д. В., Сіріков О. І. Пристрій для корекції психоемоційного стану людини. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 4(35). С.100-110. [URL:http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/35.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/35.html) (дата звернення: 26.08.2024)

2. Патент на корисну модель № 150453. Пристрій для корекції психоемоційного стану людини. МПК:Н03J 9/06, G02B 26/04. U202106072. Щепін В. В., Трушаков Д. В. Заявл. 29.10.2021 ; опубл. 16.02.2022, Бюл. № 7.

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛУ  
ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІ  
ТА ПОВСЯКДЕННОЇ ДІЯЛЬНОСТІЧерепньов І. А., к.т.н., доц., e-mail: [i.cherepnev@btu.kharkov.ua](mailto:i.cherepnev@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

Катунін А. М., к.т.н., с.н.с., e-mail: [lightsymbol@gmail.com](mailto:lightsymbol@gmail.com)

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Колокольніков В. О., здобувач вищої освіти, e-mail: [ikkol04@gmail.com](mailto:ikkol04@gmail.com)Попко С. О., здобувач вищої освіти, e-mail: [serpopko1313@gmail.com](mailto:serpopko1313@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Починаючи з другої половини ХХ століття різко прискорилося тенденція підвищення потужності електромагнітних випромінювань (ЕМВ) різних діапазонів, джерелами яких були технічні пристрої як військового, так і цивільного призначення. Такі небезпечні синдроми як розлади нервової системи, хронічна втома, головний біль та інші все частіше стали виявлятися не тільки у персоналу радіо-технічних об'єктів, а й серед широких мас населення [1]. В даний час, як зазначено в роботі [2], число працівників, які піддаються професійному впливу ЕМВ, дійсно величезне і немає жодних сумнівів у тому, що в даний час переважну більшість усіх працівників можна розглядати як принаймні потенційно схильних до впливу з можливим ризиком для професійного здоров'я. У роботі [2] наводяться результати обстеження 35 000 представників різних професій, які показали, що 62% працівників піддавалися впливу високочастотних ЕМВ. Але є певна категорія людей, які є співробітниками різних рятувальних підрозділів та у процесі участі в ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) на території об'єктів енергетичних систем можуть тривалий час перебувати під впливом потужних ЕМВ [3]. І в цілому, як зазначено в роботі [4], професійне опромінення допускається на рівнях, що в 5 разів перевищують рівень опромінення населення в цілому у всьому діапазоні частот від 100 кГц до 300 ГГц з необмеженою тривалістю впливу. З огляду на вищесказане, застосування існуючих і розробка перспективних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) від ЕМВ, є актуальним завданням

**Мета даного дослідження** полягає в розгляді основних тенденцій розвитку матеріалів та методів для захисту організму людини від дії ЕМВ та інших супутніх небезпечних факторів як в процесі трудової діяльності, так і в умовах НС.

**Основні матеріали досліджень.** У роботі [5] на підставі сорокарічного досвіду розвитку радіотехніки був зроблений висновок про необхідність в захисті працівників, що піддаються впливу мікрохвильового випромінювання високої інтенсивності, що використовується в промисловості, медицині та військовій справі. Тим більше, що посилення стандартів з безпеки, стимулювало появу на ринку ряду нових матеріалів, що придатні для захисту від ЕМВ. Багато з них були тканинами з металевим покриттям, що відбивали енергію радіочастотного діапазону [6]. Але у цих матеріалів були і серйозні недоліки, які в результаті погіршували характеристики захисних костюмів, а саме: підвищена схильність до займання, погана вентиляція і вкрай низька стійкість до проведення заходів з деконтамінації. В даний час в якості основних матеріалів для захисту від ЕМВ застосовуються тканини, які характеризуються низькою щільністю, відмінними механічними властивостями, а також зручністю в обробці при виготовленні захисного одягу [7]. Залежно від вирішуваних завдань, вони здатні відбивати, поглинати ЕМВ або бути для них абсолютно прозорими. У роботі [3] наведені дані про те, що перспективним напрямком у розробці спеціального одягу для рятувальників є можливість захисту одночасно від декількох уражаючих факторів. Як зазначено в роботі [8] зараз реалізується стратегія створення тканин, які дозволяють забезпечити можливість безпечної роботи в умовах поєданого впливу мікрохвильового та інфрачервоного теплового випромінювання. Однак, в умовах НС необхідно передбачити проведення моніторингу електромагнітної обстановки та розміщення персоналу у



приміщеннях, що здатні екранувати ЕМП усіх діапазонів. Можливі методи вирішення цих завдань представлені у роботах [9,10].

**Висновок.** Удосконалення методів захисту працівників від техногенних ЕМВ є актуальним завданням. Отримані результати доцільно оперативно впроваджувати для захисту всього населення.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чумаченко С. М., Дубницький В. Ю., Черепньов І. В., Коломієць Д. П., Карпенко М. І. Аналіз і групування дії адаптогенів рослинного походження для сприяння трудової діяльності операторів складних технічних систем. *Інженерія природокористування*. 2020. № 4 (18). С. 78-94. doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).78 – 94.

<https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/1570/1/14.pdf>

2. Alberto Modenese A., Gobba F. Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Health

Surveillance according to the European Directive 2013/35/EU. *J. Environ. Res. Public Health*. 2021. № 18. 1730. doi: 10.3390/ijerph18041730. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33579004/>

3. Черепньов І.А., Ляшенко Г. А., Полянова Н. В. Деякі проблемні питання по забезпеченню рятувальників ДСНС України ефективними засобами індивідуального захисту. *Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах*: матеріали Всеукр. наук-практ. інтернет-конфер. здобувачів вищої освіти і молодих вчених. 2-3 лист. 2021 р. Харків: ХНАДУ, 2013. С. 255-259.

4. Jeschke P., Altekцster C., Hansson K., Israe M., Ivanova M., Schiessl K., Shalamanova T., Soyka F., Stam R., Wilĳn J. Protection of Workers Exposed to Radiofrequency Electromagnetic Fields: A Perspective on Open Questions in the Context of the New ICNIRP 2020 Guidelines. *Frontiers in Public Health*. 2022. Vol. 10. Article 875946. doi.org/10.3389/fpubh.2022.875946. <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2022.875946/full>

5. Chung-Kwang C., Guy A. W., McDougall J. Shielding Effectiveness of Improved Microwave-Protective Suits. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1987. № 35(11). P. 995–1001. doi:10.1109/tmtt.1987.1133797. [https://www.researchgate.net/publication/3129955\\_Shielding\\_Effectiveness\\_of\\_Improved\\_Microwave-Protective\\_Suits](https://www.researchgate.net/publication/3129955_Shielding_Effectiveness_of_Improved_Microwave-Protective_Suits)

6. Ebneth H. Metallized textile fabrics: Their properties and technical applications. *J. of IndustnaJ Fabrics*, 1985. Vol. 3(3), P. 30-35

7. Yin J., Ma W., Gao Z., Lei X., Jia C. A Review of Electromagnetic Shielding Fabric, Wave-Absorbing Fabric and Wave-Transparent Fabric. *Polymers*. 2022. № 14 (3). 377. doi:10.3390/polym14030377. [https://www.researchgate.net/publication/357964440\\_A\\_Review\\_of\\_Electromagnetic\\_Shielding\\_Fabric\\_Wave-Absorbing\\_Fabric\\_and\\_Wave-Transparent\\_Fabric](https://www.researchgate.net/publication/357964440_A_Review_of_Electromagnetic_Shielding_Fabric_Wave-Absorbing_Fabric_and_Wave-Transparent_Fabric)

8. Hui Ye H., Liu O., Xu X., Song M. Construction Strategy for Flexible and Breathable SiO<sub>2</sub>/Al/NFs/PET Composite Fabrics with Dual Shielding against Microwave and Infrared–Thermal Radiations for Wearable Protective Clothing. *Polymers*. 2024. № 16(1). 6; <https://doi.org/10.3390/polym16010006>. <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/1/6>.

9. Chen S. Electromagnetic Radiation Monitoring and Rescue Equipment Based on Communication. *The Electrochemical Society: 247th ECS Meeting Montreal, Canada May 18-22, 2025*: Journal of Physics Conference Series 2166(1):012033. doi:10.1088/1742-6596/2166/1/012033. [https://www.researchgate.net/publication/357947977\\_Electromagnetic\\_Radiation\\_Monitoring\\_and\\_Rescue\\_Equipment\\_Based\\_on\\_Communication](https://www.researchgate.net/publication/357947977_Electromagnetic_Radiation_Monitoring_and_Rescue_Equipment_Based_on_Communication)

10. Guan H., Liu S., Duan Y., Cheng Y. Cement based electromagnetic shielding and absorbing building materials. *Cement and Concrete Composites*. 2006. № 28(5). P. 468–474. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2005.12.004. [https://www.researchgate.net/publication/223666555\\_Cement\\_based\\_electromagnetic\\_shielding\\_and\\_absorbing\\_building\\_materials](https://www.researchgate.net/publication/223666555_Cement_based_electromagnetic_shielding_and_absorbing_building_materials)



## ОГЛЯД РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ У ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТАХ МЕТРОПОЛІТЕНА ДЕЯКИХ КРАЇН СВІТУ

Черепньов І. А., к.т.н., доц., e-mail: [i.cherepnev@btu.kharkov.ua](mailto:i.cherepnev@btu.kharkov.ua)

Державний біотехнологічний університет

Катунін А. М., к.т.н., с.н.с., e-mail: [lightsymbol@gmail.com](mailto:lightsymbol@gmail.com)

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Колокольніков В. О., здобувач вищої освіти, e-mail: [ikkol04@gmail.com](mailto:ikkol04@gmail.com)

Попко С. О., здобувач вищої освіти, e-mail: [serpopko1313@gmail.com](mailto:serpopko1313@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Як відомо, щорічно 10 січня відзначається Всесвітній день метро. Більш ніж 160 років тому в Лондоні було відкрито першу лінію метрополітену довжиною шість кілометрів. Станом на 2024 рік метро функціонує в 62 країнах світу і як зазначено в роботі [1] цей різновид пасажирського транспорту крім швидких перевезень значної кількості пасажирів має ще ряд переваг, а саме: дозволяє скоротити використання автомобілів, що знижує небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я людини, пов'язану з викидами вихлопних газів. Однак, крім достоїнств, метрополітен має ряд недоліків, які створюють серйозні загрози для здоров'я і життя як працівників, так і пасажирів. Зокрема в США на більшості станцій зареєстрований підвищений рівень шуму і вібрацій, що створюються застарілим обладнанням і механізмами. А рівні опромінення електромагнітними полями (ЕМП) в ряді випадків перевищують нормативні рівні [1].

**Мета даного дослідження** полягає в аналізі наукових публікацій, які визначають стан електромагнітної обстановки в метрополітенах ряду країн Європи та Азії

**Основні матеріали досліджень.** За даними китайських фахівців, що представлено в роботі [2], більшість проведених у світі досліджень присвячені питанням електромагнітної сумісності та захисту від перешкод обладнання, що встановлено на рухомому складі і на платформах метрополітену. Повідомлень про вимірювання електромагнітного середовища метрополітену практично не надходило. В [2] констатується той факт, що абсолютно недостатньо досліджень про існуючі ризики для здоров'я персоналу станцій метро і пасажирів внаслідок впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ). І хоча результати вимірювань проведених на підземних і наземних платформах метро Китаю показали відсутність перевищення норм встановлених Міжнародною комісією із захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP), автори [2] настійно рекомендують продовжувати наукові дослідження щодо підвищення ефективності оцінки безпеки електромагнітного впливу на станціях метрополітену. В Ірані проводяться активні роботи з розширення масштабів електрифікації транспортних систем. Такі системи генерують магнітне поле в статичному діапазоні або в діапазоні надзвичайно низьких частот. Отже, машиністи поїздів можуть піддаватися впливу цих полів в процесі роботи. Місцем дослідження було обрано метро Тегерана [3]. Результати вимірювань показали, що найбільші показники реєструвалися під час прискорення поїзда. Хоча рівень магнітних полів не перевищував порогових значень рекомендованих Американською асоціацією державних промислових гігієністів (ACGIH), але їх систематична дія на організм людини в деяких випадках може провокувати розвиток лейкемії і хвороби Ходжкіна [3]. Метою дослідження польських фахівців було вивчення електромагнітної обстановки у підземних комунікаціях метрополітену Варшави. Так у роботі [4] вказані основні джерела радіочастотного випромінювання, які роблять вплив на формування електромагнітної обстановки:

- мобільні телефони, які використовують пасажирів (робочий діапазон частот 880-960 МГц і 1920-2170 МГц);

- радіотелефонні передавачі, що використовуються машиністами та операторами руху (працюють на частоті 151 МГц);

- базові антени і термінали громадського доступу в Інтернет (робочий діапазон частот 2400-2500 МГц).

У підсумку, автори статті [4], як і їхні колеги в роботах [2,3] констатують відсутність перевищення допустимого рівня впливу ЕМВ на населення, але роблять застереження про те, що специфічний характер цього впливу, який обумовлено замкнутістю підземної інфраструктури, вимагає уваги при обговоренні небезпеки для здоров'я і проведення додаткових досліджень. Незважаючи на те, що за даними китайських фахівців представлених в роботі [2], стан електромагнітної обстановки в поїздах і на платформах метрополітену не перевищує допустимих нормативних значень, проводяться активні дослідження ефективності екранування кабіни машиніста метро та його впливу на безпеку машиніста від дії ЕМВ надвисокочастотного діапазону. Необхідність даних досліджень аргументується прогнозованим різким зростанням номенклатури електронного комунікаційного обладнання, яке розміщується у рухомому складі та платформах станцій метрополітену [5]. У 2001 році були проведені дослідження параметрів ЕМП, що впливають на обслуговуючий персонал Салтівського депо, а також на машиністів і пасажирів у вагонах метропоїздів Харківського метрополітену. Аналіз результатів експериментальних досліджень спектрального складу випромінювань в кабіні машиніста і в пасажирському вагоні показав, що за складом і рівнями ці випромінювання приблизно однакові та знаходяться в межах встановлених норм [6].

**Висновок.** Незважаючи на те, що за наведеними даними, рівні ЕМВ на об'єктах метрополітену не перевищують діючі норми, доцільно продовжити дослідження з урахуванням не тільки теплового, а й інформаційного впливу на організм людини.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gershon R. R. M., Qureshi K. A., Barrera M. A., Erwin M. J., Goldsmith F. Health and Safety Hazards Associated with Subways: A Review. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*. 2005. № 82(1). P. 10–20. doi:10.1093/jurban/jti004.  
<https://www.nyneuroslp.com/wp-content/uploads/2019/09/Subway-Health-and-Safety-Paper.pdf>
2. Jin Li, Mai Lu, Wenying Zhou, Qi Zhang. Safety evaluation on electromagnetic exposure on the subway platform based on experimental measurements. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*. 2019. Vol.37. № 2. 8 p. doi.org/10.11889/j.1000-3436.2019.rrj.37.020602.  
[https://www.researchgate.net/publication/290675478\\_Safety\\_evaluation\\_on\\_high\\_frequency\\_electromagnetic\\_exposure\\_in\\_driver%27s\\_cab\\_of\\_subway\\_train](https://www.researchgate.net/publication/290675478_Safety_evaluation_on_high_frequency_electromagnetic_exposure_in_driver%27s_cab_of_subway_train)
3. Jalilian H, Najafi K, Monazzam M R, Khosravi Y, Jamali J. Occupational Exposure of Train Drivers to Static and Extremely Low Frequency Magnetic Fields in Tehran Subway. *Jundishapur Journal of Health Sciences*. 2017. Vol.9, №4; e14329. doi.org/10.5812/jjhs.14329.  
[https://www.researchgate.net/publication/321504270\\_Occupational\\_Exposure\\_of\\_Train\\_Drivers\\_to\\_Static\\_and\\_Extremely\\_Low\\_Frequency\\_Magnetic\\_Fields\\_in\\_Tehran\\_Subway](https://www.researchgate.net/publication/321504270_Occupational_Exposure_of_Train_Drivers_to_Static_and_Extremely_Low_Frequency_Magnetic_Fields_in_Tehran_Subway)
4. Gryz, K., & Karpowicz, J. Radiofrequency electromagnetic radiation exposure inside the metro tube infrastructure in Warszawa. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2015. № 34(3), P.265–273. doi: 10.3109/15368378.2015.1076447.
5. Zhou W. Y., Lu. M. Evaluate the shielding effectiveness of driver's cab for metro and its influence on electromagnetic exposure safety. *International Conference on New Energy and Future Energy System 21–24 July 2019*. Macao, 2019. Vol. 354. №012033. doi 10.1088/1755-1315/354/1/012033.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/354/1/012033/pdf>
6. Результати досліджень параметрів електромагнітних полів в рухомих складах і на об'єктах метрополітену / А.С. Черепньов та ін. *Інформаційно керуючі системи на залізничному транспорті*. 2001. №1. С. 69-71.

ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ В РОСЛИННИЦТВІЧорна М. О., к.т.н., доц., e-mail: [masher1533@gmail.com](mailto:masher1533@gmail.com)Лавренко Д. С., аспірант, e-mail: [tigrossimo@gmail.com](mailto:tigrossimo@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Виробництво продукції рослинництва високої якості є одним з факторів економічної незалежності і стабільності України, що може гарантувати забезпечення населення продуктами харчування і створення вагомого експортного потенціалу сільськогосподарської продукції. Через високу вартість та нестачу мінеральних добрив і засобів захисту рослин від шкідників середня врожайність сільськогосподарських культур знизилася останнім часом, особливо в роки з несприятливими погодними умовами. Через бойові дії припинили роботу багато агрофірм, знизилась кількість робітників в існуючих підприємствах. А неефективне використання земельних ресурсів, низький рівень впроваджень досягнень науково-технічного процесу тощо не сприяють налагодженню ситуації.

Застосування лише традиційних технологій на сьогоднішній день вже недостатньо. Сільське господарство потребує оптимізації виробництва з метою одержання максимального прибутку, раціонального використання ресурсів, в тому числі природних, захисту навколишнього середовища. Сучасне сільське господарство передбачає ефективне та раціональне керування процесами росту рослин відповідно до їх потреб у поживних речовинах і умов зростання.

Врожайність сільськогосподарської культури на різних ділянках одного і того ж поля не буває однаковою. На показники врожайності впливають такі фактори як: якість ґрунту (родючість, кислотність); дози і види добрив; топографія місцевості; наявність лісосмуг; технологія посіву, догляду за сільськогосподарською культурою, збирання врожаю; якість насіння; хвороби, шкідники; погодні умови тощо.

**Мета досліджень.** Показати переваги одного з перспективних напрямків по збільшенню виробництва продукції рослинництва, а саме розробки інформаційних електромагнітних технологій.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження впливу ЕМП крайвисокочастотного (КВЧ) діапазону для знищення мікроорганізмів, отримання оптимальних біотропних його параметрів, розробка високостабільного електромагнітного джерела. Дослідження по впливу ЕМП на насіння різних культур показують, що вони при певних енергоінформаційних параметрах ЕМП можуть підвищити схожість і енергію проростання насіння до 30%.

Рослини, вирощені з обробленого насіння ЕМП сходять на кілька днів раніше, контрольних, мають перевагу по вегетативній масі та по врожайності до 30 ... 40%, некондиційне насіння досягають рівня кондиційних [1].

Побудова інформаційних електромагнітних технологій в сільськогосподарському виробництві пов'язано з проблемою визначення оптимальних біотропних параметрів електромагнітного поля, які здійснюють стимулюючу дію на метаболічні процеси в біооб'єктах.

Природа використовувала природні ЕМП зовнішнього середовища як джерела інформації, яка забезпечувала безперервне пристосування організмів до зміни різних факторів зовнішнього середовища - погодження процесів життєдіяльності з регулярними змінами, захист від спонтанних змін. А це призвело до використання ЕМП як носіїв інформації.

Одним з шляхів рішення цієї проблеми є використання спеціальних автоматизованих систем, що включають високочутливі пристрої отримання біофізичної інформації для оцінки дії ЕМП на життєдіяльність біологічних об'єктів.

Відсутність теоретичних досліджень як взаємодії інформаційного електромагнітного поля з біологічними об'єктами рослинництва, так з розробки пристроїв для оцінки механізмів

біологічної дії ЕМП робить проблематичною постановку питання про створення нових ресурсозберігаючих електромагнітних технологій в сільському господарстві. Рішення проблем в сільському господарстві і пов'язаних з ним галузях промисловості можливе на основі вживання ефективних інформаційних електромагнітних технологій, здатних змінити спосіб виробництва сільськогосподарської продукції.

Передпосівна обробка насіння культур електромагнітним випромінюванням підвищує схожість, врожайність на 10-20% та якісний показник в порівнянні з контрольним матеріалом.

Теплові та хімічні методи дії на біологічні об'єкти не завжди можуть бути застосовані в сільському господарстві. Вони небезпечні для здоров'я людини та потребують значних матеріальних ресурсів. Крім того, в більшості випадків відсутня повторюваність в отриманні позитивного ефекту від їх застосування.

Особливий інтерес і значущість представляє застосування інформаційного поляризованого ЕМП на біологічні об'єкти рослинництва з метою підвищення якості і кількості врожаю, знезараження насіння, знищення шкідників.

Застосування інформаційного електромагнітного поля в сільськогосподарському виробництві пов'язане з найменшими витратами енергії при максимальному впливі на процеси життєдіяльності біологічних об'єктів, які залежать не лише від потужності випромінювання, а й від відповідних частотних і модуляційно-часових параметрів ЕМП [1].

Актуальність даних досліджень підтверджується відкриттями та винаходами, зокрема в сільськогосподарському призначенні; закордонними роботами, які пов'язані з цілеспрямованою використанням впливу інформаційного випромінювання ЕМП не тільки на рослин і тварин, але і на людину. Проте бажані результати у зміні властивостей біологічного об'єкту можуть бути отримані лише при оптимальних біотропних параметрах ЕМП.

Для визначення біотропних параметрів ЕМП повинна бути побудована модель, що дозволяє визначити діапазон зміни даних параметрів (частота, потужність, експозиція, модуляція).

Вирішення проблеми з визначення біотропних параметрів ЕМП для інформаційної дії на біологічні об'єкти лежить в розробці математичних моделей, на основі яких визначався б можливий діапазон змін цих параметрів, а оптимізація цих параметрів проводилася за допомогою автоматизованих систем неруйнівного контролю біооб'єктів.

Застосування інформаційних електромагнітних технологій в енергозатратних технологічних процесах дозволяє знизити питомі енергозатрати, стабілізувати вихід і якість готової продукції. При цьому є можливість зменшити площу виробничих приміщень і скоротити кількість персоналу. Також такий підхід дає можливість автоматизації технологічних процесів.

На базі використання інформаційних параметрів електромагнітного поля ефективно вирішуються питання вимірювання біотропних параметрів біологічних об'єктів з метою їх оцінки. Ця технологія відрізняється високою точністю і універсальністю для неруйнівного контролю технологічних параметрів сільськогосподарських матеріалів [1].

**Висновок.** З аналізу стану використання інформаційних електромагнітних технологій можна зробити висновок що ця сфера енергетики взаємодіє з багатьма галузями. Це обумовлено тим, що застосування даної технології має ряд переваг з порівнянні з іншими видами фізичної взаємодії на об'єкти сільськогосподарського виробництва, в першу чергу, на біологічні.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Analysis of the electromagnetic field of multilayered biological objects for their irradiation in a waveguide system / V. Popriadukhin, I. Popova, N. Kosulina, A. Cherenkov, M. Chorna // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №6/5(90). – P. 58 – 66.

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Юшевич І. М., студент 4 курсу, e-mail: [ilya.yushevich@gmail.com](mailto:ilya.yushevich@gmail.com)

Висоцька О. В., д.т.н., проф., e-mail: [evisotska@ukr.net](mailto:evisotska@ukr.net)

Порван А. П., к.т.н., e-mail: [a.porvan@khai.edu](mailto:a.porvan@khai.edu)

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**Актуальність роботи.** Однією з проблем, що впливають на якість медичної допомоги, є недостатня інформованість керівників медичних організацій щодо стану матеріально-технічного забезпечення лікувально-діагностичного процесу [1]. Необхідність планування технічного обслуговування медичного обладнання обумовлена необхідністю гарантії безпеки пацієнтів і персоналу. У більшості лікувальних установ реєстрація відмов обладнання та планування технічного обслуговування досі ведеться вручну

З кожним днем потрібно контролювати все більший обсяг даних, раціонально розподіляти технічний персонал для виконання ремонтів, контролювати та вести облік бази даних запасних частин, при цьому зберігати економічний баланс у сфері витрат на ремонт та обслуговування [2].

Недоліки в плануванні технічного обслуговування медичного обладнання мають суттєвий вплив на роботу медичного закладу, безпеку використання та витрати, призводять до низки негативних наслідків, таких як: часті помилки та пропуски у графіках обслуговування; некоректне планування ризику пропуску критично важливих послуг або їх затримки. В свою чергу, наявність неточностей, несподіваних помилок, накладок та невиправданих витрат на експлуатацію техніки впливає на якість медичних послуг [3].

Автоматизація процесу планування технічного обслуговування медичного обладнання дозволяє знизити ймовірності помилок і зменшити людський фактор. Це важливо для забезпечення надійного обслуговування і дотримання графіків, що забезпечує надійність медичних приладів і систем. Тому виникає потреба у створенні інформаційної системи, призначеної для організації та планування ремонтних робіт медичного обладнання, спрямованих як на його оновлення або заміну в цілому, так і заміну його основних частин.

Існуючи інтернет сервіси (UpKeep, та ін.), мобільні додатки (eMaint та ін.), інформаційні системи для планування технічного обслуговування медичного обладнання [4], які можуть допомогти медичним закладам оптимізувати процеси обслуговування та підвищити надійність обладнання, мають низку недоліків, які можуть вплинути на ефективність їх впровадження та використання. Основними недоліками є високі витрати на впровадження та підтримку, складність у використанні тощо.

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка інформаційної системи обліку та планування технічного обслуговування медичного обладнання, що дозволить ефективно управляти ресурсами лікарні.

**Основні матеріали дослідження.** Базуючись на розробленому математичному забезпеченні, створена інформаційна система здатна, з використанням бази даних, сформувати графіки ремонтів обраної техніки та обладнання за системою планово-попереджувальних ремонтів для установ системи охорони здоров'я.

Запропонована система надає можливість отримати перспективні (на рік або кілька років наперед) та поточні (на місяць) графіки технічного обслуговування та ремонтів обраного обладнання, що зменшує ймовірність пропусків у плануванні та дозволяє зменшувати частоту несправностей. При цьому враховуються нормативи ремонтів конкретної моделі обладнання, режим роботи відділень клінік, ступінь зношування обладнання, введеного в експлуатацію.

Прив'язка відбувається до реального календаря із вибором року планування. Звіт (графік ремонтів) видається у форматі `xlsx`.



Інтерфейс програмного продукту є послідовністю вкладок, що дозволяють прийти до формування звіту з планами ремонтів та обслуговувань. Для розрахунків та аналізу даних, що вводяться в інформаційну систему, закладено аналітичні формули та алгоритми, що використовуються в системі планово-попереджувального ремонту.

Додатковими можливостями програмного продукту є: розрахунок кількості планових робіт та обладнання відповідно до виробничої програми, вибір моделей на основі параметрів та технічних характеристик; визначення потужності ремонтно-механічної бази, що включає розрахунок кількості ремонтного персоналу та ремонтного обладнання, планування ремонтної бази та розрахунок часу простою медичної техніки. Як мову програмування використовується Kotlin. Середовищем розробки виступала IntelliJ IDEA [5].

**Висновок.** Створена інформаційна система призначена для організації технічного обслуговування та ремонту медичного обладнання і дозволяє пройти всі етапи планування та вирішити наступні завдання:

- 1) врахування кількості та видів медичної техніки, що працює у відділеннях лікарні на основі вихідних даних;
- 2) визначення кількості та видів технічних обслуговувань та ремонтів основного обладнання за допомогою аналітичного методу;
- 3) складання перспективних та поточних графіків планово-попереджувальних ремонтів;
- 4) визначення чисельності ремонтного персоналу;
- 5) проведення розрахунку простою обладнання.

Використання інформаційної системи впливає на економічні показники медичного закладу (зниження витрат на обслуговування, економія часу, тощо) і дозволяє підвищити ефективність управління технічними послугами, оптимізувати ресурси та забезпечити надійність медичного обладнання, знизити ризик аварійного відмовлення пристроїв під час проведення лікувально-діагностичних процедур.

Передбачається, що впровадження такої інформаційної системи дозволить збільшити час корисного використання обладнання за рахунок скорочення часу його простою в ремонті, а також скоротить наднормативні (незаплановані) витрати, пов'язані з поломками обладнання та його впровадженням.

В перспективі планується інтеграція системи з IoT-датчиками та алгоритмами штучного інтелекту, що дасть змогу виявити та попередити поломки до того, як вони стануть серйозною проблемою.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Економіка охорони здоров'я: Підручник / За заг. ред. д. мед. н., проф. Парія В. Д.; Національний медичний університет імені О. О. Богомольця. – Житомир: ТОВ «Видавничий дім “Бук-Друк”», 2021. 288 с.
2. Călin Corciovă, Robert Fuior, Doru Andrițoi and Cătălina Luca. Assessment of Medical Equipment Maintenance Management. Operations Management. 2022. P. 1-15.
3. Кузовик В., Кучеренко В. Новітні технології ремонту медичного діагностичного обладнання за фактичним технічним станом. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2012. Вип. 3 (25). С. 10 – 14.
4. Badnjevic Almir. Evidence-based Maintenance of Medical Devices: Current Shortage and Pathway Towards Solution. 2023. P. 293 – 305.
5. IntelliJ IDEA. W3schoolsUA. українською. – URL: <https://w3schoolsua.github.io/hyperskill/intellij-idea.html#gsc.tab=0>. – (дата звернення 10.09.2024).

## СЕКЦІЯ 5. ІНТЕГРОВАНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛО- І ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

УДК 631.3:66.081.3+537.226

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОАЕРОЗОЛЬНОГО РОЗПИЛЮВАЧА, ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Грищенко В. О., доцент, e-mail: [vlgr@nubip.edu.ua](mailto:vlgr@nubip.edu.ua)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** В практиці сільськогосподарського виробництва широко використовуються відцентрові розпилювачі рідини з ротаційними робочими органами. Механічні ротаційні розпилювачі, досить компактні, не потребують повітряного надувного обладнання, забезпечуючи розпилення наближене до монодисперсного і має широкий факел розпилу та допускає регулювання дисперсності.

Поєднання механічного ротаційного та електричного способів розпилювання рідини різного призначення (отрутохімікати, ліки, вода для зволоження середовищ має певні переваги: отримання електрично зарядженого аерозолу, який швидко осідає (без втрат) на поверхні рослин (при їх хімічному захисті), швидко випаровується при зволоженні повітря, дрібнодисперсний аерозоль добре засвоюється при інгаляції сільськогосподарських тварин і птиці [1,2].

**Мета досліджень** – сформулювати математичний опис процесів переміщення частинки аерозолу у каналі при дії напруженості, частоти обертання електроду і витрат рідини на величину радіусу утворених частинок аерозолу.

**Основні матеріали досліджень.** При розробці електроаерозольного генератора багатоцільового призначення необхідно враховувати, різноманіття оброблюваних об'єктів, та вимоги до режимів обробки; при обприскуванні рослин генератор повинен забезпечити, монодисперсний крапельний розпил із мінімальним випаровуванням; для зволоження повітря навпаки завдання швидкого випаровування аерозолу, при цьому необхідно враховувати можливість зміни витрат рідини при фіксованому розмірі частинок аерозолу [3,4]. Можливість регулювання параметрів і режимів функціонування електроаерозольного генератора може забезпечити система автоматичного керування.

Процес утворення електрично зарядженого аерозолу складається із формулювання на електроді плівки рідини з наступним її зарядженням в електричному полі, розпадом плівки на окремі заряджені краплі та переміщення їх в електричному полі й повітряному середовищі або потоці.

В загальному випадку, за наявності в генераторі руху повітряного середовища і конвективного електричного струму, об'ємний заряд, що виникає в об'ємі (між електродному просторі) спотворює електричне поле, напруженість поля буде функцією електричного заряду аерозолу. Тому треба знайти зв'язок між щільністю струму і зарядом вибраного типу електродів.

Вихідна узагальнена система рівнянь, що описує електричне поле генератора за наявністю електричного зарядженого аерозолу може бути записана у вигляді:

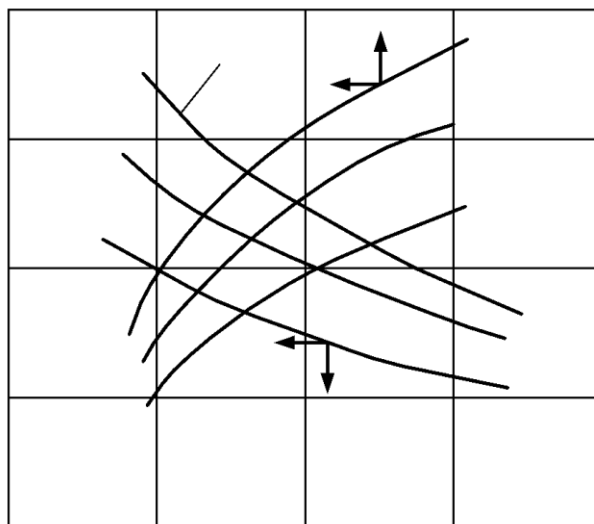
$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} E = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon}; \\ -\rho V_0 \frac{dv}{dx} + qE + \frac{k_c}{a_1} (v - v_n); \\ \operatorname{div} J_k = \frac{\partial \rho}{\partial t}; \end{array} \right.$$

$$E = \frac{U}{R_1 - R_2}$$

де  $E$  – напруженість електричного поля;  $q = \frac{2}{3}\pi^3 \varepsilon_0 E r^2$  – об'ємний заряд;

$v$  – швидкість частинки аерозолі;  $v_n$  – швидкість середовища;  $\alpha_1$  – рухомість частинки;  
 $\rho$  – густина частинки;  $k_c$  – коефіцієнт опору середовища;  $r$  – радіус частинки;  $U$  – напруга;  
 $R_1, R_2$  – радіус електродів.

Розв'язок системи рівнянь, при загальноприйнятих спрощеннях дозволив визначити вплив основних параметрів процесу: напруженості (напруги), частоти обертання електроду і витрат рідини на величину радіусу утворених частинок аерозолі.



**Рисунок 1 – Графік залежностей напруженості (напруги), частоти обертання електроду і витрат рідини на величину радіусу утворених частинок аерозолі**

**Висновок.** Радіус частинок суттєво зменшується при збільшенні частоти обертання електроду. При збільшенні витрат – збільшується розмір частинок аерозолі, але із збільшенням напруги (і відповідно напруженості краплі) зменшується в розмірах. Таким чином, змінюючи частоту обертання і напругу на електродах можна стабілізувати розмір крапель при зміні (при необхідності) розмір частинок аерозолі.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pantsyr Y., Garasymchuk I., Spirin A, Kupchuk I. Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, *Przegląd Elektrotechniczny* 1 (2023), 100-104. <https://doi:10.15199/48.2023.01.19>
2. Грищенко В., Котов Б. Дослідження режимів регенеративного теплоутилізатора з дисковою обертальною насадкою. X Міжнародна науково-практична онлайн-конференція «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні 2022»: 2022. С. 122–126.
3. Котов Б. І., Грищенко В. О., Грушецький С. М., Рудь А. В. Обґрунтування компоновки і режиму роботи вихрового знепилювача у складі теплоутилізаційних установок в агропромислових об'єктах. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2021. Вип. 13, № 112. С. 116–125.
4. Котов Б. И., Грищенко В. А. Функционирование трубчатых электрофильтров для очистки воздушных потоков вентиляционных выбросов от пыли. *Инжиниринг: теория и практика: материалы I международной заочной научно – практической конференции, УО «Полесский государственный университет»*: 2021. С. 23–26.

## ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ ІЧ-ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ПРИ МІКРОНІЗАЦІЇ ЗЕРНА

Калініченко Р. А., к.т.н., доц.,

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»;

ORCID iD 0000-0001-9325-1551

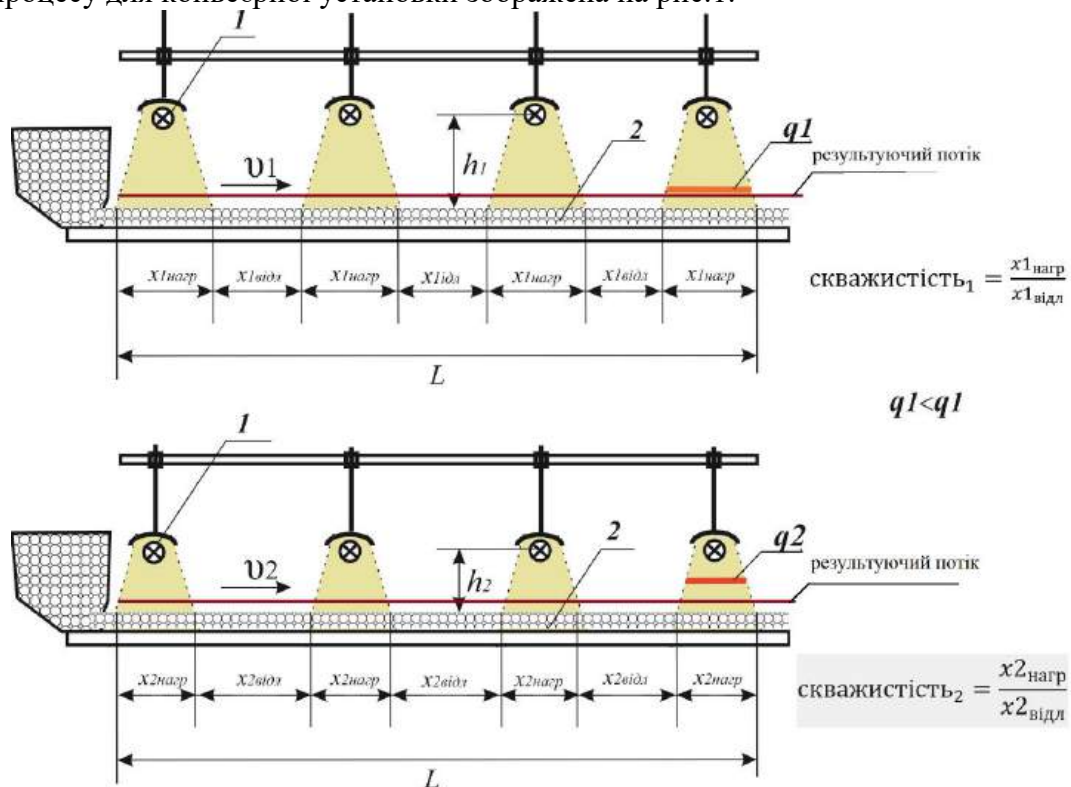
Котов Б. І., д.т.н., проф.,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»;

ORCID iD 0000-0001-6369-3025

**Актуальність дослідження.** Мікронізація зерна є важливим видом термообробки в АПВ. Сутність мікронізації – полягає у високоінтенсивному нагріві вологого зернового матеріалу, що призводить до закипання води в зернівці, внутрішньокапілярний тиск стрибкоподібно підвищується і викликає розрив вуглеводних зв'язків в зернівці.

**Основні матеріали досліджень.** Одним із найбільш ефективних методів інтенсивного нагрівання зерна є застосування інфрачервоного (ІЧ) теплового потоку, але використовувана значна потужність ІЧ-теплового потоку може призводити до перегрівання поверхні зернівки (підгоряння), що знижує якість кінцевого продукту. Для запобігання перегрівання поверхні зернівки застосовують осцилюючі режими: ІЧ-нагрів–відлежування. Для проведення енергоефективного процесу мікронізації потрібно визначити таку модуляцію потужності ІЧ-потоку, що призведе до закипання вологи в зернівці і унеможливить перегрівання поверхні, схема процесу для конвеєрної установки зображена на рис. 1.



**Рисунок 1 – Схема терморадіаційної установки:  
1 – випромінювач з екраном; 2 – шар зернового матеріалу**

Застосування осцилюючих режимів при мікронізації значно ускладнює розрахунок тепломасообміну на основі математичної моделі О.В.Ликова:

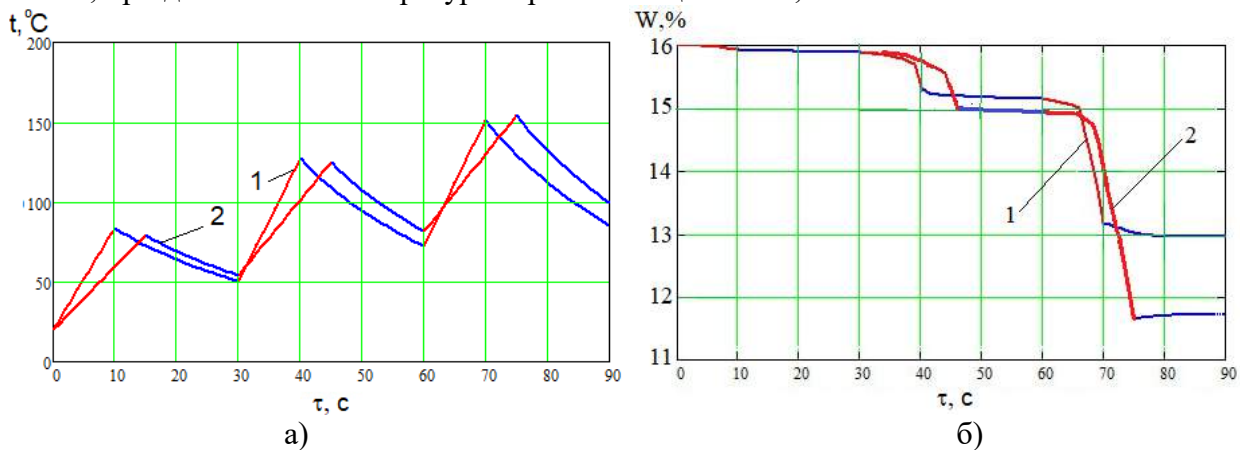
$$\left\{ \frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_{ef}(U) \left[ \frac{\partial^2 \theta(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\Gamma}{x} \frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial x} \right] \mp \frac{q(T)}{c(U)\rho(U)} \right\}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{mef}(\theta) \left[ \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\Gamma}{x} \frac{\partial U(x, \tau)}{\partial x} \right] + \varepsilon \frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial \tau}; \quad (2)$$

де,  $\beta$  – коефіцієнт форми тіла ( $\beta=0$  – пластина нескінчена,  $\beta=2$  – куля;  $\langle_{ef}(U)$  – ефективний коефіцієнт теплопровідності;  $a_{mef}()$  – коефіцієнт масопродності;  $(U$  – температура і вологовміст матеріалу, відповідно;  $q()$  – інтенсивність внутрішнього джерела теплоти (позитивного чи негативного);  $c(U)$ ,  $\chi(U)$  – питома теплоємність і густина вологого матеріалу;  $\Sigma$  – ефективний коефіцієнт фазового переходу;  $T$  – температура зовнішнього джерела.

Ефективні теплофізичні коефіцієнти рівнянь (1), (2) визначалися за методикою, що представлена роботах [2,3]. Через визначені ефективні коефіцієнти здійснюється взаємозв'язок рівнянь нагріву і зневоднення зерна, це дозволяє вирішувати їх окремо.

На рис.2 представлені результати моделювання мікронізації зернового матеріалу. Періоди нагрівання визначалися з рішення рівняння (1) для кулі при граничних умовах II-роду, періоди відлежування при граничних умовах III-роду. Кінетика зневоднення визначалася з рівняння (2) з врахуванням різкої зміни коефіцієнту фазового переходу і коефіцієнта дифузії води, при досягненні температури зернівки вище 100 °С,



**Рисунок 2 – Кінетики ІЧ-нагріву і зневоднення зернового матеріалу при однаковому сумарному ІЧ-енергопідводі: 1 –  $\tau_{нагр}=15с$ ,  $\tau_{відл}=15с$ ; 2 – 1 –  $\tau_{нагр}=10с$ ,  $\tau_{відл}=20с$ .**

На представлених графічних залежностях можна відмітити, що при однаковій підведеній сумарній потужності експозиція ефективної мікронізації (температура зернівки ( $t > 100$  °С)) більша саме для другого варіанту реалізації процесу, що підтверджується інтенсивнішим зневоднення на рис.2б.

**Висновок.** Модуляція ІЧ-теплого потоку, дозволяє підвищувати енергоефективність мікронізації зернових матеріалів і запобігати перегріву поверхні обробляемого матеріалу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Степаненко С. П., Калініченко Р. А., Котов Б. І. Ресурсо-енергоефективні технології і технічні засоби для обробки вологого фуражного зерна: монографія / С. П. Степаненко, Р. А. Калініченко, Б. І. Котов – Ніжин: Видавець Лисенко М.М., 2023.–128с.
2. Калініченко Р. А. Визначення теплофізичних коефіцієнтів в розв'язках рівняння теплопровідності для ідентифікації процесів термообробки зерноматеріалів // Науковий вісник НУБіП України. 2016. №241. С.325-333
3. Калініченко Р. А. Алгоритм параметричної ідентифікації аналітичного математичного опису динаміки низькотемпературного сушіння зернових матеріалів / Р. А. Калініченко. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2016. – №3(102). – С. 181–189.



ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СУШКИ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ  
ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОНАГРІВУ

Котов Б. І., д.т.н., проф.,  
ORCID iD 0000-0001-6369-3025

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»;  
Мироненко В. Г., д.т.н., проф., Степаненко С. П., д.т.н., с.н.с.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

**Актуальність дослідження.** Сушіння урожаю сільськогосподарських культур є обов'язковою технологічною операцією післязбиральної обробки. Враховуючи широкий асортимент висушеної продукції, найбільш універсальним сушильним агентом є пневмобарабанні установки.

Основною особливістю, яка утруднює керування режимом сушіння є те, що сушильний агент є одночасно теплоносієм і засобом, що транспортує матеріал в барабані. Тому зміна кількості сушильного агента, як регулюючого параметра призводить до зміни швидкості переміщення матеріала.

**Основні матеріали досліджень.** Конструкційні параметри барабана розраховуються з врахуванням забезпечення певної швидкості пересування і експозиції зневоднення матеріала. Все це зумовлює значні втрати теплоти з відпрацьованим високотемпературним сушильним агентом. Рациональним способом зниження цих втрат теплової енергії є зменшення загальної кількості сушильного агента, а зменшення теплоти теплоносія компенсувати безконтактним підведенням теплоти до матеріала інфрачервоним випромінюванням.

Практична реалізація такого способу підводу теплоти забезпечена установкою в кінцевій частині барабана пересипної полицки під якою розміщено інфрачервоний випромінювач рис.1.

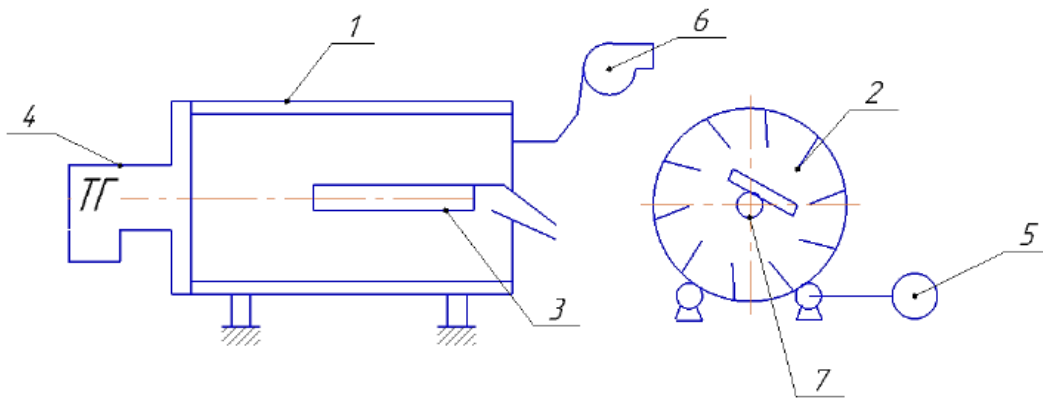


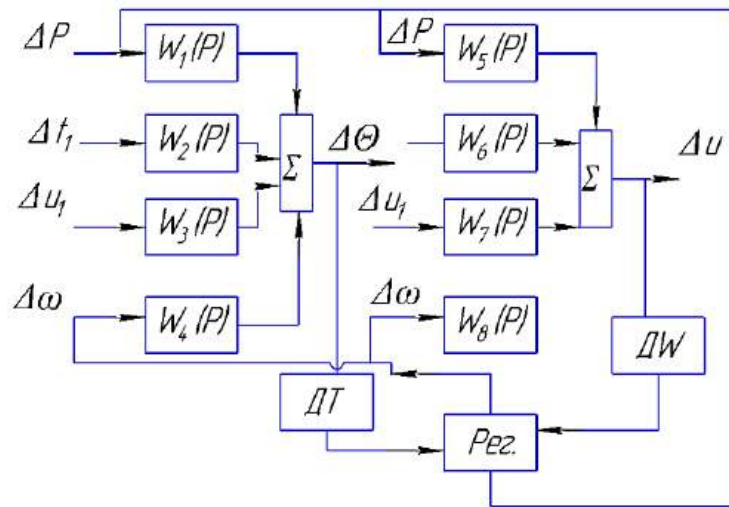
Рисунок 1 – Конструктивна схема барабана

1 – корпус барабана; 2 – лопатева насадка; 3 – пересипна полицка; 4 – теплогенератор;  
5 – привод обертання барабана; 6 – вентилятор; 7 – інфрачервоний випромінювач

Пересипна полицка є одночасно екраном інфрачервоного випромінювача (ІЧ) і кондуктивним нагрівачем для перемішуємого шару зерна. таким чином в частині барабана в яку потрапляє зерно, яке вже підсушене конвективним підводом теплоти додається кількість теплоти ІЧ опромінення. При чому матеріал опромінюється в завалі (на дні барабана), потім лопатями транспортується у верхню частину і переміщується вздовж полицки донизу і процес повторюється. Кількість пересипань визначається кутовою швидкістю обертання барабана.

Матеріал, що знаходиться на полицці опромінюється випромінюванням від внутрішньої поверхні барабана. Таким чином підведенням теплоти до матеріала можна керувати, як зміною потужності випромінювача так і частотою обертання барабана.

Структурна схема процесу сушіння в барабанній сушарці з контуром автоматичного керування наведена на рис. 2.



**Рисунок 2 – Структурна схема процесу сушіння в барабанній сушарці з контуром автоматичного керування: Reg. – регулятор; ДТ, ДВ – датчики температури і вологості зерна;  $W_1(P) - W_8(P)$  – передавальні функції по відповідних каналах;  $t_1, U_1$  – початкова температура сушильного агента і зерна;  $P$  – потужність ІЧ – випромінювача;  $\omega$  – частота обертання барабана;  $\Delta\Theta(P), \Delta U(P)$  – регулюємі параметри температури і вологості зерна на виході.**

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Нездвецька І. В. Теоретичні передумови визначення залежності технологічних параметрів процесу сушіння від конструкційних параметрів сушильного барабана // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2012. Вип. 170. Ч.2. с.95 – 101.
2. Калініченко Р. А. Математична модель сушіння рослинної сировини в обертальному барабані за комбінованого підведення енергії / Р. А. Калініченко, Б. І. Котов, А. В. Спирін // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2017. - Вип. 261. - С. 219-225.
3. Котов Б. І. Математичне моделювання процесу сушіння рослинних матеріалів в барабанній сушарці при змінній швидкості переміщення матеріалу / Б. І. Котов, Р. А. Калініченко, А. В. Спирін // Інженерія природокористування. - 2017. - № 2. - С. 19-23.

АЛЬТЕРНАТИВНА ГЕЛІОТЕПЛОНАСОСНА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Котов Б. І., д.т.н., проф.,  
ORCID iD 0000-0001-6369-3025

Панцир Ю. І., к.т.н., доц., Герасимчук І. Д., к.т.н., доц.  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Суміщення в системі теплогенерації сонячного колектору, теплонасосного циклу та джерела ґрунтової теплоти складає, як науковий так і практичний інтерес для розробки енергозберігаючих теплотехнологічних процесів і обладнання. Таких як обігрів приміщень, сушіння сільськогосподарської сировини, нагрівання кормів та іншої продукції.

Альтернативна система теплогенерації, яка складається з рідинного геліоколектора 1, бака акумулятора теплової енергії 2, теплового насосу 3, ґрунтового теплообмінника 4 (рис. 1) дозволяє одночасно або послідовно (за часом доби) використовувати два види, альтернативної енергії для теплопостачання виробничих об'єктів сільськогосподарського виробництва.

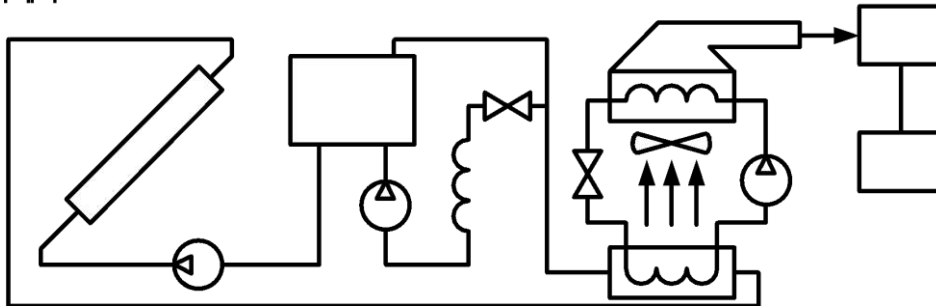


Рисунок 1 – Схема альтернативної системи теплопостачання технологічних об'єктів

Для теоретичних досліджень динаміки запропонованої системи альтернативної генерації теплоти (наприклад для нагрівання атмосферного повітря при сушінні зернових матеріалів в складському приміщенні) сформульована спрощена математична модель теплових процесів в основних елементах конструкції установок у вигляді рівнянь теплового балансу:

– для геліоколектора:

$$J(\alpha, \tau)F = \alpha F(\bar{\theta}_a - \bar{t}_n) + mc \frac{d\theta_a}{d\tau};$$

$$G_p c_p (t_1 - t_2) + \alpha F(\bar{\theta}_a - \bar{t}_n) = m_p c_p \frac{dt_2}{d\tau};$$

– для бака акумулятора:

$$m_p c_p \frac{dt^b}{d\tau} = G_p c_p (t_1^b - t_2^b) + \alpha_2 F_2 (\bar{t}^b - t_{gr});$$

– для ґрунтового теплообмінника – акумулятора:

$$m_t c_t \frac{d\theta_t}{d\tau} = G_p^t c_p (\theta_1^t - \theta_2^t) + \alpha_t^{gr} F_t^{gr} (\theta_{gr} - \theta_t);$$

$$m_{gr} c_{gr} \frac{d\theta_t^{gr}}{d\tau} = \alpha_t^{gr} F_t^{gr} (\theta_{gr} - \theta_t);$$

– для елементів конструкції теплового насосу:

$$\sum m_i c_i \frac{dT_B}{d\tau} = G_w c_w (T_{B1} - T_{B2}) - Q_0;$$

$$\sum m_j c_j \frac{dT_{CT}}{d\tau} = Q_k - G_n c_n (T_{k2} - T_{k1});$$

$$Q_0 + N_i = Q_k;$$

– для споживача (сушарки):

$$G_n c_p (T_{k2} - T_{k1}) = G_v c_p (t_2^n - t_1^n);$$

де  $\theta_a, t, t^b, t^{gr}, T_B, T_k$  – температура абсорбера геліоколектора, теплоносія в геліоколекторі, в акумуляторі, ґрунті, теплоносія у випарнику і конденсаторі;  $G_t, G_p, G_w, G_n$

– витрати теплоносія в геліоколекторі, акумуляторі, випарнику ТН і конденсаторі ТН;  $\alpha_i, F_i$  – коефіцієнти і поверхні теплопередачі в елементах конструкцій системи теплопостачання;  $Q_0, Q_k, N$  – теплова потужність випарника, конденсатора і потужність приводу компресора ТН.

Отримані рівняння визначають зв'язки між різними тепловими параметрами альтернативної геліотеплонасосної системи теплопостачання технологічних об'єктів і можуть бути використані для виконання теплових розрахунків динаміки окремих елементів і систем в цілому. А також при синтезі системи автоматичного керування температурним режимом теплогенеруючої установки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Голуб Г. А., Кепко О. І. Математична модель теплонасосної системи теплопостачання споруд закритого ґрунту // Вісник ХДТУСГ. 2002. Вип. 10. С. 275-278.
2. Котов Б. І., Грищенко В. О., Панцир Ю. І., Герасимчук І. О. Математичне моделювання динамічних режимів теплонасосної системи для теплопостачання технологічних об'єктів // Вібрації в техніці та технологіях. 2021. Вип. 2(101). С. 91-97.
3. Котов Б. І., Панцир Ю. І., Герасимчук І. О., Калініченко Р. А., Грищенко В. О. Математична модель теплоенергетичних режимів теплонасосної сушильної установки // Сільськогосподарські машини. 2021. Вип. 47. С. 7-14.

СИСТЕМНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОВЕНТИЛЯЦІЙНИХ  
УСТАНОВОК ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНАКотов Б. І., д.т.н., професор,  
ORCID iD 0000-0001-6369-3025Рудь А.В., к.т.н., професор,  
ORCID iD 0000-0002-7206-7103Грушецький С.М., к.т.н., доц.  
ORCID iD 0000-0002-6434-1213

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»;

Після збирання зерна комбайнами, настає період післязбирального дозрівання фізіологічного зерна, який має відбуватися у сховищах для тимчасового або тривалого зберігання. Після завантаження зерна у сховища відбувається випаровування вологи, нагрівання зерна. Тому навіть сухе зерно (14...15 %) треба охолоджувати вентиляванням, за місцем зберігання.

Обробка зерна примусовим вентиляванням (або аерацією) необхідна для виключення таких негативно діючих факторів: проростання, розвитку грибової плісняви, конденсації пари, газовиділення та розмноження шкідників.

Тому при проектуванні зерносховищ (бункера активного вентилявання, досушуючи сховища, сховища з аерацією зерна) необхідно створити умови, що забезпечують рівномірне проходження повітря крізь весь об'єм зернової маси; вибрати кількість повітря здатного відібрати тепло і вологу із зернової маси.

При проектуванні сучасних вентиляваних сховищ враховують вимоги, які умовно розділяють на етапи (відповідно до схеми на рис. 1):

1. Технологічні – забезпечення рівномірності, тривалості, відбору теплоти і вологи із зерна;
2. Конструкційні – мінімальна металоємність, мінімальне енергоспоживання, встановлена потужність оптимальна, механізація завантаження і вивантаження, суміщення завантаження з очищенням і знепилюванням;
3. Кібернетичні – наявність засобів автоматичного контролю параметрів зерна і вентиляваного повітря;
4. Експлуатаційні – безпека, простота в обслуговуванні та ремонті, відповідність санітарним нормативам в зоні обслуговування (шум, запиленість та ін.);
5. Техніко-економічні – мінімізація експлуатаційних затрат і втрат якості зернового продукту.

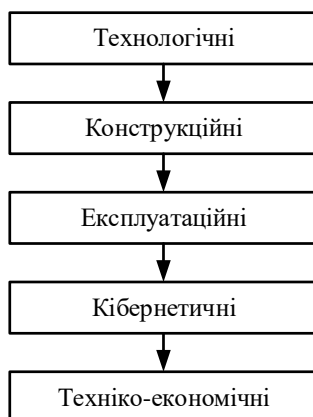


Рисунок 1 - Вимоги до проектування



Наведені вимоги повинні бути реалізовані в процесах розрахунку і проектування технічних засобів зберігання зерна. При цьому застосовується наступний порядок проведення етапів проектування:

Попередній: вибір сховища (бункерне, ангарне, циліндричні), системи розподілу повітря, дутево-вентиляційного обладнання, об'єму завантажуючого зерна і обладнання для завантаження і вивантаження; схеми контролю і регулювання параметрів; об'єм сховища;

Розрахунковий: розрахунок витрат і розподілу повітря; розрахунок тривалості безпечного зберігання; динаміки самозігрівання зернової маси, експозиції охолодження, зміни вологості зерна в часі; визначення опору зернового шару проходженню повітря;

Заключний: визначення раціональних (оптимальних) режимів вентилявання; апаратури контролю і керування процесом вентилявання в залежності від кліматичних параметрів; апробація у виробничих умовах.

Вимоги до автоматизації контролю і керування режимами вентилявання і досушування. Контролер повинен виконувати основні функції:

– в автоматичному режимі контролювати параметри повітря (температура, вологість) на вході та виході шару зерна, обраховувати температуру зерна, керувати вентилятором і резервним нагрівачем;

– контролювати експозицію вентилявання зерна і його температуру; забезпечити роботу вентиляційної установки в режимі досушування (вологе зерно  $W > 14\%$ ) і аерації (сухе зерно  $W < 14\%$ ).

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Котов Б. І., Грищенко В. О. Математична модель охолодження зерна у вентиляюємих бункерах з радіальним розподілом повітря // Конструювання, виробництво і експлуатація с.-г. машин. Кропивницький. 2017. Вип. 47. №1. С. 132-138.

2. Грищенко В. О., Котов Б. І. Моделювання нестационарних процесів ТМО при охолодженні зерна в щільному шарі – потоком повітря // Механізація та електрифікація с.-г. 2017. Вип. 105. С.87-96.

3. Кирпа М. Я. Розвиток обладнання і технологій для первинної обробки, сушки і зберігання зерна в господарствах АПК // Хранение и переработка зерна. 2000. №10. С.25-36.

## ПНЕВМОІНЕРЦІЙНЕ ЕЛЕКТРОСЕПАРУВАННЯ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

Котов Б. І., д.т.н., професор, [ORCID iD 0000-0001-6369-3025](https://orcid.org/0000-0001-6369-3025)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»;

Степаненко С. П., д.т.н., с.н.с.

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН

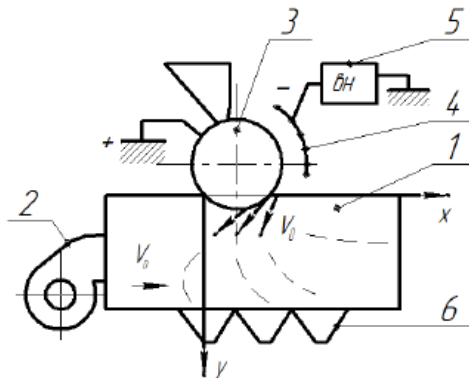
Панцир Ю. І., к.т.н., доц., Герасимчук І. Д., к.т.н., доц.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»;

Одним із напрямків підвищення урожайності зернових культур є підвищення якості насінневого матеріалу. Найбільш розповсюдженими є пневматичні сепаратори інерційного типу (протитечієвий ввід матеріалу в горизонтальний або нахилений пневмоканал) дозволяють досить ефективно реалізовувати поділ компонентів за аеродинамічними властивостями, які найбільш тісно корелюють з показниками якості насіння (маса, густина, розмір). Але при фракціонуванні насінневого матеріалу необхідно враховувати не тільки фізико-механічні властивості насінин, а також і біологічні.

Відомо, що біологічні властивості зерна в значній мірі визначаються електричними властивостями: діелектричної проникненості, електричний опір, електроємність.

Застосування додаткового впливу (альтернативних сил) електричного поля, створює можливість дообладнання існуючих пневмоінерційних (пневмоканалних) сепараторів додатковими робочими органами, реалізувати поділ насінневого матеріалу за комплексом аеродинамічних і електричних властивостей.



**Рисунок 1 – Конструктивна схема барабанного електрокоронного сепаратора: 1 – пневмоканал; 2 – вентилятор; 3 – барабанний електрод; 4 – коронуючий електрод; 5 – джерело напруги; 6 – приймачі фракцій.**

Практична реалізація процесу пневмоінерційного електричного фракціонування здійснена при використанні в якості живильного пристрою барабанного електрокоронного сепаратора рис. 1.

В залежності від електричних властивостей насінин, вони різний час утримуються на поверхні барабана і відриваються від поверхні під різними кутами.

Величина кута відриву насінини забезпечує різний кут вводу в канал для частинок (насінин) з різними характеристиками: розмір (а, b), діелектрична проникненість  $\epsilon$ , перехідний електричний опір R.

Рух компонентів насінневого матеріалу в горизонтальному рівномірному потоці повітря визначається системою диференціальних рівнянь:

$$\{\ddot{x} + k_{\Pi}(\dot{x} + V)\sqrt{(\dot{x} + V)^2 + \dot{y}^2} = 0; \ddot{y} + k_{\Pi}\dot{y}\sqrt{(\dot{x} + V)^2 + \dot{y}^2} = g, \quad (1)$$

де  $k_{\Pi} = \frac{g}{V^2}$ ; V – швидкість повітря;

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt}; \ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}; \dot{x} = \frac{dx}{dt}; \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}; \quad (2)$$

Граничні та початкові умови:

$t = 0; y = 0; x_i = x_1, x_2, x_3$  (1-3) – координати вводу фракцій;  
 $\dot{x} = V_0 \cos \cos \alpha_0; \dot{y} = V_0 \sin \sin \alpha_0$ .

$V_0, \alpha_0$  - швидкість і кут напрямку входу частинки в повітряний потік. Кут  $\alpha_0$  дорівнює куту відриву насінини від поверхні барабана.

Кут відриву визначається із рівняння силової взаємодії насінини і електричного поля:

$$G \cos \cos \alpha_0 + F_e + F_z = F_{vz} \quad (3)$$

Або в розгорнутому вигляді:

$$\cos \cos \alpha_0 = \frac{V_0^2}{Rg} - \frac{3E^2 \mu}{2\pi g b \rho K_r} \left[ 1 + \frac{\mu}{K K_r} \right] \quad (4)$$

де  $K_r = \frac{1+(\varepsilon_r-1)K_g}{\varepsilon_r}; \mu = \frac{1+RC\beta-\sqrt{1-4rC\beta}}{2rC\beta}$ .

$K_g$  – коефіцієнт вісьової деполяризації для еліпсоїда з вісями а, b.

$$K = \frac{b}{a}.$$

$\varepsilon_r$  – діелектрична проникненість насінини;  $\rho$  – густина насінини;  $E$  – напруженість електричного поля;  $C$  – ємність і опір системи насінини – електрод;  $r$  – еквівалентний радіус насінини;  $\beta$  – коефіцієнт швидкості розрядки.

Розв'язок системи рівнянь (1) з початковими умовами (2) і (4) дозволяє побудувати траєкторії компонентів насінневого матеріалу та за їх розгалуженням визначити ефективність процесу сепарації. З аналізу вихідних рівнянь можна зазначити, що на рух насінини впливають такі параметри: густина, розмір, швидкість витання, діелектрична проникненість, електричний опір контакту з барабаном електродом, швидкість обертання барабана і напруженість електричного поля.

Регулюючими параметрами крім швидкості повітря (у пневмосепараторі) є оберти барабана і напруженість електричного поля.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Котов Б.І., Степаненко С.П. Підвищення ефективності сепарації насіння з використанням протитечійної подачі матеріалу в горизонтальний повітряний потік // Техніка, енергетика, транспорт АПК: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2016. – Вип.3(95). / [ВНАУ]. – Вінниця, 2016. – С.121-125.

2. Ковалишин С.Й., Соколюк В.В. Електрокоронна насіннеобробна машина барабаного типу для дрібнонасінневих сумішей // Вісник ХНТУСГ. 2014. Вип. 144. С.60-65.

3. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pansyr Y., Garasymchuk I., Spirin A, Kupchuk I. Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, *Przegląd Elektrotechniczny* 1 (2023), 100-104. <https://doi:10.15199/48.2023.01.19>

4. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, I. Demchuk, V. Melnyk, D. Volyk. Modelling of aerodynamic separation of grain material in a combined centrifugal-pneumatic separator. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings, Volume 23, May 22-24, 2024 Jelgava, Latvia.* p. 1143-1149. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF236>

5. Kaletnik H., Solona O., Kotov B., Stepanenko S., Shvidia V., Kalinichenko R., Tverdokhlib I., Polievoda Y. The usage of the elemental base of the vibratory mill with the spatial circulation movement of material to create drying rig. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2024. Vol. 100, № 3. P. 232-237. <https://doi.org/10.15199/48.2024.03.41>

6. Stepanenko, S.; Kotov, B.; Kuzmych, A.; Shvydia, V.; Kalinichenko, R.; Kharchenko, S.; Shchur, T.; Kocira, S.; Kwaśniewski, D.; Dziki, D. To the Theory of Grain Motion in an Uneven Air Flow in a Vertical Pneumatic Separation Channel with an Annular Cross Section. *Processes* 2022, 10, 1929. <https://doi.org/10.3390/pr10101929>

7. Stepanenko S. P., Kotov B. I., Popadyuk I. S. Research of the process of pneumatic-vibration separation of grain by density during one-dimensional movement of the grain flow Mechanization and electrification of agriculture: [All-Ukrainian collection]. - 2021. - Issue No. 14 (113). / [NSC "IMESG"]. - Glevakha, 2021. - P. 77-87. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-8>

РОЗРОБКА ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ПОБУТОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ ШАФИ

Панчук В. В, магістрант, e-mail: [tnt7@ukr.net](mailto:tnt7@ukr.net)

Горященко С. Л., к.т.н., доц., e-mail: [horishchenko@khamnu.edu.ua](mailto:horishchenko@khamnu.edu.ua)

Хмельницький національний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасні побутові холодильники і морозильники - це складні побутові прилади, що працюють в специфічних умовах, - в житлових (кухонних) приміщеннях, тому до них пред'являють високі вимоги: функціонування в автоматичному режимі, користувач, якщо і виконує, то тільки прості операції по догляду за ними; мінімальний рівень шуму; високий рівень надійності; повна безпека функціонування; можливо малі габаритні розміри при певній корисній місткості, невелика вартість і малі експлуатаційні витрати. [1, 2, 3, 4]

Холодильний агрегат побутового холодильника складається з мотор-компресора, випарника, конденсатора, системи трубопроводів і фільтру-осушувача. Однак вузлом, що це поєднує у одну систему є регулятор температури. Тому розробка терморегулятора для шафи холодильника є актуальною задачею.

**Мета досліджень.** Нашим завданням є розробка контролера температури у холодильній шафі для діапазона температур від +10 до -20<sup>0</sup>С.

**Основні матеріали досліджень.** Терморегулятор повинен розширити функціональні можливості вищезазначеної схеми. Це досягається тим що розроблена модернізована електрична схема що представлена на Рис.1.

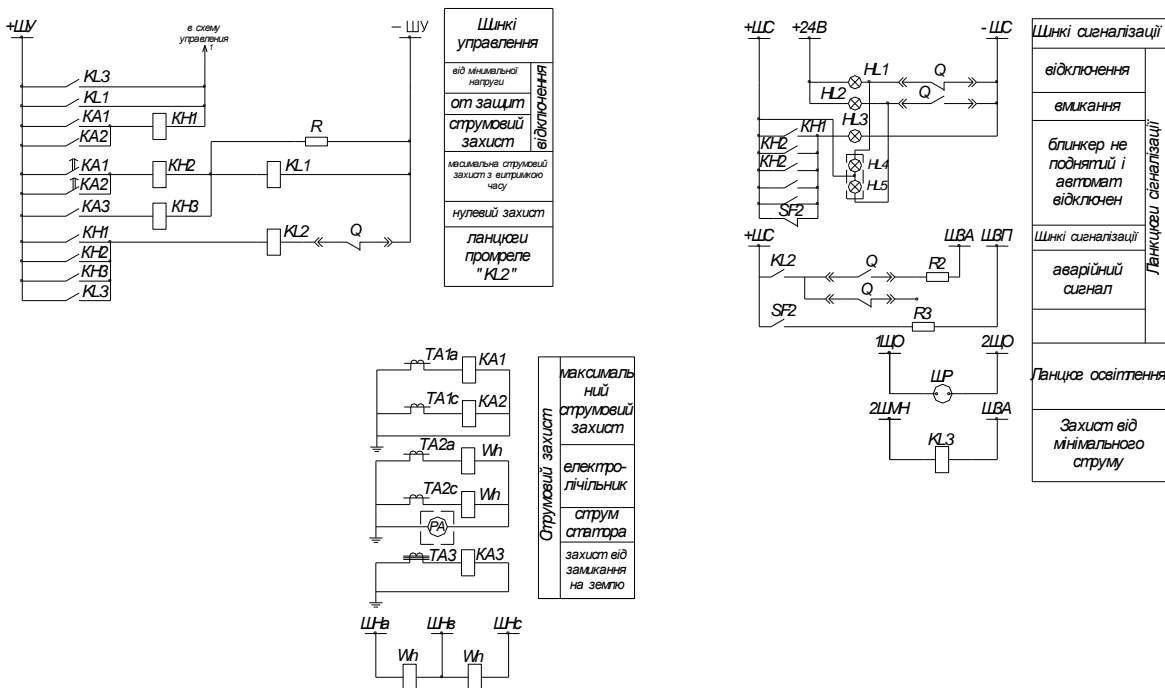


Рисунок 1 – Вдосконалена електрична схема управління холодильником

Для коректного управління усіма складовими нами був розроблений вузол регулятора температури, зовнішній вигляд якого представлено на рис.2. В основі цього блоку закладено мікроконтролер фірми Atmel Atiny2818. Його функціональних можливостей цілком достатньо для реалізації автоматизації регулювання температурою в холодильнику.

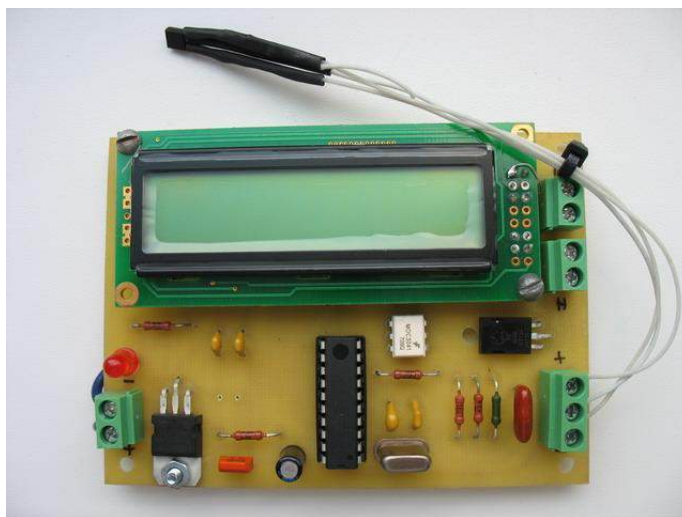


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд терморегулятора

### Висновок.

Запропонований пристрій не просто замінює штатний терморегулятор. Передбачені додаткові функції, призначені захистити холодильник в багатьох аварійних ситуаціях, що трапляються під час експлуатації. Слабке місце всіх компресорних холодильників - перевантаження електродвигуна, що приводить в дію компресор, при його повторному через короткий час після зупинки включенні. Причина перевантаження - що досить довго зберігається в конденсаторі холодильного агрегату високий тиск холодоагенту.

Як і будь-який інший електроприлад, холодильник бажано захистити і від значних відхилень напруги мережі від номінальних 220 В.

Пропонований блок управління виконує наступні функції:

- включати і вимикати компресор, підтримує в холодильній камері задану температуру, замінюючи штатний терморегулятор, причому є можливість регулювати гістерезис - різницю температури включення і виключення компресора;
- примусово вимикає компресор при значному відхиленні напруги в мережі від норми;
- не допускає повторного включення компресора раніше 5 хв. після виключення з будь-якої причини, зокрема після викликаного відхиленням мережевої напруги від норми або ініційованого терморегулятором.

Останнє особливо важливе, оскільки небезпечну ситуацію легко спровокувати, відразу ж після виключення компресора різко повернувши регулятор температури у бік її пониження або відкривши двері холодильної камери. Передбачена індикація стану блоку управління на ЖК-індикаторі.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Холодильна техніка і технологія: Підручник під ред. А.В.Руцкого.-М.:ІНФРА-М,2000.-286 с.
2. Dmitriyev V.I., Pisarenko V.E. Determination of optimum refrigerant charge for domestic refrigerator unit. // International J.Refrig.-1984.-№7.-P.178-180.
3. Холодильні установки : підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський [та ін.]; за ред. І. Г. Чумака. – 6-е вид., перероб. та доп. – Одеса : Пальміра, 2006. – 552 с.
4. Черевко О. І. Обладнання підприємств сфери торгівлі : навчальний посібник / Черевко О. І., Новікова О. В., Потапов В. О. – К. : Ліра-К, 2010. – 648 с.
5. Сафонов В. В. Холодильне обладнання : навчально-методичні / В. В. Сафонов, Д. П. Семенюк, О. В. Петренко. – Х. : ХДУХТ, 2007. – 180 с.
6. Офіційний сайт холодильної техніки „ Холодна країна” URL: <http://coldcountry.org.ua>.



СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТУВАННЯ  
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

Петренко О. В., к. т. н., доц., e-mail: [petrenkoolena23@gmail.com](mailto:petrenkoolena23@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

Білецький Е. В., д. т. н., проф., e-mail: [bileckyj.e@gmail.com](mailto:bileckyj.e@gmail.com)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Актуальність дослідження.** При проектуванні та експлуатації складних холодильних систем зазвичай потрібно проводити численні дослідження та розрахунки. Виконання таких досліджень можливе лише за наявності методів математичного моделювання з використанням системного підходу. Основна мета системного підходу – виявити механізм функціонування холодильної системи, а для систем керування – забезпечити адаптацію до змінних умов експлуатації. Аналіз показує [1, 2], що холодильна система може бути об'єктом системного підходу.

**Мета досліджень.** Використання системного підходу для оптимізації холодильних систем для забезпечення максимальної ефективності роботи системи за змінних умов експлуатації.

**Основні матеріали досліджень.** Системний підхід базується на розгляді холодильної системи у взаємозв'язку з оточуючими її підсистемами та об'єктами. При цьому: задані зв'язки між окремими елементами холодильної системи; кожен елемент вважається неподільним; з навколишнім середовищем система взаємодіє як ціле, тобто система розглядається як цілісна множина взаємопов'язаних умовно неподільних елементів.

Наявність зв'язків між окремими елементами холодильної системи означає, що зміна параметрів в будь-якому з елементів спричиняє зміну параметрів в інших елементах системи. Зв'язки між окремими елементами відносяться до категорій внутрішніх зв'язків, за допомогою зовнішніх зв'язків здійснюється взаємодія між холодильною системою та навколишнім середовищем. Холодильна система в загальному випадку може розглядатися як багаторівнева ієрархічна структура, якій притаманні такі властивості: вертикальна супідрядність; пріоритет дій підсистем верхнього рівня; взаємозалежність дій.

Взаємозалежність координуючих дій підкреслює, що якість функціонування будь-якої холодильної системи забезпечується зворотним зв'язком, тобто ефективність роботи всієї системи визначається скоординованою спільною дією всіх підсистем, при цьому проблема координації для складних систем стає досить значущою і зводиться до досягнення загальної мети, заданої для всієї холодильної системи (підвищення ефективності всієї системи в цілому).

Ієрархія задач математичного моделювання, оптимального проектування та експлуатації формується на базі прийнятої ієрархії холодильної системи. При цьому надзвичайно важливо правильно визначити склад оптимізованих параметрів, основні обмеження та критерій оптимальності установки. Для оптимізації холодильних систем, що мають тривалий період функціонування, задача оптимізації може бути зведена до визначення такого поєднання термодинамічних, витратних, конструктивних параметрів та виду схеми установок, при якому виробництво холоду здійснюється з мінімальними економічними витратами при виконанні технологічного регламенту та всіх внутрішніх і зовнішніх обмежень.

З урахуванням функціональних особливостей холодильних систем різного схемного виконання ієрархічна структура компресорних холодильних систем може бути формалізована наступним чином. Кожна частина каскаду (або система при бескасадному виконанні) складається з основного енергетичного комплексу та допоміжного охолоджувального комплексу, що включає в себе множину споживачів холоду.

Завданням основного енергетичного комплексу є збір «відпрацьованих» парових потоків холодоагента у всмоктувальних колекторах компресорів, реалізація основних процесів холодильного циклу до формування рідинного потоку перед його транспортуванням до

споживачів холоду або приладів охолодження. У ньому виділяються такі підсистеми: стиснення та проміжне охолодження парів холодоагента; охолодження та конденсація холодоагента; підготовка холодоагента до розподілу перед подачею до різних споживачів холоду.

Завданням допоміжного охолоджувального комплексу є відведення теплоти від охолоджуваних об'єктів за допомогою рідкого холодоагента або холодоносія. Відведення теплоти може здійснюватися на різних температурних рівнях, що визначає склад комплексу: множина циркуляційних контурів безпосереднього охолодження; множина циркуляційних комплексів з проміжним холодоносієм.

Кількість циркуляційних контурів відповідає кількості температур кипіння холодоагенту у холодильній системі.

У системах безпосереднього охолодження до складу циркуляційних контурів входять: множина розгалужених парових всмоктувальних трубопроводів (включаючи відокремлювачі рідини); множина споживачів холоду; підсистема розгалужених рідинних трубопроводів; підсистема «рідинний стояк – насоси»; множина розгалужених парарідинних зворотних трубопроводів; множина підсистем «циркуляційний ресивер – насоси».

У системах непрямого охолодження до складу циркуляційних контурів входять: множина споживачів холоду (разом з елементами управління та організації вимушеної локальної циркуляції рідини); множина розгалужених рідинних трубопроводів; множина підсистем «насоси - емнісне обладнання».

На базі зазначеної формалізації пропонується будувати:

- ієрархію проектно-конструкторських та експериментально-дослідницьких робіт;
- методологію структурної та параметричної оптимізації холодильних систем;
- ієрархічну структуру математичної моделі.

**Висновки.** Таким чином, відповідно до запропонованої формалізації, здійснюється практично весь обсяг робіт, спрямованих на досягнення кінцевої мети – максимального підвищення ефективності холодильних систем.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Виклюк Я. І. Моделювання складних систем: посібник / Я. І. Виклюк, Р. М. Камінський, В. В. Пасічник – Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. – 404 с.
2. Згуровський М. З. Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К. : Вид. група BHV, 2007. – 546 с.

## ВПРОВАДЖЕННЯ АКУМУЛЯЦІЇ ХОЛОДУ В СУЧАСНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМАХ: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ

Петренко О. В., к. т. н., доц., e-mail: [petrenkoolena23@gmail.com](mailto:petrenkoolena23@gmail.com)

Смілик М. М., асистент, e-mail: [smilykmm@gmail.com](mailto:smilykmm@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Сучасне суспільство не може функціонувати без систем охолодження та кондиціонування. Ці технології відіграють ключову роль у багатьох сферах людської діяльності, від виробництва харчових продуктів до забезпечення комфорту в житлових та промислових приміщеннях [1]. Зростання світової популяції, урбанізація та зміна кліматичних умов призводять до збільшення попиту на системи охолодження. Паралельно з цим виникає необхідність розробки більш енергоефективних та екологічно чистих технологій, здатних мінімізувати негативний вплив на довкілля.

**Мета досліджень.** Холодильні системи, незважаючи на свою важливість, мають значний негативний вплив на довкілля через використання холодоагентів з високим потенціалом глобального потепління та значне споживання електроенергії. Розвиток сучасних технологій спрямований на створення екологічно чистих та енергоефективних холодильних систем здатних мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. В даній роботі аналізуються існуючі та перспективні рішення в цій галузі.

**Основні матеріали досліджень.** Одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасних холодильних систем є впровадження технології акумуляції холоду [2]. Використання акумуляторів холоду дозволяє не лише знизити енергоспоживання холодильних систем, але й оптимізувати їх роботу, зменшуючи пікові навантаження на електромережі.

Принцип акумуляції холоду передбачає накопичення надлишкової холодопродуктивності в періоди низького навантаження для подальшого використання в періоди пікового навантаження. Це дозволяє:

- Зменшити встановлену потужність холодильних машин: За рахунок акумуляції холоду можна використовувати холодильні машини меншої потужності, що призводить до зниження капітальних витрат на обладнання.

- Оптимізувати графік роботи холодильних машин: Перенос виробництва холоду на нічний час, коли тариф на електроенергію є нижчим, дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати.

- Збільшити термін служби холодильного обладнання: Зменшення частоти пусків і зупинок холодильних машин сприяє збільшенню їхнього ресурсу.

- Зменшити негативний вплив на довкілля: Зниження споживання електроенергії призводить до зменшення викидів парникових газів та інших шкідливих речовин.

Однією з ключових переваг використання акумуляторів холоду є значне зменшення початкових інвестицій у холодильну систему. Це пов'язано з кількома факторами.

Завдяки здатності акумулювати холод, холодоакумулятор дозволяє знизити пікові навантаження на систему. Це означає, що для забезпечення необхідного рівня охолодження можна використовувати холодильну машину меншої потужності порівняно з традиційними системами [3].

Зменшення потужності холодильної машини тягне за собою зменшення необхідної потужності теплообмінного та іншого допоміжного холодильного обладнання. Це призводить до додаткової економії коштів на етапі проектування та монтажу системи.

Економічна доцільність застосування акумуляторів холоду обумовлена зниженням капітальних та експлуатаційних витрат. Зменшення встановленої потужності холодильних машин, оптимізація графіків роботи та використання диференційованих тарифів на електроенергію дозволяють досягти значної економічної ефективності. При меншій

встановленій потужності акумулятор холоду може знизити загальне споживання електричної енергії холодильною системою на 50% і більше завдяки застосуванню диференційованого тарифу на електрику залежно від часу доби.

Збільшення ресурсу роботи холодильного обладнання системи. Використання акумуляторів холоду дозволяє суттєво продовжити термін служби холодильного обладнання. За рахунок згладжування пульсацій навантаження на компресор, що виникають при частих пусках та зупинках, знижується механічний знос його компонентів. Крім того, акумулятори холоду дозволяють підтримувати оптимальний режим роботи холодильної машини, запобігаючи їй виходу за межі робочих діапазонів.

Зменшення екологічного впливу. Застосування акумуляторів холоду сприяє зменшенню негативного впливу холодильних систем на навколишнє середовище. Оптимізація графіків роботи холодильних машин дозволяє переносити пікові навантаження на нічний час, коли енергетична система працює з більш високою ефективністю. Це призводить до зниження загального споживання електроенергії та, відповідно, зменшення викидів парникових газів. Проведені дослідження, показали, що використання електроенергії в нічний час дозволяє знизити викиди в атмосферу на 31% порівняно з денним часом.

**Висновки.** Впровадження технології акумуляції холоду є одним із найефективніших способів підвищення енергоефективності та екологічності холодильних систем. Завдяки своїм перевагам, ця технологія знаходить все більш широке застосування в різних галузях економічної діяльності.

Подальший розвиток технології акумуляції холоду пов'язаний з розробкою нових матеріалів для акумуляції холоду, вдосконаленням систем управління та розробкою інтегрованих рішень, що поєднують акумуляцію холоду з іншими енергозберігаючими технологіями.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Семенюк Д. П., Петренко О. В. Холодильне обладнання : підручник. – Х.: Світ книг, 2021. – С. 355, ISBN 978-966-2678-69-7.
2. Перспективні напрями розвитку холодильних систем з акумуляцією холоду / В.О. Потапов, О. В. Петренко, В. В. Золотарьов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. : в 2 ч. Ч. 2 / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2013. – Вип. 2.(18) – С. 72.
3. Бондарь Е. С. Энергозберігаючі системи кондиціонування повітря з акумуляцією холоду [Електронний ресурс] / Е. С. Бондарь, П. В. Калугін. – Режим доступу : <http://www.sun-ice.com.ua/news/>.

## ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ШОКОВОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ЯГІД

Попков М. М., студент 2 курсу магістратури, e-mail: [papelats@ukr.net](mailto:papelats@ukr.net)

Якушенко Є. М., к.т.н., доц., e-mail: [papelats@ukr.net](mailto:papelats@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

Заморожування ягід – оптимальний спосіб збереження вітамінів та поживних речовин. Сучасні енергозберігаючі технології дозволяють ефективно заморожувати різні види продуктів для зберігання та подальшої реалізації.

Перед заморожуванням ягоди проходять обробку: їх перебирають, видаляють забруднення та зіпсовані плоди, миють (за винятком малини та ожини), сушать. Ягоди чутливі до механічних впливів, тому підготовку до заморожування слід проводити делікатно, щоб не зашкодити цілісності продукту.

Прогресивна технологія швидкого заморожування ягід зберігає більшу частину вітамінів та мікроелементів, пригнічуючи діяльність шкідливої мікрофлори. Обробка в умовах низької температури знижує швидкість усушки та втрати маси продуктів, уповільнює каталітичні реакції розкладання, нейтралізує діяльність ферментів у рослинних тканинах. Заморожування не покращує якість та органолептичні властивості продуктів, але зберігає їх властивості та форму, продовжуючи термін зберігання.

Заморожування ягід має ряд переваг перед консервацією та сушінням:

- Збереження зовнішнього вигляду, стану та смакових якостей.
- Продовження терміну зберігання без втрати якості.
- Нейтралізація ферментів та шкідливих мікроорганізмів.
- Збереження антиоксидантних властивостей та вітамінів.

Устаткування для заморожування ягід - ідеальне рішення для переробки сільськогосподарської продукції.

Один із оперативних, надійних та дієвих методів охолодити продовольчі товарні позиції – це шокова заморозка. Це процес охолодження продовольчих продуктів у термічному режимі від +20 до -18 градусів. Основна мета заморозки – уповільнити етап життєдіяльності, зберігаючи споживчі характеристики товару.

Процедура займає трохи більше 4 годин. Подана методика знижує час на підготовку продуктів та скорочує обсяги відходів. Ще вона збільшує терміни придатності товарів, запобігає їх псуванню і гарантує зручне перевезення.

У дослідженнях організацій, які перейшли на інноваційну методику, було зазначено, що собівартість продукції значно зменшилася. Це вигідно, виходячи з наступних параметрів:

- У 6–7 разів скоротився єдиний час на підготовку продуктів до тривалого зберігання.
- На 30% скоротився штат працівників компаній.
- На 9% зменшилися прямі втрати шляхом виморожування.

Крім зниження собівартості, виробничий майданчик отримує такі переваги: покращується якість; зберігаються смакові властивості; відмова від застосування шкідливих та токсичних складових; збільшення допустимого періоду зберігання товарів; розробка вигідного логістичного процесу.

Для заморожування ягід у виробництві використовуються різноманітне промислове обладнання. Використовують морозильні тунелі із продуктивністю від 1 тони/годину. Морозильний тунель заморожує фрукти, овочі, м'ясо та інші види продуктів, зберігаючи органолептичні, нутритивні властивості та привабливий зовнішній вигляд. Підлога виготовлена з нержавіючої листової сталі та розташовується під нахилом для полегшення відведення вологи в процесі миття та розморожування. Шар поліуретанової піни створює додаткову ізоляцію та перешкоджає втраті температури. Корпус складається з поліуретанових плит та покритий герметичним шаром нержавіючої сталі. Система, що забезпечує плавний рух конвеєрною стрічкою, запобігає утворенню грудок і пошкодженню крихких продуктів.





**Рисунок 1 – Типи обладнання для шокowego заморожування: а) спіральний конвеєр, б) флюїдизаційний апарат, в) плитковий швидкозаморожувальний апарат, г) тунельна камера шокowego заморожування, д) камера шокowego заморожування**

За принципом діяльності камери діляться на 4 підвиди: повітряні, для безконтактного та контактного охолодження, з охолоджувачами. Найвідоміші і найчастіше використовувані на промислових об'єктах – флюїдизаційні або повітряні камери. Перший варіант експлуатують для крижаного охолодження подрібнених фруктів, ягід, рагу, картоплі фірі.

Агрегати для шокowego заморожування призначені для оснащення різних об'єктів. Зазвичай їх замовляють для закладів громадського харчування та торгових майданчиків. Ще на підприємствах, які займаються виробництвом та переробкою продукції. Також на об'єктах, які потребують швидкісного охолодження товарних позицій.

Техніка експлуатується для крижаного охолодження овочів, ягід, тіста, риби, м'яса та десертів.

Властивості ягоди після процедури шокowego заморожування:

- 100% початковий смак;
- 93% текстура;
- 97% поживні речовини.

Таким чином, високотехнологічне морозильне обладнання застосовується для ефективного заморожування ягід із збереженням їх корисних властивостей та привабливого зовнішнього вигляду. Використання енергоефективних технологій у виробництві шокowego холодильного обладнання дозволяє знизити матеріальні та часові витрати на здійснення процесу заморожування.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шокове заморожування ягід доступне і для малих підприємств – URL: <http://www.jagodnik.info/shokove-zamorozhuvannya-yagid-dostupne-i-dlya-malyh-pidpryyemstv/>
2. Звідки з'явилась «шокова заморозка» продуктів і для чого вона потрібна? – URL: [https://vektorlux.com/information?tlblog\\_id=38](https://vektorlux.com/information?tlblog_id=38)
3. Шокове заморожування ягід. Що це? – URL: <https://holodprom.com.ua/ua/shokovaya-zamorozka-yagod>
4. Лінії шокowego заморожування та різновиди обладнання – URL: <http://www.jagodnik.info/liniyi-shokovogo-zamorozhuvannya-ta-riznovydy-obladnannya/>

## ТЕХНОЛОГІЯ КРІОСУБЛІМАЦІЙНОГО ФРАКЦІОНУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Потапов В. О., д.т.н., проф., e-mail: [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)

Білий Д. В., асистент, e-mail: [jimmykraun@ukr.net](mailto:jimmykraun@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

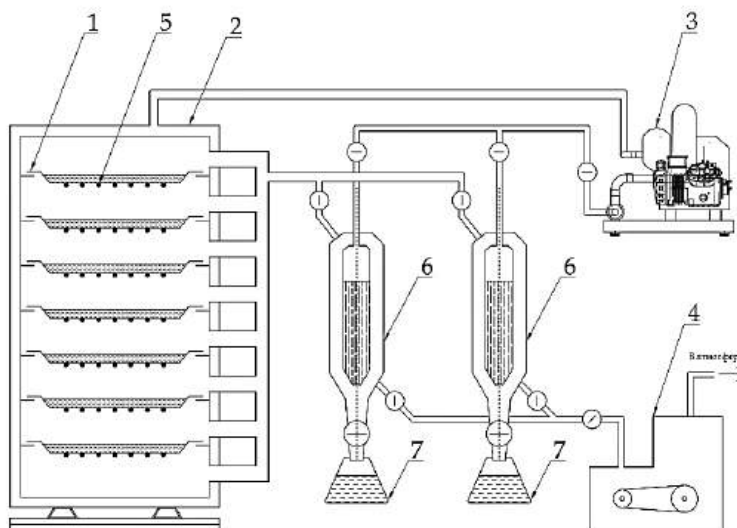
В процесі сушіння рослинної сировини одержання препаратів збагаченими біологічно активними речовинами набуває все більшої популярності. Додавання натуральних інгредієнтів з високим кількісним і якісним складом цінних речовин у виробництві харчових та фармацевтичних продуктів спонукає розробляти інноваційні рішення в сфері комплексної переробки рослинної сировини.

На теперішній час у харчовій промисловості застосовуються різноманітні методи сушіння рослинної сировини: гарячим повітрям, інфрачервоним випромінюванням, вакуумна, СВЧ сушка, осмотична дегідратація, сушка повітряним ударом, акустична та вибухова сушка. Кожен з названих методів мають суттєві недоліки: тривалість процесу, пошкодження сировини, не повне вилучення біоактивних компонентів з сировини, висока вартість обладнання, що у сукупності впливають на якість кінцевого продукту. Значної популярності зараз набуває технічний метод сублімаційної сушки.

Сублімаційна сушка, також відома як ліофілізація, являє собою процес, в якому вода у вигляді льоду під низьким тиском видаляється з матеріалу шляхом сублімації. Цей процес знайшов безліч застосувань для виробництва високоякісних харчових продуктів та фармацевтичних препаратів. При цьому біологічні, поживні та органолептичні властивості висушеного продукту зберігаються. Це пов'язано з тим, що заморожування води у матеріалі перед ліофілізацією інгібує хімічні, біохімічні та мікробіологічні процеси. Тому смак, запах та вміст різних поживних речовин не змінюються [1].

Метод сублімаційного сушіння є комбінацією процесів заморожування і сушіння. Сублімація, як складний багатоступінчастий процес, складається з трьох основних етапів: заморожування сировини при атмосферному тиску, сублімаційне сушіння при низькому тиску і десорбційне сушіння до необхідної кінцевої вологості.

Кріосублімаційна установка (рис. 1) для переробки рослинної сировини складається з піддонів для сировини 1, сублімаційної камери 2, холодильної установки 3, вакуумного насосу 4, електронагрівачів 5, десубліматорів 6, приймальної ємності 7.



**Рисунок 1 – Схема кріосублімаційної установки**

Технологічні етапи сублімаційної сушки починають з подрібнення висушеної рослинної сировини до 50-100 мкм та заморожування при температурі  $-18^{\circ}\text{C}$ . Завантаження в піддонах 1 замороженої сировини в сублімаційну камеру 2, яку за допомогою холодильної установки 3 охолоджують до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Протягом кількох хвилин відкачують повітря вакуумним насосом 4. Відбувається зниження тиску до 100-120 Па, після чого підводять тепло за допомогою електронагрівачів 5 до піддонів з сировиною 1. Починається випаровування льоду з замороженої сировини і осадження високолетких молекулярних комплексів води на стінках десубліматорів 6, які підтримуються при температурі  $-70^{\circ}\text{C}$ . Видалення води контролюється постійним підвищенням температури. Залишок води видаляється шляхом десорбції. Наприкінці сублімаційного процесу завдяки додатковому джерелу тепла проводиться відтавання десубліматорів 6, з яких чиста водна фракція зливається в приймальну ємність 7. В сублімаційній камері залишається сухий остаток сировини, який можна використовувати в якості харчової добавки або подальшої переробки методом екстрагування.

Під час експериментального дослідження в якості рослинної сировини використовувалися водна і суха фракція топінамбуру. У досліджених зразках спектрометричним методом був визначений вміст інуліну показаний в таблиці 1.

**Таблиця 1. Вміст інуліну в досліджуваних зразках**

Зразок	Вміст інуліну	
	г/л	г/100 г
Водна фракція	0,124±0,004	
Суха фракція у вигляді порошку		4,43±0,13

Топінамбур багатий високим вмістом поліфруктозанів, широкий спектр мінеральних речовин, органічних кислот, вітамінів. Найціннішим цінним компонентом топінамбуру є інулін. Інулін входить до складу багатьох рослин, таких як топінамбур, цикорій, жоржина. Це цінний сировинний інгредієнт, який володіє лікувально-профілактичними властивостями, що знижує рівень цукру у крові хворих на цукровий діабет та підвищує імунологічний статус організму. Концентрат топінамбуру являє собою в'язку медоподібну масу. Органолептичні показники порошку: зовнішній вигляд - жовто-білий або світло-сірий, смак - солодкуватий, запах - властивий топінамбуру. Порошок з топінамбуру має вологість не більше 6 % [2].

Особливістю методу фракціонування в процесі сублімації слід вважати повне вилучення необхідних біологічних активних компонентів з рослинної сировини в первозданному вигляді без втрати їх біологічної цінності для подальшого вилучення або переробки для застосування у виробництві харчових продуктів.

Дослідження доводить, що сублімація фракціонуванням дозволяє вловлювати більшість летких сполук, які відбираються із сировини в процесі конденсації пари та осаджуються на стінках десубліматорів. Після відтаювання отримуємо водні фракції з різними концентраціями і сухий порошок. Експериментальним шляхом показано ефективне вилучення водних фракцій топінамбуру, що містить необхідну концентрацію інуліну, який можна використовувати у вигляді харчової або лікувально-профілактичної добавки в харчовій і фармацевтичній індустрії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. D. Nowak, E. Jakubczyk. The Freeze-Drying of Foods — The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials // Foods, 2020, 9. P 1-27.

2. Дорохович В.В. Дослідження впливу інуліну на структурно-механічні властивості тістових мас для борошняних кондитерських виробів. Донецьк: Вісник ДонДУЕТ, 2003. № 1(17). С 95-100.

## ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ СТАЛОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Потапов В. О., д.т.н., проф., e-mail: [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)

Цуркан М. М., к.т.н., доц., e-mail: [tsurkan\\_n@ukr.net](mailto:tsurkan_n@ukr.net)

Смілик М. М., асистент, e-mail: [smilykmm@gmail.com](mailto:smilykmm@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

На сьогоднішній час проблеми підвищення енергоефективності та енергонезалежності є пріоритетом у розвитку національної економіки. Переваги впровадження енергоефективних технологій полягають у зниженні витрат на енергоносії, зменшенні залежності від централізованого енергопостачання, підвищенні енергетичної безпеки підприємств, зменшенні викидів парникових газів та позитивний вплив на довкілля. До основних напрямків підвищення енергоефективності відносять: впровадження відновлюваних джерел енергії, сонячна енергетика, вітряна енергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика, оптимізація енергоспоживання, енергоаудит, модернізація обладнання, оптимізація технологічних процесів, системи автоматизації та управління, системи накопичення енергії.

Зауважимо що майже всі перелічені напрями підвищення енергоефективності можуть ще й підвищувати енергонезалежність технологічних процесів у промисловості і комунальному господарстві за умов використання систем накопичення енергії зокрема теплових акумуляторів. Необхідність їх застосування пов'язана з легкою інтеграцією таких систем з відновлюваними джерелами енергії. Теплові акумулятори можуть ефективно зберігати теплову енергію, отриману від сонячних колекторів, забезпечуючи стабільне теплопостачання навіть у нічний час або періоди низької сонячної активності. Теплові акумулятори використовують для згладжування коливань у виробництві електроенергії вітровими електростанціями, перетворюючи надлишкову електроенергію у теплову. Також їх застосування має перспективу інтеграції з геотермальними системами опалення.

Важливим напрямком застосування теплових акумуляторів є утилізація відхідної теплоти. Використання теплових акумуляторів в якості нижнього джерела теплоти для теплових насосів, дозволяє підвищити їх ККД та знизити витрати на опалення. У когенераційних установках акумуляція теплоти, що утворюється при виробництві електроенергії, дозволяє подальше її використання в технологічних процесах.

Найбільш очевидним напрямком застосування теплових акумуляторів є вирівнювання пікових навантажень. Заряджання теплових акумуляторів в нічний час за зниженими тарифами дозволяє використовувати накопичене тепло у денний час. Також важливою функцією їх є створення резерву енергії для використання в аварійних ситуаціях або при відключенні електроенергії.

У харчовій та переробній промисловості основним призначенням теплових акумуляторів є стабілізація температурного режиму при термічній обробці. Зокрема при пастеризації та стерилізації забезпечується плавний перехід між фазами нагріву та охолодження, що сприяє кращому збереженню якості продукту та знижує ризик мікробіологічного забруднення. Швидке охолодження продуктів за допомогою акумуляторів холоду запобігає розвитку мікроорганізмів та продовжує термін зберігання. У бродильних процесах акумуляція теплоти дозволяє підтримувати стабільну температуру в бродильних танках, що впливає на аромат, смак та кінцеву якість продукції. Акумуляція теплоти забезпечує контрольовану ферментацію у виноробстві для отримання бажаного рівню алкоголю, кислотності та аромату. При зберіганні продуктів у холодильних камерах акумулятори холоду компенсують коливання температури зовнішнього середовища, дозволяють зберігати продукцію в умовах відсутності стаціонарного електропостачання, зокрема у мобільних холодильних камерах.

Перспективними напрямки досліджень теплових акумуляторів є пошук нових матеріалів з високою теплоємністю, широким температурним діапазоном фазового переходу та низькою

вартістю. Зокрема використання наночастинок для підвищення ефективності теплопередачі та збільшення густини накопичення енергії акумуляторів. Інтеграція з іншими системами накопичення енергії, розробка гібридних систем, що поєднують теплові акумулятори з іншими видами енергоносіїв (наприклад, воднем, стисненим повітрям).

При цьому існують досі не вирішені проблеми у цьому напрямку:

- наявність гістерезису – залежності властивостей не лише від поточної температури, але й від температурної історії матеріалу;

- вплив домішок на теплофізичні властивості матеріалу;
- старіння матеріалів з часом та небажані хімічні реакції в процесі експлуатації;
- вплив паразитних термічних контактів між корпусом і теплоакумулюючим матеріалом;
- деформації конструкції під дією температурних навантажень.
- циклічні навантаження та деградація матеріалів та зміна теплофізичних характеристик акумулятора.

- вплив зовнішніх факторів (коливання температури, вологості, випромінювання)

Додаткові теоретичні питання які підлягають вирішенню при створенні теплових акумуляторів пов'язані з наступним:

- оптимізація конструкції за рахунок вибору відповідних матеріалів, геометрії та режимів роботи акумулятора;

- невизначеність вихідних даних відповідних математичних моделей, як то просторовий розподіл теплофізичні властивостей по об'єму акумулятора, нелінійна залежність властивостей від температури;

- обчислювальна складність вирішення багатопараметричної задачі моделювання роботи акумулятора;

- необхідність довготривалої експериментальної верифікація моделей на реальних теплових акумуляторах.

Подальшим напрямком наших досліджень в цьому напрямку є створення адекватної математичної моделі нестационарного процесу теплообміну реальної теплоакумулюючої системи.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lunova, T. (2022). Energy Efficiency of the Ukrainian Economy: Problems and Prospects. Scientific Bulletin of the National Academy of Statistics, Accounting and Audit. 36-42. 10.31767/nasoa.1-2-2021.05.

2. Використання енергозберігаючих технологій в країнах ЄС: досвід для України". Аналітична записка. URL:<https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/vikoristannya-energozberigayuchikh-tekhnologiy-v-krainakh-es> (дата звернення 20.10.2024)

3. Демченко, В., Коник, А., & Фалько, В. (2021). Мобільні теплові акумулятори. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (3), 44–50. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2021.03.06>



## ПРОБЛЕМИ ПЕРЕХОДУ НА АЛЬТЕРНАТИВНІ ХОЛОДАГЕНТИ

Семенюк Д. П., к.т.н., доцент, e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Проблема вибору холодоагенту останнім часом стає дуже гострою. Закони, що приймаються в європейських країнах, вимагають використання нових холодоагентів, що веде до появи нового обладнання, призначеного для роботи з ними. На жаль, в Україні немає виробництва деяких важливих компонентів для холодильної техніки (компресори, прилади автоматики), що веде до непрямой залежності від нормативних документів, що приймаються в країнах Європи. Останньою тенденцією став перехід до використання холодоагентів із низьким потенціалом глобального потепління. Директива 517/2014 описує процес переходу та альтернативи застосовуваним холодоагентам. Пошуку альтернатив було присвячено багато публікацій, проте справді гострою проблемою переходу стала зараз. Оскільки власного виробництва холодоагентів в Україні немає, вплив імпорту дуже високий.

**Мета досліджень.** Подивимося на альтернативи, які пропонуються для використання в найближчі роки. Серед них можна виділити дві групи:

1. Природні холодоагенти. До них відносять аміак (R717), діоксид вуглецю (R744), пропан (R290), ізобутан (R600a), пропілен (R1270). Дані холодоагенти практично не надають негативного впливу на глобальне потепління, але, незважаючи на ефективність застосування, мають ряд недоліків [1].

2. Синтетичні холодоагенти. Синтетичні холодоагенти зі зниженим потенціалом глобального потепління, до яких відносять деякі гідрофторвуглеці, гідрофторолефіни та суміші на їх основі – R32, R1234yf, R1234ze, R1233zd, R454B, R513A, R455A, R428A, R44B8,

**Основні матеріали досліджень.** Розглянемо коротко характеристики та деякі особливості застосування природних холодоагентів.

Аміак (R717). Один з найстаріших холодоагентів, має найвищі показники ефективності, токсичний, при певній концентрації може утворювати вибухо- та пожежонебезпечні суміші, агресивно взаємодіє з деякими матеріалами. Холодильні установки, які використовують аміак, підлягають обов'язковому контролю державними органами. Варто відзначити той факт, що, незважаючи на негативні властивості, існує система підготовки фахівців для роботи з даним холодоагентом, а також перевірена практикою нормативна документація.

CO<sub>2</sub> (R744). Поряд з аміаком, також є одним з перших холодоагентів, що широко використовується до моменту поширення хладонів. До негативних властивостей можна віднести високий робочий тиск, негативний вплив на організм людини, причому, якщо витік аміаку легко помітити характерним запахом, витік CO<sub>2</sub> практично не помітний за допомогою органів чуття. Для роботи з CO<sub>2</sub> потрібна спеціальна підготовка персоналу.

Пропан (R290). Ефективність застосування та властивості близькі до добре відомого холодоагенту R22. Горючий, існують норми щодо мінімальної заправки.

Ізобутан (R600a). Область застосування обмежена побутовими системами з малою заправкою, тому такі негативні властивості, як горючість, не дуже актуальні.

Пропілен (R1270). Схожий на пропан як з погляду позитивних, і негативних властивостей.

Синтетичні холодоагенти також мають позитивні та негативні особливості застосування. Найбільш популярний гідрофторвуглець R32, як і більшість чистих гідрофторолефінів, мало токсичний, важко горючий. Синтетичні холодоагенти не мають запаху і важчі за повітря, що не дозволяє виявити витік органами почуттів, а при попаданні в дихальні шляхи починається витіснення кисню, що може призвести до сумних наслідків.

Гідрофторвуглеці зі зниженим потенціалом глобального потепління мають властивості схожі з широко застосовуваними холодоагентами R404A і R507A.

На що слід звернути увагу при виборі альтернативного холодоагенту? Перш за все, варто розділити завдання на заміну холодоагенту в існуючому обладнанні та на виробництво нового обладнання, призначеного для використання з новими холодоагентами. Якщо в першому випадку важливими моментами є та ж або близька продуктивність установки при використанні існуючих компонентів, що включає основні параметри холодоагентів, то у другому випадку потрібно, перш за все, звертати увагу на найближчу перспективу, наприклад, використання зазначених вище холодоагентів R448A і R449A не є доцільним, оскільки в найближчому майбутньому вони будуть виводитися з використання. Які холодоагенти варто розглядати як альтернативні? Насамперед, варто звернути увагу, що запропоновані альтернативи або вимагають підвищених заходів безпеки (горючість, високий тиск, токсичність), або спричиняють проблеми при експлуатації установки.

Окремо варто згадати сумішеві холодоагенти. Якщо при використанні азеотропів (R513A) проблем менше, то при використанні зеотропів (R450A) виникає багато проблем як при експлуатації, так і при проектуванні нових установок.

Застосування природних холодоагентів таких як аміак, CO<sub>2</sub>, пропан вимагає перегляду підходу до проектування систем як з точки зору безпеки, так і з точки зору ефективності. Наприклад, застосування базового транскритичного циклу з холодоагентом R744 зі звичними розрахунковими параметрами не дозволяє забезпечити схожу ефективність порівняно з традиційно застосовуваними холодоагентами R404A і R507A. Застосування додаткових заходів (паралельний стиск, ежектор, системи рекуперації, алгоритми «плаваючого» тиску конденсації та ін.) дозволяють суттєво збільшити ефективність, проте вимагають інших підходів під час проектування холодильних установок. Застосування пропану як холодоагенту для комерційних холодильних установок обмежується допустимим обсягом заправки, що змушує виробників проектувати систему з кількома незалежними контурами та зі збільшеними температурними напорами в теплообмінних апаратах, що веде до зниження ефективності роботи холодильної установки. Також для зазначених вище (R717, R744, R290) холодоагентів потрібно слідувати підвищеним заходам безпеки, що потребує додаткового навчання персоналу, і, головне, невід'ємне дотримання правил експлуатації.

Єдиним холодоагентом в Україні, правила безпеки роботи з яким і система підготовки кадрів є відпрацьованими, а також ефективність холодильних установок при його застосуванні не має сумнівів, є аміак. Фахівці, зайняті проектуванням, монтажем та експлуатацією аміачних холодильних установок повинні проходити атестацію та регулярні перевірки на знання вищевказаних правил, а також інших нормативних документів, пов'язаних як із загальними правилами промислової безпеки, так і з правилами улаштування та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском, технологічних трубопроводів та інших елементів холодильного контуру.

Проблемами при використанні ненасичених вуглеводнів, гідрофторолефінів та сумішей на їх основі є висока вартість та «часткова горючість» при нижчому порівняно з гідрофторвуглецями негативному впливі на навколишнє середовище.

**Висновок.** Підсумовуючи можна сказати, що слід звернути увагу на ширше використання природних речовин як холодоагентів та сумішей на їх основі, оскільки заборони холодоагентів цієї групи з великою ймовірністю не торкнуться, вартість їх нижча, а ефективність за певного підходу вища. Негативними факторами застосування природних холодоагентів є проблеми безпеки та нові підходи до проектування установок. Однак ці проблеми можуть бути позитивними з точки зору технічного розвитку холодильної техніки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Холодильний агент для невеликих промислових проектів. Режим доступу: <https://leacond.com.ua/novini-i-publikatsii/novini-industrii/kholodilniy-agent-dlya-nevelikikh-promislovikh-proektiv.html>. (дата звернення 19.10.2024). Назва з екрана.

## СТАН ГАЛУЗІ ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ

Семенюк Д. П., к.т.н., доцент, e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Каширкін Д. В., магістр

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Морозиво є одним з найпопулярніших десертів як у світі, так і в Україні, а виробництво та експорт цього товару з високою доданою вартістю може принести гарний дохід підприємцям. Важливо розібратись зі станом галузі за час повномасштабної війни і виділити її основні тренди.

Хоча морозиво і є сезонним продуктом, його споживають не тільки там, де є спека – в північних країнах споживання цих ласощів навіть більше, ніж у теплих широтах.

Так, згідно з рейтингом видання World Maps, за кількістю споживання за рік морозива в світі лідирує Нова Зеландія з показником 28,4 л на людину. Далі йдуть США – 20,8 л і Австралія – 18 л.

Серед європейців морозиво активно споживають в північних країнах – на одного фіна в середньому припадає 14,2 л на рік, на мешканця Швеції – 12 л, Данії – 9,8 л, Ірландії – 8,4 л. При цьому в Італії, країні з значно спекотнішим кліматом, щорічне споживання морозива складає 8 л.

В свою чергу, українці в середньому з'їдають за рік трохи більше 2 л морозива.

Загалом, більше 60% світового ринку морозива припадає на ринки США й Західної Європи, його ємність перевищує 5 млрд доларів на рік з щорічним ростом близько 2%. Основними глобальними гравцями є компанії Unilever (16% світового виробництва) і Nestle (10%).

**Мета досліджень.** Проаналізувати стан галузі та намітити шляхи виходу з кризи.

**Основні матеріали досліджень.** Головна проблема галузі – скорочення попиту через виїзд населення. За словами аналітиків, нарощувати виробництво морозива в Україні не є проблемою, все "впирається" в скорочення попиту на нього всередині країни через міграцію за кордон не менш ніж 7 млн українців. Крім того, люди стали менше витратити на солодощі. За словами експертів, в Україні за час повномасштабної російської агресії не зафіксовано знищення або окупації крупних заводів галузі, тому українські оператори готові нарощувати виробництво морозива одразу після повернення попиту на нього.

Ринок морозива складно оцінювати в цифрах, так як з початком повномасштабного російського вторгнення Держстат і Державна митна служба призупинили публікацію статистичної інформації по всім категоріям морозива.

За оцінками інформаційних агентств, опосередковано про об'єми падіння ринку можна судити по скороченню промислового споживання сирого молока для подальшої переробки – за 2022 рік воно скоротилось на 28%. Примітно, що на цей показник вплинули наступні фактори – міграція населення та тимчасова окупація частини території країни призвели до скорочення індустріального ринку молока на 20%, тоді як інші 8% падіння спровокував ріст інфляції і фактори зниження купівельної спроможності.

Навіть в умовах війни не відбувається перехід покупця на найдешевше морозиво. За словами експертів, для суттєвого подорожчання молока в країні немає причин. Інфляція вартості молочних продуктів за час війни була найменшою серед усіх продуктів тваринництва – м'яса, яєць, жирів тваринного походження, а також рослинних жирів. Тому у виробників зараз нема підстав різко збільшувати ціну морозива, оскільки інгредієнти для його виробництва – сире молоко, сухе молоко, масло вершкове і рослинні жири, які з початку війни дорожчали менш інтенсивно в порівнянні з іншими галузями харчопрому.

З іншої сторони, покупці все ж економлять на морозиві, але це проявляється не в покупці найдешевшої продукції, а в рості попиту на продукцію в більшій тарі, у якої нижча питома ціна за кілограм.

Аналітики зазначають, що у виробників морозива відсутні якісь серйозні специфічні проблеми, в порівнянні з виробниками молочної продукції, та, за великим рахунком, іншими галузями українського агропромислового комплексу. Аварійні відключення електроенергії через російські ракетні обстріли не так сильно вплинули на виробників морозива, як на молокопереробні заводи – цій галузі допоміг фактор сезонності. Завдяки сезонному скороченню виробництва морозива минулої осені і зими, коли українська енергосистема знаходилась під найжорсткішими обстрілами росіян, заводи змогли дещо зекономити на виробничих процесах та роботі холодильного обладнання.

Крім того, виробники морозива, як і вся молочна галузь України, відчула на собі позитивний вплив поступового повернення українців з-за кордону, це дозволило виробникам працювати більш-менш певно.

Морозиво – харчовий продукт з сильно вираженою сезонністю, його основні продажі припадають на травень-вересень з викликаним погодними факторами піком в червні-липні. Відповідно, його виробництво сконцентроване на пікові літні місяці, але підготовка до сезону починається весною, коли заводи закуповують сухе молоко і масло, головну сировину в виробництві морозива.

Наразі горизонт планування бізнесу скорочується, і в умовах економічних негараздів і війни в країні підприємства галузі не можуть дозволити собі підготовчі періоди – компанії запасуються сировиною "з сьогодні на завтра". Вони переважно проводять "оперативну", а не стратегічну господарську діяльність, і розроблюють плани тривалістю не більш ніж один місяць.

За даними голови міжгалузевої Української асоціації аграрного експорту, українське морозиво добре продавалось на зовнішніх ринках навіть під час пандемії COVID-19, і російська агресія теж суттєво не вплинула на об'єми поставок. За підсумками 2022 року країна експортувала в натуральному вимірі на 8% менше морозива – 6,9 тис. тонн проти 7,4 тис. тонн в 2021 році.

До числа топ-10 світових країн-експортерів морозива за підсумками 2022 року увійшли переважно європейські країни:

Таким чином, Україна з її майже 7 тис. тонн експорту розмістилась в середині четвертої десятки найбільших виробників морозива. Але це непоганий результат, враховуючи, що для морозива зараз недоступна морська логістика так званим "зерновим коридором", через який може експортуватись лише сільгоспсировина. Тобто, за рік Україна на третину збільшила свою присутність на європейському ринку, втративши через війну традиційні ринки.

Саме повернення українського морозива на близькосхідні та азійські ринки є зараз ключовим завданням для виробників. За умов відсутності контейнерної логістики через порти Одеси, зараз розглядається питання створення нового ринку малих контейнерних перевезень, коли фрахтуються не великі судна з ємністю в тисячі контейнерів, а маленькі – по 200-500 одиниць.

**Висновок.** Таким чином, не лише виробники зернової продукції, а і українські експортери харчових продуктів сподіваються вирішити питання експорту ще до закінчення війни – просто після української перемоги відновляться відправлення великих суден-контейнеровозів по найбільш вигідним маршрутам. Якщо війна продовжиться на рік і більше, то за цей час експортери українського морозива встигнуть знайти дешеву можливість поставляти продукцію, наприклад, у В'єтнам, куди експорт зараз зупинений. Головне – українські виробники морозива здатні конкурувати з глобальними компаніями з Іспанії або Італії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Українська асоціація аграрного експорту. Режим доступу: <https://uaexport.org/2023/05/16/eksport-moroziva-prodovzhuye-prinositi-stabilni-dohodi/>. (дата звернення 30.10.2024). Назва з екрана.

## ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Семенюк Д. П., к.т.н., доц., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Смілик М.М., аспірант, [smilykmm@gmail.com](mailto:smilykmm@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Згідно з багатьма дослідженнями у Європі, незважаючи на популярність аміаку, що росте, R404a залишається досить поширеним холодоагентом. У Північній Америці, навпаки, лідирує аміак, як мінімум у великих складах, що охолоджуються, і терміналах.

З точки зору залежності тиску від температури насичення, об'ємної холодопродуктивності та термодинамічного коефіцієнту корисної дії (ККД) оптимального контрольного циклу ці холодоагенти можна назвати взаємозамінними. У зв'язку з цим в інформаційному документі «холодоагенти» з інформаційного пакету ICE-E застосовуються інші критерії аналізу основних переваг та недоліків R404a та R717: вартість холодоагенту, виявлення витоків, відповідність вимогам охорони навколишнього середовища або сумісність холодоагенту з іншими матеріалами. Проект ICE-E організований європейським агентством з конкуренції та інновацій. Його мета – сприяння власникам холодильних складів у скороченні споживання енергії та зменшенні викидів парникових газів шляхом надання безкоштовних консультацій.

**Мета досліджень.** З метою застосування для обладнання харчових виробництв, розглянемо основні переваги та недоліки та недоліки холодоагентів, що найчастіше використовуються в холодних складах та на харчовому виробництві, а саме R404a та R717 (аміак). Розбір проведемо на прикладі компресійних чіллерів.

**Основні матеріали досліджень.** До переваг аміаку перед R404a відносяться вартість, коефіцієнт теплопередачі, ККД процесу стиснення, розмір трубопроводу, взаємодія з водою, простота виявлення витоків, відповідність вимогам довкілля [1].

**Вартість.** На даний момент вартість кілограма безводного аміаку, що використовується в холодильному обладнанні, у кілька разів нижча за вартість R404a. Якщо порівнювати вартість однакового об'єму двох взаємозамінних рідин, виходить, що аміак вдвічі дешевше за R404a, оскільки в рідкому стані щільність R404a вдвічі більша за щільність аміаку.

**Теплопередача.** Переваги, що забезпечуються високим коефіцієнтом теплопередачі аміачного холодоагенту, можна використовувати подвійно. З одного боку, зменшивши поверхню теплообміну, можна зменшити вартість установки. З іншого боку, зменшивши різницю температур із рідинами у зовнішньому контурі, можна підвищити коефіцієнт теплопередачі установки та знизити вартість її експлуатації.

**ККД процесу стиснення.** Завдяки використанню аміаку в поршневіх компресорах підвищується ізоентропійний ККД стискування. При цьому економія енергії відносно невелика: не вище ніж 10 %. Використання аміаку у гвинтових компресорах також позитивно впливає на ККД стиснення, але в цьому випадку економія енергії збільшується пропорційно підвищенню стиснення.

**Трубопровід.** Перевага аміаку перед галоїдозаміщеними холодоагентами полягає в тому, що для нього потрібний трубопровід меншого діаметра, як у газоподібній фазі при високому або низькому тиску, так і рідкій фазі в затопленому випарнику, куди холодоагент подається насосом.

**Взаємодія із водою.** При нормальних робочих умовах в холодоагенті можуть бути сліди води через недостатнє осушення установки або в результаті просочування через місця витоків в ті частини холодильного контуру, де тиск нижче атмосферного. З R404a вода не змішується і може замерзнути на вхідному або вихідному отворі дросельного пристрою, що призведе до зупинки роботи. З аміаком вода залишається у суміші, і це не має жодних шкідливих наслідків.



Для запобігання хімічній реакції з мастилом, утворення органічних кислот з корозійними властивостями, концентрація води в аміаку не повинна перевищувати 300 м. д.

Виявлення витоків. Присутність аміаку легко відчуту по запаху, що відчувається вже при концентрації в повітрі 50 м. д. Оскільки у R404a запаху немає, його витік стає помітним тільки після виходу більшої частини холодоагенту. Все це призводить до зупинки робочого процесу та економічної шкоди.

Взаємодія з мастилом. Оптимальним рішенням у цьому випадку є великий централізований холодильник безпосереднього випаровування із затопленими випарниками та окремими джерелами живлення. У ньому аміак і мастило не поєднуються, що виключає можливість утворення бульбашок. Для видалення невеликої кількості мастила, що потрапляє в холодильний контур, використовують спеціальні маслоуловлювачі, що розміщуються в тих частинах установки, де відбувається осадження мастила внаслідок її більшої щільності, ніж у рідкого аміаку. З маслоуловлювача мастило перенаправляється в картер компресора.

Відповідність вимогам охорони навколишнього середовища. Випуск аміаку в атмосферу не завдає шкоди навколишньому середовищу. Реагуючи з вуглекислим газом та водою, присутніми у повітрі, аміак утворює нешкідливий двовуглекислий амоній ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ). R404a відноситься до речовин з відносно високим потенціалом глобального потепління – 3260. Внаслідок цього використання R404a та інших ГФВ у великих кількостях обмежене законодавством, яке стає все більш і більш суворим.

До переваг R404a перед аміаком відносяться взаємодія з матеріалами, кінцева температура адіабатичного стиснення та безпека.

Взаємодія із матеріалами. У той час як R404a повністю сумісний з поширеними металами (сталь, алюміній, мідь та їх сплави), аміак (за наявності в ньому води) агресивно реагує з міддю, цинком та їх сплавами. Таким чином, єдиним придатним матеріалом для установок з аміаком є сталь, а використання звичайних герметичних та напівгерметичних компресорів виключено. Однак у великих централізованих установках це обмеження не має великої ролі.

Кінцева температура адіабатичного стиснення. Кінцева температура адіабатичного стиснення аміаку набагато вища, ніж у R404a. Висока температура газів, що виходять, як правило, сильно знижує ККД внаслідок необхідності усунення перегріву, а втрати при перегріві не компенсуються втратами на дроселювання і в поршневих компресорах, що зменшує максимальний ступінь одноступеневого стиснення в установках з аміаком. В установках з гвинтовими компресорами цю властивість аміаку можна практично не брати до уваги, так як у фазі стиснення відбувається рідинне охолодження масла, що впорскується в компресор. Слід зазначити, що високий ступінь перегріву аміаку може стати перевагою при утилізації теплової енергії з перегрітої пари. Регенерація тепла з охолоджувачів гвинтових компресорних агрегатів, в яких як холодоагент використовується аміак, все частіше стає звичайною практикою.

Горючість та токсичність. Відповідно до Стандарту 34-2010 ASHRAE ANSI/ASHRAE холодоагент R404a відноситься до групи безпеки A1, а аміак – B2 (горючі та токсичні речовини). Температура спалаху чистого R404a становить 728 °C, аміаку – 630 °C. Практична межа (максимальна концентрація в житловому приміщенні, яка не вимагає негайного реагування) R404a становить 0,48 кг/м<sup>3</sup>, аміаку – 0,00035 кг/м<sup>3</sup>. Однак запах аміаку є попереджувальним сигналом, тоді як концентрація R404a може зростати непомітно.

**Висновок.** Таким чином, під час використання холодильних агентів для обладнання підприємств харчової промисловості, необхідно зважати на розглянуті характеристики.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Холодильні агенти. Режим доступу: <https://www.ammonia21.com>. (дата звернення 19.10.2024). Назва з екрана.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ТОРГОВЕЛЬНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДОАГЕНТАМИ НА ОСНОВІ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Семенюк Д. П., к.т.н., проф., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Якушенко Є. М., к.т.н., доц., e-mail: [papelats@ukr.net](mailto:papelats@ukr.net)

Державний біотехнологічний університет

Сучасна ситуація на вітчизняному ринку торговельного холодильного обладнання (ТХО) характеризується перевищенням пропозиції над платоспроможним попитом, що стимулює зростання конкуренції серед гравців ринку. В умовах надлишку пропозиції вітчизняним підприємствам досить складно скласти конкуренцію закордонним виробникам. Найбільш економічно вигідним, як постачальникам ТХО, так його споживачам, виявляється здійснення збирання в країні зарубіжного устаткування. Подібний підхід дозволяє виробникам суттєво знизити мита та транспортні витрати за цілком задовільної якості вітчизняної збірки, а споживачам – придбати обладнання за прийнятною ціною та у більш короткі терміни.

Слід зазначити, що використання в якості холодоагентів озоноруйнівних речовин (ОРВ) та сумішей на їх основі в ТХО скорочується, що обумовлено як проникненням на ринок більш енергоефективних альтернатив, так і широким застосуванням виробниками компресорних агрегатів імпортного виробництва, розрахованих для їх застосування.

Сектор торговельного холодильного обладнання (ТХО) включає: торгове холодильне обладнання для зберігання продуктів харчування та напоїв, їх викладання на вітринах та забезпечення різних температурних рівнів для охолоджених та заморожених продуктів харчування; холодильні камери невеликих розмірів; холодильне обладнання для технологічних процесів у системі громадського харчування; системи центрального холодопостачання торгових підприємств.

Основними споживачами цього обладнання є магазини, супермаркети, продуктові ринки, підприємства громадського харчування та невеликі броварні. Слід зазначити, що протягом останніх років громадський сектор ТХО зростає швидшими темпами, ніж сектор промислового холодильного обладнання (ПХО).

Холодопродуктивність ТХО може бути в діапазоні від декількох сотень Вт до 1,5 МВт. З урахуванням сформованої структури ТХО в Україні умовно можна виділити чотири основні категорії ТХО: автономне обладнання; конденсаторні агрегати; централізовані холодильні системи для супермаркетів; холодильні установки автомобільного транспорту.

Вибір холодоагенту для ТХО визначається його кількістю, необхідною температурою, енергоефективністю та регулюючими нормами.

Донедавна аміак (R717) не застосовувався в таких системах через обмеження на використання в зонах перебування людей через його горючість та токсичність.

Діоксид вуглецю (R744), як правило, використовується в торгових автоматах і вітринах, що охолоджуються, для пляшкових (банкових) напоїв. Ця технологія відрізняється чудовими експлуатаційними можливостями, але досить складна в обслуговуванні. Енергоефективність обладнання на R744 така сама, як у агрегатів, що працюють на ГФУ-134а, але вона суттєво знижується при підвищенні температури навколишнього середовища. Вартість трохи вища, що, втім, не завадило ряду транснаціональних компаній (Coca-Cola та ін.), які замовляють таке обладнання, керуватися при прийнятті рішень переважно політичними та екологічними міркуваннями. Основною перешкодою для поширення цього холодоагенту на ринку є необхідність високого рівня технічної підготовки обслуговуючого персоналу. Слід зазначити, що R744 був обраний на заміну вуглеводням через меншу загрозу безпеці в зонах громадського користування.

До цього часу основними холодоагентами в автономному устаткуванні поки що залишаються ГФУ-134а і R404А, але ця ситуація збережеться протягом найближчих 5-7 років. Останній холодоагент в Європі вже розглядається як короткостроковий варіант конверсії. Головною перешкодою для використання обох холодоагентів є їх високий потенціал

глобального потепління (ППП), внаслідок чого існуючі та майбутні міжнародні угоди у сфері регулювання обігу парникових газів антропогенного походження вимагатимуть відмови від використання ГФУ-134а у всьому світі та R404A як мінімум у Європі.

Потужність конденсаторних агрегатів, як правило, становить від 1 до 20 кВт. Під конденсаторними агрегатами мають на увазі пристрій, що складається з одного або двох компресорів, конденсатора і ресивера і зазвичай розміщується за межами торгової площі. Це обладнання зазвичай встановлюється у спеціалізованих магазинах (булочних, м'ясних лавках та невеликих продовольчих магазинах).

Аміак (R717) у таких системах не використовується через його потенційну небезпеку.

Централізовані системи є оптимальним варіантом охолодження продуктів харчування супермаркетів. Вони складаються із багатокомпресорних агрегатів, встановлених у машинному залі. Існує два основні види таких установок: системи безпосереднього охолодження та системи з проміжним холодоносієм.

На сьогодні найбільш поширені системи безпосереднього охолодження. Холодоагент подається в рідкому вигляді з машинного залу в торговий зал, де випаровується в теплообмінниках вітрин і в газоподібній формі повертається до колекторів, що всмоктують, багатокомпресорних агрегатів. Охолодження морозильних камер відбувається аналогічно.

У потужних системах з проміжним охолоджувачем використовується аміак, а на низькотемпературному рівні, як правило, діоксид вуглецю. Чинними вимогами до безпеки кількість таких установок поки що обмежена. Аміак розглядається як ефективний холодоагент в централізованих системах ТХО. При цьому додаткові витрати становитимуть 10–15% вартості систем з проміжним холодоносієм, що працюють на ГФУ і R744, і пов'язані з використанням сталі замість міді. Однак за потужності більше кількох сотень кВт такі системи стають більш конкурентоспроможними з погляду ціни. У країнах із холодним кліматом конкуренцію аміаку складають ГФУ, вуглеводні і навіть діоксид вуглецю, проте користувачі можуть продовжувати обирати рішення на аміаку.

До систем охолодження на транспортних засобах висуваються дуже високі технічні вимоги. Обладнання має бути придатним для роботи за різних температур навколишнього середовища та природних умов.

У розвинених країнах кращими холодоагентами для охолодження на транспортних засобах є ГФУ. Кількість холодоагенту може становити від менше 1 кг (фургони-рефрижератори) до кількох кг (вантажівки, трейлери та рефрижераторні контейнери). За оцінками обсяг витоків холодоагентів становить 20% у вантажівках і трейлерах і 30% — у фургонах. У всіх контейнерах для змішаного перевезення використовуються герметичні або напівгерметичні системи, обсяг витоків у яких не перевищує 5%.

Таким чином, конверсія торгівельного холодильного устаткування на озонобезпечні холодоагенти та спінювачі, має цілу низку переваг, таких як суттєве підвищення якості та класу енергоспоживання холодильної техніки, що випускається, освоєння сучасних технологій, що не надають негативного впливу на озоновий шар і клімат Землі, можливість експорту продукції, що випускається в розвинені країни, а також можливість співробітництва і спільну діяльність із основними світовими виробниками ТХО.

Однак це є досить складним з технічного погляду завданням, оскільки йдеться про заміну (модернізацію) всієї технологічної лінії.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проектування та експлуатація аміачних холодильних систем – URL: <https://www.nio-holod.com.ua/2007-3-3.pdf>
2. Проблеми техногенної та продовольчої безпеки – URL: <https://www.nio-holod.com.ua/2007-3-2.pdf>
3. Прискоримо зміну холодоагенту і зменшимо вплив на клімат – URL: <https://assets.danfoss.com/documents/151201/AD135486444159uk-UA0904.pdf>

## ОПТИМІЗАЦІЯ ХОЛОДИЛЬНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

Смілик М. М., асистент, e-mail: [smilykmm@gmail.com](mailto:smilykmm@gmail.com)

Потапов В. О., д.т.н., проф., e-mail: [potapov@bigmir.net](mailto:potapov@bigmir.net)

Кузнецов І. О., магістр, e-mail: [opholod@gmail.com](mailto:opholod@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

В умовах нестабільного енергопостачання зростає необхідність у підтриманні стабільності температур в обладнанні для виробництва та зберігання швидкопсувних харчових продуктів. Підтримання необхідного рівня низьких температур дозволяє зберігати продукцію протягом тривалого часу без суттєвої втрати її якості. В той же час в умовах відключення енергопостачання існують максимальні часові рамки, протягом яких холодильне обладнання може підтримувати технологічно допустимий рівень температур. Для збільшення цього терміну ми запропонували використання холодильних акумуляторів інтегрованих у теплоізоляцію холодильної камери. У якості робочої речовини для акумулятора ми обрали водосольовий розчин, який, залежно від концентрації має різну температуру плавлення, що дозволяє подовжити термін підтримання необхідної температури в умовах відсутності електроенергії.

Метою досліджень є визначення оптимальної схеми холодильного акумулятора та оптимальної концентрацією водосольового розчину.

На першому етапі даних досліджень використовувались водосольові розчини різної концентрації (від 0,1% до 23,1%), щоб визначити їх вплив на термін підтримання заданого рівня температур у холодильній камері за відсутності енергопостачання. Для цього було проведено дослідження кінетики температур у холодильній камері, в акумуляторі холоду та у шарі теплоізоляції під час заморожування та розморожування акумулятору холоду. Для вимірювання температури використовували систему моніторингу Xweb та контролер XR60CX. Ця система дозволяла відстежувати у реальному часі зміну температури у декількох точках та зберігати данні на зовнішньому носії.

На рис.1. наведена типова кінетика температур при розрядженні акумулятору холоду. Встановлено, що в діапазоні температур  $-18...0^{\circ}\text{C}$  швидкість зарядження-розрядження акумулятору по різному залежить від концентрації. В діапазоні температур, яка відповідає однофазному (твердому стану) швидше змінює температуру водосольовий розчин з меншою концентрацією. Але в температурному діапазоні, який відповідає двофазному стану розчину (лід+розчин) розчин з меншою концентрацією заряджається та розряджається повільніше. В області температур вище криоскопічної (рідкий стан розчину) швидкість зарядження-розрядження акумулятору практично однакова. Таким чином було встановлено, що не можна збільшити час розрядження акумулятора якщо в ньому використовується розчин тільки однієї концентрації.

На підставі цього нами було запропоновано експериментальну модель акумулятору холоду, яка складається з декількох шарів водосольових розчинів різної концентрації розділених теплоізоляцією (рис.2). Такий підхід дозволить в подальшому знайти оптимальне співвідношення концентрацій розчину, яке забезпечить максимальне можливе збільшення терміну підтримки стабільної температури зберігання за умов обмеженого доступу до електроенергії.

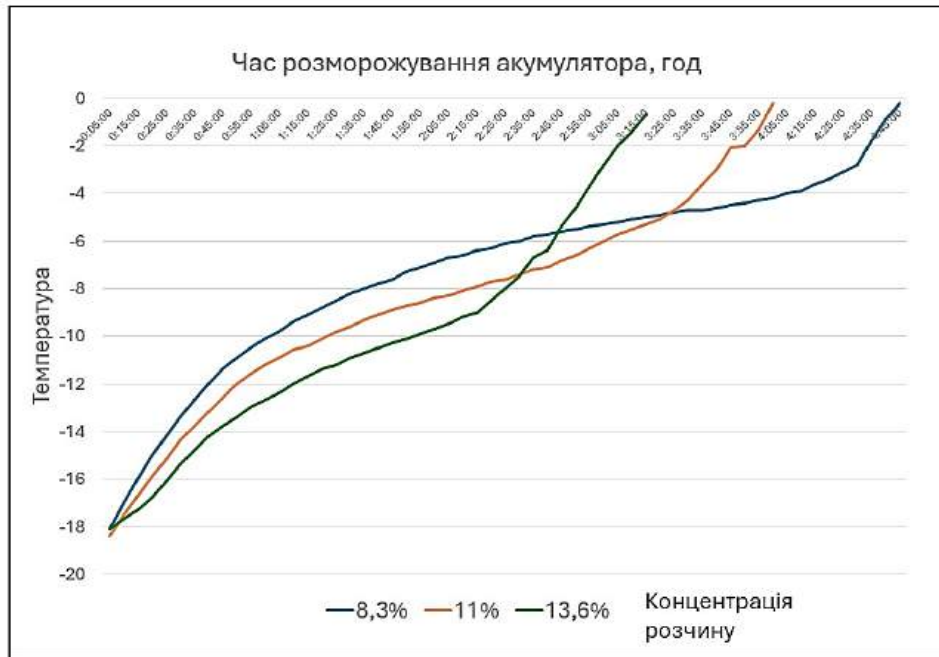


Рисунок 1 – Час розрядження (розморожування) водосольового акумулятору холоду залежно від концентрації розчину

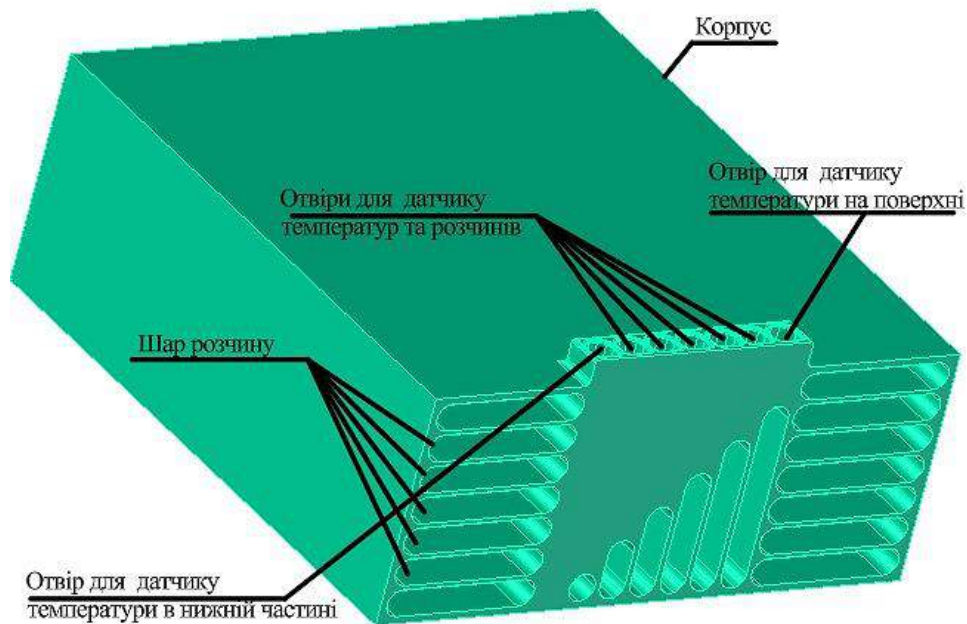


Рисунок 2 – Експериментальна модель багат шарового акумулятору холоду з різними концентраціями водосольових розчинів.



## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗАСТОСУВАННЯ АМІАКУ, ЯК ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТА

Якушенко Є. М., к.т.н., доцент, e-mail: [papelats@ukr.net](mailto:papelats@ukr.net)

Семенюк Д. П., к.т.н., проф., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

Сучасна всесвітня тенденція — застосування аміаку як холодоагенту в холодильному обладнанні невеликих потужностей, тоді як нові технології підвищують у галузі CO<sub>2</sub> сприяють зростанню його продуктивності. Всі ці інновації допомагають промисловості поступово скорочувати використання синтетичних холодоагентів та підвищувати енергоефективність.

Чудові характеристики аміаку як теплоносія для використання на великих промислових холодильних установках у порівнянні з синтетичними холодоагентами вже добре відомі.

У звіті ASHRAE HVAC & R, присвяченому аміаку (NH<sub>3</sub>) вказується, що аміак має низьку температуру кипіння і високу приховану теплоту випаровування, у вісім разів вище, ніж у R12, і в шість разів вище, ніж у R134a.

Це одна з причин, через яку аміак є єдиним природним холодоагентом, який постійно використовується з моменту появи сучасних технологій охолодження з середини 1800-х років.

За даними Міжнародного інституту охолодження аміаку (IIR), NH<sub>3</sub> вперше був використаний як холодоагент у Франції в 1850 році.

Чудові теплофізичні характеристики аміаку та відносно низькі ціни забезпечують конкурентні техніко-економічні показники навіть з урахуванням додаткових витрат на безпеку та високої вартості аміачного холодильного обладнання. Оптимальний комплексний підхід до проведення реконструкції, коли одночасно вирішуються завдання щодо забезпечення безпеки та зниження енергетичних експлуатаційних витрат.

Однак зі зростанням попиту на промислове охолодження зростала і кількість аміаку, що використовується в холодильних системах.

Основна проблема – відсутність виробництва сучасного холодильного обладнання та комплектуючих (включаючи системи автоматичного управління та контролю параметрів) для аміачних холодильних установок. На вітчизняному ринку аміачного холодильного обладнання чимало пропозицій від закордонних виробників. Однак не завжди вони влаштовують споживачів за цінами та термінами постачання і монтажу.

Доцільним було б прийняття пільгових програм підприємств для забезпечення безпеки експлуатації установок, захисту персоналу, а також населення, що проживає поблизу виробництв.

Основні напрями підвищення безпеки аміачного холодильного обладнання:

- створення та застосування нових установок з малим вмістом аміаку;
- зниження вмісту діючих установок за рахунок часткової реконструкції (переведення на нові схеми, заміна обладнання, заміна систем безпосереднього охолодження на системи з проміжним охолоджувачем);
- використання холодильних машин (ХМ) з малоємними теплообмінними апаратами для охолодження проміжних холодоносіїв;
- застосування нових холодоносіїв, нейтральних до металів, екологічно безпечних;
- обладнання, що випускаються ХМ, пристроями та засобами автоматизації, що дозволяють локалізувати аміак у разі розгерметизації ХМ;
- зниження середньорічного робочого тиску (тиск конденсації холодоагенту) за рахунок максимального використання природного холоду;
- забезпечення необхідного рівня контролю параметрів, автоматичного захисту та керування;
- розробка підсистем, що забезпечують зниження викидів аміаку під час розгерметизації холодильних установок;

- створення агрегатованого холодильного теплообмінного та ємнісного обладнання, повністю оснащене сучасними засобами контролю та захисної автоматики.

Розробники холодильного аміачного обладнання пропонують кілька шляхів переозброєння холодильних установок. Для великих АХУ, розташованих у містах поблизу житлових масивів, це повернення до системи з проміжним холодоносієм, але вже із застосуванням нового теплообмінного обладнання, приладів автоматизації, арматури, матеріалів. Рекомендується використовувати блочні малоємні холодильні агрегати з дозованою заправкою аміаку, де як випарники і конденсатори застосовується високоефективна апаратура пластинчастого типу, а як холодоносії – некорродуючі розчини. Також у холодильних камерах можлива заміна батарейних систем охолодження охолоджувачами повітря з примусовим обдуванням. У цих випадках аміачне обладнання може розташовуватися як у традиційних центральних машинних відділеннях, так і в блокових контейнерного типу, обладнаних пристроями для повного поглинання аміаку у разі розгерметизації. При цьому кількість аміаку зазвичай не перевищує 100-150 г (у перспективі до 40-60 г) на 1 кВт холоду.

Відродження галузі вітчизняного холодильного машинобудування є досить проблематичним, оскільки потребує об'ємних та довгострокових інвестицій. Правові та організаційно-технічні складності при збільшенні обсягів застосування аміаку як холодильного агенту обумовлені насамперед його високою токсичністю та потенційною вибухонебезпечністю.

Велику увагу приділяють питанням промислової безпеки в цілому та безпеки аміачних холодильних установок (АХУ). З точки зору безпеки оптимальним рішенням було б переоснащення АХУ на одноагрегатні установки з дозованим заповненням аміаком та їхня повна автоматизація.

Таким чином вирішення проблеми безпеки АХУ є розробка обов'язкових для виконання багатоетапних скоординованих планів реконструкції холодильних установок. На першому етапі мають бути виконані основні розпорядження, що забезпечують безпеку подальшої експлуатації. При цьому необхідна розробка «Тимчасових технічних умов на експлуатацію» з коригуванням принципової схеми та схеми автоматизації – для можливості експлуатації на перших етапах реконструкції за мінімальних дозволених тисків у системі.

Другий шлях – модернізація великих АХУ, розташованих у промзонах. Це збереження насосно-циркуляційних систем із безпосереднім кипінням аміаку. Аміаємні батарейні системи охолодження холодильних камер замінюються на сучасні малоємні охолоджувачі повітря, у схемах використовуються пластинчасті або випарні конденсатори. Цей спосіб ефективний для підприємств з великою кількістю різнотемпературних споживачів холоду – аміаємність систем охолодження при цьому знижується майже на порядок.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проектування та експлуатація аміачних холодильних систем – URL: <https://www.nio-holod.com.ua/2007-3-3.pdf>
2. Проблеми техногенної та продовольчої безпеки – URL: <https://www.nio-holod.com.ua/2007-3-2.pdf>
3. Зменште рахунок за опалення супермаркету та зменште викиди CO<sub>2</sub> за допомогою блоку рекуперації тепла Danfoss – URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/dhs/stations-and-domestic-hot-water/substations/hru-heat-recovery-unit/#tab-overview>
4. Прискоримо зміну холодоагенту і зменшимо вплив на клімат – URL: <https://assets.danfoss.com/documents/151201/AD135486444159uk-UA0904.pdf>

## ЗМІСТ

<b>СЕКЦІЯ 1. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ</b>	<b>3</b>
1. <i>Боровик Н. В., Боровик Д. О.</i> <b>Методи прийняття рішень під час оцінки якості електропостачання</b> .....	3
2. <i>Войтенко В. В.</i> <b>Забезпечення живучості регіональних енергосистем в умовах дефіциту потужностей</b> .....	5
3. <i>Гарасимчук І. Д., Потапський П. В.</i> <b>Дослідження застосування простих мікроконтролерів для реалізації способу децентралізованої синхронізації MicroGrid в електричній мережі</b> .....	7
4. <i>Гурна І. І., Мірошник О. О.</i> <b>Використання електроенергії під час користування кондитерським устаткуванням</b> .....	9
5. <i>Дудніков С. М., Пазій В. Г.</i> <b>Аналіз перспектив розвитку відновлюваних джерел енергії в складі об'єднаної енергетичної системи України</b> .....	11
6. <i>Єрмак Д. А., Савченко О. А.</i> <b>Дослідження методів глибокого навчання для виявлення ожеледі на ПЛ</b> .....	13
7. <i>Жорняк Л. Б., Бахметьєв В. В., Левченко О. П.</i> <b>Підвищення ефективності роботи розподільчих мереж ліній 10 – 35 кВ за рахунок автоматичних пунктів секціонування</b> .....	15
8. <i>Іщенко М. Р., Козловський О. А.</i> <b>Підвищення енергетичної ефективності трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ</b> .....	17
9. <i>Карпенко М. А., Шевченко В. В.</i> <b>Особливості прогнозування розвитку атомної електроенергетики України під час війни</b> .....	19
10. <i>Козловський О. А.</i> <b>Біоміметичний підхід до створення електричної мережі</b> .....	21
11. <i>Лазуренко К. О., Шевченко В. В.</i> <b>Оцінка технологічних та експлуатаційних ризиків відмов турбогенераторів на блоках електростанцій</b> .....	23
12. <i>Лещенко В. С., Герасименко В. А.</i> <b>Удосконалення систем освітлення на основі світлодіодів</b> .....	25

13. <i>Мишин М. А.</i> <b>Дослідження ефективності тепловідведення в світлодіодних світильниках.....</b>	27
14. <i>Мотузов Ю. В.</i> <b>Вплив кольору і світла в дизайні рекламних вивісок на сприйняття бренду.....</b>	29
15. <i>Носань С. В., Дем'янчук С. Б.</i> <b>Автоматизація і цифрові технології в управлінні електропостачанням.....</b>	31
16. <i>Носань С. В., Іванов С. В.</i> <b>Розвиток розумних мереж та їх вплив на електропостачання.....</b>	33
17. <i>Павлов А. О., Мороз О. М., Мірошник О. О., Пазій В. Г., Серeda А. І.</i> <b>Методика розрахунку споживання електричної енергії насосними станціями системи водопостачання.....</b>	35
18. <i>Печенюк А. В.</i> <b>Проектування енергетичних об'єктів аграрного підприємства.....</b>	38
19. <i>Погорельцева Ю. О., Трунова І. М.</i> <b>Аналіз шляхів забезпечення якості електропостачання на етапі приєднання електроустановок до розподільних мереж.....</b>	40
20. <i>Попадченко С. А., Дудніков С. М.</i> <b>До питання накопичення електричної енергії в системі електропостачання гібридних електроустановок.....</b>	42
21. <i>Постернак І. М.</i> <b>Освітня компонента «Організація енергоефективного будівельного виробництва» для підготовки фахівців з енергетичного менеджменту.....</b>	44
22. <i>Потапський П. В., Вусатий М. В.</i> <b>Дослідження втрат електроенергії у мережах 220-380 В за умов несиметричних режимів.....</b>	46
23. <i>Решетняк Я. В., Павленко В. М.</i> <b>Підвищення енергоефективності трансформаторних підстанцій в системах електропостачання.....</b>	48
24. <i>Рибалка І. А., Серeda А. І., Дудніков С.М.</i> <b>Принципи розрахунку техніко-економічних показників пристрій компенсації реактивної потужності.....</b>	50
25. <i>Ткаченко І. І., Герасименко В. А.</i> <b>Впровадження інноваційних технологій в управлінні освітленням.....</b>	52
26. <i>Ткаченко М. В., Павленко В. М.</i> <b>Екoнструкція трансформаторної підстанції для освітніх і наукових установ шляхом впровадження енергоефективних технологій.....</b>	54
27. <i>Товт Ф. Ф., Сорокін М. С.</i> <b>Програмний комплекс прогнозування енергоспоживання на основі нейромереж.....</b>	56

28. <i>Трегуб В. В., Шевченко В. В.</i> <b>Порівняння різних типів генераторів для електростанцій малої гідроенергетики.....</b>	58
<b>СЕКЦІЯ 2. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА</b>	
1. <i>Багач Р. В.</i> <b>Відновлювана енергетика електротранспорту.....</b>	60
2. <i>Багач Р. В., Гнатов А. В.</i> <b>Інтеграція електромобілів у розподілені енергетичні системи Vehicle-to-Grid (V2G).....</b>	62
3. <i>Волобуєв А. С., Савченко О. А.</i> <b>Дослідження ефективності методів машинного навчання для прогнозування вироблення електричної енергії сонячними електростанціями.....</b>	64
4. <i>Головко В. М., Володарський В. Г.</i> <b>Інтенсифікація теплообміну в сонячних водонагрівальних установках з вільним режимом циркуляції робочого тіла.....</b>	66
5. <i>Грицай В. А., Братчикова О. В., Братчиков О. С.</i> <b>Втторинна сировина як джерело альтернативної енергії.....</b>	68
6. <i>Гук Я. В., Бялковська О. А., Єрмаков С. В.</i> <b>Можливості та виклики для зеленої енергетики в Україні на прикладі енергії біомаси.....</b>	70
7. <i>Дудніков С. М., Шовкун А. С., Середа А. І., Попадченко С. А.</i> <b>Обґрунтування систем енергопостачання з тепловими насосами.....</b>	72
8. <i>Козирський В. В., Бунько В. Я.</i> <b>Дослідження термомеханічних властивостей функціональних сплавів для перетворення теплової енергії в електричну.....</b>	74
9. <i>Колодійчук Л. С.</i> <b>Моделювання відновлювальних джерел енергії в програмі «Cisco Packet Tracer».....</b>	76
10. <i>Курепін В. М.</i> <b>Природні геотермальні джерела: як ефективний енергоресурс.....</b>	78
11. <i>Мотайло М. С., Тоберт М. Ю., Мороз О. М.</i> <b>Проблеми та перспективи розвитку мікромереж.....</b>	80
12. <i>Оберемок Д. О., Kamil Wittek, Wiktoria Solorz, Wiktoria Michalak, Taras Shchur, Миргород Д. Г., Мірошник О. О., Середа А. І., Пазій В. Г.</i> <b>Аналіз стану електричних мереж та огляд сучасних проблем. перспективи інтеграції сонячних електростанцій та систем зберігання енергії.....</b>	82



13. Оксенич Р. В., Katarzyna Markowska, Agata Markowska, Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г. <b>Накопичувачі енергії як інструмент балансування енергетичної системи.....</b>	84
14. Опаленік А. В., Мороз О. М. <b>Етапи проектування, вибору обладнання та розрахунку економічних показників автономної сонячної електростанції домогосподарства.....</b>	86
15. Павлов А. О., Мороз О. М., Мірошник О. О., Пазій В. Г., Середа А. І. <b>Дослідження параметрів сес для забезпечення роботи насосних станцій систем водопостачання.....</b>	89
16. Павлюк Д. О., Галько С. В. <b>Оптимізація енергоефективного режиму роботи електротехнічного комплексу локальної мережі з використанням когенераційних фотоелектричних модулів.....</b>	92
17. Рамш В. Ю., Потапенко М. В. <b>Вплив сонячного випромінювання на ефективність фотоелектричних перетворювачів.....</b>	94
18. Слущкий Д. М., Шевченко В. В. <b>Порівняльний аналіз постійних магнітів для генераторів вітроенергетичних установок.....</b>	96
19. Сотнік О. В., Мороз О. М. <b>Дослідження можливостей програми System Advisor Model під час проектування сонячних електростанцій.....</b>	98
20. Сподоба М. О., Сподоба О. О. <b>Ослідження розповсюдження потоків субстрату у біогазовому реакторі циліндричної форми.....</b>	100
21. Сподоба М. О., Сподоба О. О. <b>Порівняння теоретичних та експериментальних даних енерговитрат за умов нагрівання субстрату в метантенку циліндричної форми.....</b>	102
22. Тоберт М. Ю., Мотайло М. С., Мороз О. М. <b>Бібліографічне оформлення джерел у наукових дослідженнях про відновлювані джерела енергії та їх вплив на якість публікацій.....</b>	104
23. Тоберт О. Ю., Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г., Миргород Д. Г., Галько С. В., Mohamed Qawaqzeh <b>Вплив розосереджених джерел енергії на стабільність та надійність енергосистем.....</b>	106
24. Червінський Л. С. <b>Агровольтаїка – інноваційний підхід до ведення сільського господарства.....</b>	108
25. Чушкіна К. В., Герасименко В. А. <b>Проектування системи освітлення на сонячних панелях для автономних інфраструктур.....</b>	110

<b>СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА РОБОТОТЕХНІКА</b>	112
1. <i>Zakaryayev Z. N., Zakarya N. Z.</i> <b>The implementation of robotics into human’s life.....</b>	112
2. <i>Багно В. І., Когдась М. Г.</i> <b>Автоматизовано–інтегрована система вибухозахисту на підприємстві з виготовлення ароматизованого тютюну.....</b>	114
3. <i>Безсудний І. В., Тукалов І. О.</i> <b>Оптимізація тахограм електропривода летючих ножиць агрегату різання та пакування прокату АРПП-1700.....</b>	116
4. <i>Бондаренко М. О., Лисиченко М. Л.</i> <b>Втрати енергії в електроприводі насосної станції внаслідок низької якості електроенергії.....</b>	118
6. <i>Боровик Д. О., Горященко С. Л.</i> <b>Перспективи технічного зору для автоматизації балансування коліс.....</b>	120
7. <i>Василенко Д. О., Сорокін М. С.</i> <b>Розробка сенсорної системи для визначення фальсифікації молочної продукції за допомогою електричних параметрів.....</b>	122
8. <i>Войтенко О. В., Горященко С. Л.</i> <b>Дослідження пружної підвіски барабану пральної машини з демпфуванням.....</b>	124
9. <i>Гайдукевич С. В., Семенова Н. П.</i> <b>Автоматичний контроль інкубаційного режиму на базі IoT технологій.....</b>	126
10. <i>Гайдукевич С. В., Семенова Н. П.</i> <b>Удосконалення процесу приготування корму для птиці.....</b>	128
11. <i>Гузенко В. В.</i> <b>Розробка та дослідження енергозберігаючих алгоритмів частотного керування асинхронним двигуном.....</b>	131
12. <i>Іванченко О. В., Гузенко В. В.</i> <b>Управління силовою взаємодією робота з поверхнею невизначеного профілю.....</b>	133
13. <i>Кафтуненкова Е. М., Гузенко В. В.</i> <b>Вдосконалення режимів роботи електромеханічної системи стрічкового конвеєра.....</b>	135
14. <i>Кунченко Т. Ю., Демченко А. Ю.</i> <b>Дослідження двомасових систем з нетрадиційними регуляторами які синтезовані поліноміальним методом.....</b>	137
15. <i>Курдяєв О. І., Сотнік О. В.</i> <b>Особливості роботи електроприводів сільськогосподарських машин із зношеним асинхронним двигуном.....</b>	139

16. <i>Кучинський К. А.</i> <b>Вплив конструктивного виконання синхронного двигуна на розподіл магнітного поля в роторі.....</b>	141
17. <i>Мельник О. О., Дашковська О. М., Червінський Л. С.</i> <b>Підвищення ефективності роботи цукрової центрифуги з системою частотного керування електроприводом.....</b>	143
18. <i>Міленін Д. М., Лихобаба Р. О.</i> <b>Вплив спектральних характеристик штучного світла на розвиток та продуктивність біологічних об'єктів.....</b>	145
19. <i>Міленін Д. М., Туменко Б. Ю., Колій Р. О.</i> <b>Інноваційні конструкції для оптимізації вироблення енергії в фотоелектричних станціях на будівельних конструкціях.....</b>	147
20. <i>Мінко О. М.</i> <b>Проектування електромеханічних перетворювачів енергії за допомогою параметризації.....</b>	149
21. <i>Окушко О. В., Ковтун П. М.</i> <b>Перспективи застосування електротехнологій при відновленні і ремонті машини і обладнання.....</b>	151
22. <i>Окушко О. В., Радько І. П., Наливайко В. А.</i> <b>Енергозбереження як засіб підвищення енергоефективності у закладах вищої освіти.....</b>	153
23. <i>Осадчий С. І., Віхрова Л. Г., Каліч В. М., Мірошніченко М. С.</i> <b>Комп'ютерно – інтегрована система моделювання рухів носія безплатформної інерціальної навігаційної системи.....</b>	155
24. <i>Оцалюк І. І., Лисіков О. Ю., Червінський Л. С.</i> <b>Удосконалення методів та засобів визначення дефектів ізоляції енергетичного обладнання АПК.....</b>	157
25. <i>Прокопенко В. С., Гузенко В. В.</i> <b>Розрахунок швидкісних характеристик осьових вентиляторів з частотним керуванням за рахунок використання ПК.....</b>	159
26. <i>Середин М. Ю., Лисиченко М. Л.</i> <b>Оптимізація живлення бурової установки від дизельних генераторів з використанням енергії акумуляторних батарей.....</b>	161
27. <i>Синявський О. Ю., Савченко В. В., Твердохліб В. М., Гирило А. І.</i> <b>Вплив якості електроенергії на приводні характеристики гносприбиральних транспортерів.....</b>	163
28. <i>Соскіда Д. В., Кунченко Т. Ю.</i> <b>Дослідження системи автоматичного регулювання тиску в нафтопроводах з використанням частотно-регульованих електроприводів.....</b>	165

29. <i>Сотнік О. В.</i> <b>Дослідження шляхів підвищення ефективності роботи електроприводів з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.....</b>	167
30. <i>Ткаченко А. О., Осичев О. В., Орехов О. В., Мірошниченко А. С., Кравченко Є. С., Овечкін В. Р.</i> <b>Ефективне використання vps-серверів для розвитку онлайн-навчання багаторівневої системи автоматизації на кафедрі НТУ «ХП» .....</b>	169
31. <i>Хандола Ю. М., Гузенко В. В., Корольов А. О.</i> <b>Перспективи застосування електропривода в мобільних робочих машинах.....</b>	171
<b>СЕКЦІЯ 4. БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
	173
1. <i>Natalia Kosulina, Evstatiiev Boris</i> <b>Methods for measuring the dielectric constant of objects.....</b>	173
2. <i>Anastasiya Lytvyn, Maxim Tymkovych, Oleh Avrunin</i> <b>Creation of a virtual training cryolaboratory.....</b>	175
3. <i>Orken Mamyrbayev, Keylan Alimhan, Dina Oralbekova, Larysa E. Nykyforova, Sergii Pavlov, Assel Aitkazina, Nurdaulet Zhumazhan</i> <b>Development of a biotechnical system for pre-sowing pulsed laser irradiation of sunflower seeds.....</b>	177
4. <i>Serhii Filimonov, Yurii Fedurtsia, Liliia Averianova</i> <b>Based on the result of ct reconstruction simulation of a phantom image of bone microstructure.....</b>	180
5. <i>Victor Shigimaga, Natalia Kosulina, Mariia Chorna, Hennadij Lyashenko, Vitaly Sukhin, Kostiantyn Korshunov</i> <b>Pulse conductometry of ukraine natural waters in electric field of rising strength.....</b>	182
6. <i>Висоцька О. В.</i> <b>Сучасні інформаційні технології у професійній діяльності психолога.....</b>	184
7. <i>Висоцька О. В., Трунова А. І., Фомін Є. С.</i> <b>Метод аналізу оклюзії зубів людини.....</b>	185
8. <i>Галушко Д. Є., Носова Т. В., Євстратов Н. Д., Носова Я. В., Семашко С. А.</i> <b>Аспекти автоматизованої обробки зображень під час плантографічної діагностики.....</b>	188
9. <i>Горбовий О. В.</i> <b>Двоканальний неінвазивний транскраніальний стимулятор.....</b>	190

10. <i>Гузенко В. В., Неліна І. М.</i> <b>Особливості та ключові параметри валідації методик фенотипування клітинних ліній</b> .....	192
11. <i>Денисов Б. Ю., Чорна М. О.</i> <b>Дослідження впливу електромагнітного випромінювання на врожайність плодів культур</b> .....	194
12. <i>Дубік В. М.</i> <b>Енергетичні параметри лазера в приладах мікроімпульсної циклофотокоагуляції</b> .....	196
13. <i>Думанський О. В.</i> <b>Використання електромагнітного випромінювання для обробки насіння сільськогосподарських культур</b> .....	198
14. <i>Дьоміна Т. О., Лисиченко М. Л.</i> <b>Розробка математичної моделі процесу лактації у корів</b> .....	200
15. <i>Жила В. І., Задорожна В. М.</i> <b>Дослідження впливу лазерного випромінювання на технологічні властивості молока</b> .....	202
16. <i>Забродін К. Ю.</i> <b>Можливості застосування методик голчастих емг для діагностування захворювань периферичної нервової системи</b> .....	204
17. <i>Кизилов І. Р., Висоцька О. В., Порван А. П.</i> <b>Метод інтегральної оцінки якості життя людини</b> .....	206
18. <i>Козак О. В.</i> <b>Комп'ютерний текстурний аналіз МРТ-зображень</b> .....	208
19. <i>Комарова О. С., Холін В. В., Павлов С. В., Рева А. В., Івасенко В. І., Ткаченко М. В., Івлєв Я. О., Шинкаренко Д. Г., Войцехович В. С.</i> <b>Насадка з прямокутним вихідним потоком оптичного випромінювання для використання з медичною лазерною апаратурою</b> .....	210
20. <i>Королович О. С., Селіванова К. Г.</i> <b>Методи оцінки функціонального стану та застосування тренажерів у фізичній реабілітації м'язової дисфункції верхніх кінцівок</b> .....	213
21. <i>Корціков А. М.</i> <b>Медичні датчики у спорті: філософські та етичні міркування щодо технологій моніторингу та їх оптимізації</b> .....	215
22. <i>Косулін С. В.</i> <b>Ризики в лапароскопічній хірургії</b> .....	217



23. Косуліна Н. Г., Капатієнко С. С. <b>Діелектрична проникність, як основна величина для характеристики діелектриків.....</b>	219
24. Косуліна Н. Г., Коришунів К. С., Штифура В. В. <b>Електромагнітна технологія для зберігання яблук.....</b>	222
25. Косуліна Н. Г., Лебідь Д. А. <b>Іновації в іонізації тваринницьких приміщень.....</b>	224
26. Косуліна Н. Г., Очеретна М. В. <b>Мобільні пристрої для ультрафіолетової дезінфекції.....</b>	226
27. Косуліна Н. Г., Ткаченко А. І. <b>Методи стерилізації ґрунту.....</b>	228
28. Кузнецов О., Носова Т. В. <b>До питання комп'ютерного моделювання кульшового суглобу.....</b>	230
29. Лизень Д. І., Кузнецов О. В. <b>Аналіз впливу вибору компонентів модульних протезів нижніх кінцівок на результат реабілітації.....</b>	232
30. Ляшенко Г. А., Полянова Н. В. <b>Аналіз біологічних зразків за допомогою методу порожнинних збурень.....</b>	234
31. Михайлова Л. М. <b>Немедикаментозне лікування маститу свиноматок.....</b>	236
32. Михайлова Л. М., Семенишина І. В. <b>Використання ультразвукових витратомірів для обліку енергоносіїв.....</b>	238
33. Павлов С. Г., Лисенко В. П., Лендєл Т. І., Наконечна К. В. <b>Технології комп'ютерного зору для експрес-аналізу якості зброджуючого біоматеріалу.....</b>	241
34. Посохова К. А., Тимкович М. Ю., Аврунін О. Г. <b>Детекція об'єктів та інтеграція машини станів для віртуального асистента в флюорисцентній лабораторії на основі фреймворку Detectron2.....</b>	243
35. Привалов Б. В., Лебедєв Д. Е., Ібрагім Юнусс Абделхамід, Аврунін О. О., Шушляпіна Н. О. <b>Деякі особливості доказового тестування носового дихання.....</b>	245
36. Савченко В. В., Синявський О. Ю., Починок І. О., Романюк Р. В. <b>Вплив магнітного поля на посівні якості насіння зернових культур.....</b>	247
37. Семенов О. О., Лисиченко М. Л. <b>Інтелектуальна система розпізнання тварин.....</b>	249

38. <i>Соколов А. А., Селіванова К. Г., Носова Я. В., Боєчко-Немовча А. О., Аврунін О. Г.</i> <b>Інтеграція відкритих освітніх ресурсів для українських студентів: міжнародний досвід та співпраця в умовах кризових обставин.....</b>	251
39. <i>Сокольков А. О., Аврунін О. Г.</i> <b>Підготовка симуляторів для навчання ендоскопічної хірургії на основі 3d-моделей в ринології.....</b>	253
40. <i>Щепін В. В., Трушаков Д. В.</i> <b>Розробка додатку для керування створеним пристроєм для покращення психоемоційного стану людини та оцінка дослідження економічної ефективності його функціонування.....</b>	255
41. <i>Черепньов І. А., Катунін А. М., Колокольніков В. О., Попко С. О.</i> <b>Напрямки підвищення ефективності захисту персоналу від електромагнітних випромінювань в умовах надзвичайної ситуації та повсякденної діяльності.....</b>	257
42. <i>Черепньов І. А., Катунін А. М., Колокольніков В. О., Попко С. О.</i> <b>Огляд результатів дослідження електромагнітної обстановки у підземних об'єктах метрополітена деяких країн світу.....</b>	259
43. <i>Чорна М. О., Лавренко Д. С.</i> <b>Основні переваги застосування електромагнітних технологій в рослинництві.....</b>	261
44. <i>Юшевич І. М., Висоцька О. В., Порван А. П.</i> <b>Інформаційна система планування технічного обслуговування медичного обладнання.....</b>	263
<b>СЕКЦІЯ 5. ІНТЕГРОВАНІ ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ТЕПЛО-ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ</b>	
	265
1. <i>Грищенко В. О.</i> <b>Дослідження електромеханічноаерозольного розпилювача, як об'єкта керування.....</b>	265
2. <i>Калініченко Р. А., Котов Б. І.</i> <b>Імпульсна модуляція іч-теплогового потоку при мікронізації зерна.....</b>	267
3. <i>Котов Б. І., Мироненко В. Г., Степаненко С. П.</i> <b>Підвищення ефективності процесів сушки зернових матеріалів засобами електронагріву.....</b>	269
4. <i>Котов Б. І., Панцир Ю. І., Гарасимчук І. Д.</i> <b>Альтернативна геліотеплонасосна система теплопостачання технологічних об'єктів.....</b>	271
5. <i>Котов Б. І., Рудь А. В., Грушецький С. М.</i> <b>Системне проєктування електроventиляційних установок для зберігання зерна..</b>	273

6. <i>Котов Б. І., Степаненко С. П., Панцир Ю. І., Гарасимчук І. Д.</i> <b>Пневмоінерційне електросепарування насіннєвих матеріалів.....</b>	275
7. <i>Панчук В. В., Горященко С. Л.</i> <b>Розробка терморегулятора для побутової холодильної шафи.....</b>	277
8. <i>Петренко О. В., Білецький Е. В.</i> <b>Системний підхід до проєктування та експлуатації холодильних систем.....</b>	279
9. <i>Петренко О. В., Смілик М. М.</i> <b>Впровадження акумуляції холоду в сучасних холодильних системах: енергоефективність та екологічність.....</b>	281
10. <i>Попков М.М., Якушенко Є. М.</i> <b>Обладнання для шокowego заморожування ягід.....</b>	283
11. <i>Потапов В. О., Білий Д. В.</i> <b>Технологія криосублімаційного фракціонування рослинної сировини.....</b>	285
12. <i>Потапов В. О., Цуркан М. М., Смілик М. М.</i> <b>Проблеми та перспективи застосування теплових акумуляторів для сталості функціонування національної економіки.....</b>	287
13. <i>Семенюк Д. П.</i> <b>Проблеми переходу на альтернативні холодагенти.....</b>	289
14. <i>Семенюк Д. П., Каширкін Д. В.</i> <b>Стан галузі виробництва морозива під час воєнного стану.....</b>	291
15. <i>Семенюк Д. П., Смілик М. М.</i> <b>Переваги та недоліки холодильних агентів для обладнання харчових виробництв.....</b>	293
16. <i>Семенюк Д. П., Якушенко Є. М.</i> <b>Модернізація торговельного холодильного обладнання холодагентами на основі низьковуглецевих технологій.....</b>	295
17. <i>Смілик М. М., Потапов В. О., Кузнецов І. О.</i> <b>Оптимізація холодильних акумуляторів для зберігання продуктів в умовах нестабільного енергопостачання.....</b>	297
18. <i>Семенюк Д. П., Якушенко Є. М.</i> <b>Перспективні напрями підвищення безпеки застосування аміаку, як холодильного агента.....</b>	299

Наукове електронне видання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

## **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

**МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

6 листопада 2024 р.

Відповідальні за випуск:	Ю.М.Хандола, О.О.Мірошник, О.В.Петренко, О.М. Жданович
Комп'ютерна верстка:	В.Пазій В.Гузенко М.Чорна М.Смілик С.Литвиненко
Техн. редактор	О.М. Жданович

· Підп. до друку 6.11.2024 р. Об'єм даних 30,5 Мб.  
·

Державний біотехнологічний університет  
Вул. Алчевських, 44, Харків, 61002