

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
і.м. С. З. ГЖИЦЬКОГО



**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ
РЕСУРСОЩАДНІСТЬ**

ТРАДИЦІЙНА ТА ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА

МАТЕРІАЛИ

XIV-ої Міжнародної науково-практичної конференції
**«Енергоефективність, ресурсощадність, традиційна та
відновлювана енергетика»**
присвяченій 25-річчю кафедри енергетики

8-10 жовтня 2025 р.

ЛЬВІВ 2025

Енергоефективність, ресурсощадність, традиційна та відновлювана енергетика: матеріали XIV Міжнар. наук. конференції (Львів, 08-10 жовтня 2025 р.) / Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького : За заг. ред. І. О. Парубчака. Львів : Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, 2025. 78 с.

У збірнику представлені матеріали міжнародної наукової конференції за результатами досліджень щодо підвищення рівня енергоефективності народного господарства, використання відновлювальних джерел енергії, розвитку електроенергетики тощо.

Матеріали призначені для наукових співробітників, викладачів, студентів й аспірантів вищих навчальних закладів, фахівців підприємств різної організаційно-правової форми.

Відповідальність за зміст наданих матеріалів, точність наведених даних та відповідність принципам академічної доброчесності несуть автори.

Матеріали видані в авторській редакції.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

І. Парубчак, ректор Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, почесний голова

Співголови:

В. Боярчук, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

М. Медиковський, Національний університет «Львівська політехніка»

Члени комітету:

Т. Нурек, Варшавський університет наук про життя, Польща

Б. Дрозд, Варшавський університет наук про життя, Польща

С. Сосновські, Вища школа інженерії та економіки в Жешуві, Польща

С. Курпаска, Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллантая, Польща

Т. Якубовські, Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллантая, Польща

Р. Конєчни, Університет кардинала Стефана Вишинського, Польща

А. Томпоровські, Університет технології та природничих наук, Польща

Й. Падгуркас, Університет Вітаутаса Великого, Литва

Г. Валовські, Інститут технологій і наук про життя, Польща

А. Конюши, Західнопоморський технологічний університет у Щецині, Польща

Я. Маречек, Сільськогосподарський університет імені Менделя в Брно, Чеська Республіка

В. Головка, Національний університет «Київський політехнічний інститут»

А. Чабан, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

І. Щур, Національний університет «Львівська політехніка»

В. Чумакевича, Національний університет «Львівська політехніка»

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

С. Ковалишин, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, голова

С. Сиротюк, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, заступник голови

Члени комітету:

П. Обставські, Варшавський університет наук про життя, Польща

М. Автонюк, Варшавський університет наук про життя, Польща

Я. Алексеюк-Гаврон, Варшавський університет наук про життя, Польща

У. Малага-Тобола, Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллантая, Польща

Я. Гелжецький, Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллантая, Польща

Є. Войцеховська, Норвезький інститут біоекономічних досліджень (NIBIO), Норвегія

М. Медиковський, Національний університет «Львівська політехніка»

В. Козирський, Національний університет біоресурсів та природокористування України

П. Келбаса, Сільськогосподарський університет у Кракові, Польща

П. Фіндура, Словацький сільськогосподарський університет у Нітрі, Словацька Республіка

В. Берзан, Інститут енергетики, Молдова

В. Крушельніцка, Бидгоцька Політехніка, Польща

П. Лула, Краківський економічний університет, Польща

І. Белоев, Русенський університет імені Ангела Канчева, Болгарія

С. Самборський, Люблінська Політехніка, Польща

П. Фіндура, Словацький університет сільського господарства в Нітрі, Словаччина

О. Мірошник, Державний біотехнологічний університет

І. Роговський, Національний університет біоресурсів і природокористування України

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Боярчук Віталій, к.т.н., професор, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького (головний редактор);

Сиротюк Сергій, к.т.н., доцент, Львівський національний університет природокористування (заступник головного редактора);

Коробка Сергій, к.т.н., доцент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького (відповідальний секретар);

Бабич Михайло, к.т.н., доцент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького (відповідальний секретар);

Горбай Орест, д.т.н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка»;

Городецький Іван, к.т.н., доцент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького;

Кригуль Роман, к.т.н., доцент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій і мені С.З. Гжицького;

Станицький Тарас, старший викладач, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій і мені С.З. Гжицького;

Левонюк Віталій, к.т.н., доцент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького;

Чабан Андрій, д.т.н., професор, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького;

Дудко Ілля, асистент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій і мені С.З. Гжицького;

Засновник: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького;

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ

ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ	13
<i>Л. Червінський, д.т.н., К. Яценко, магістр ННІ ЕАЕ Національний університет біоресурсів і природокористування України</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ	14
<i>Л. Червінський, д.т.н., Я. Юхимчук, магістр ННІ ЕАЕ Національний університет біоресурсів і природокористування України</i>	
EUTROFIZACJA I REWITALIZACJA EKOSYSTEMÓW WODNYCH	15
<i>R. Konieczny, dr hab. inż., prof. uczelni Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa</i>	
ROZPUSZCZALNOŚĆ TLENU W UKŁADZIE NACZYŃ POŁĄCZONYCH SYSTEMU AERATORA WODY	16
<i>R. Konieczny, dr hab. inż., prof. uczelni Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa</i>	
OSADY Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO BAZĄ DO WYTWARZANIA PRODUKTÓW NAWOZOWYCH W INNOWACYJNEJ TECHNOLOGII BIOROL	18
<i>Mgr inż. Bożena Chmielina – Ekotechnologie s.c., J. Kondrat – Ekotechnologie s.c., Dr hab. inż. Adam Koniuszy, prof. ZUT, – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie</i>	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У СУЧАСНИХ РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ	19
<i>Л. Колодійчук, к.т.н., ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»</i>	
РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗУМНОГО ІНКУБАТОРА ЗІ СИСТЕМОЮ БЕЗПРОВІДНОГО КОНТРОЛЮ	20
<i>Л. Колодійчук, к.т.н., ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»</i>	
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНВЕСТИЦІЙ У ВІДНОВЛЮВАНУ ЕНЕРГЕТИКУ	21
<i>Г. Сиротюк, к.е.н. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького</i>	
ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ	23
<i>К. Янковська, к.е.н., Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Ґжицького</i>	

РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ У СИСТЕМАХ ПНЕВМОПРИВОДІВ 25

М. Михалюк, к.,т.,н.,

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького

OPTIMALIZACJA PRODUKCJI BIOMASY DLA WYSOKOBIAŁKOWYCH SZCZEPÓW MIKROALG 26

Dr hab. Małgorzata Hawrot-Paw, prof. ZUT; dr hab. inż. Adam Koniuszy, prof. ZUT

Katedra Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska

THE USE OF RENEWABLE ENERGY AS A FACTOR IN ENSURING ENERGY SECURITY 27

O. Bielan

Doctor in Economics, University of Economics – Varna

СЕКЦІЯ 2. ТЕПЛО- ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

ГІБРИДНІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛА: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ 31

О. Кузь, аспірант

Національного університету «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДУКЦІЙНИХ СТРУМІВ 32

В. Головка д-р.т.н., В. Міхалін аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ КОЛИВАНЬ СТРУНИ У В'ЯЗКО-ПРУЖНОМУ ІЗОТРОПНОМУ СЕРЕДОВИЩІ 33

А. Чабан, д.т.н., Т. Михайлович, к.т.н.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна

ВПЛИВ ВОЛОГОПОГЛИНАННЯ НА ЕЛЕКТРИЧНУ МІЦНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛІВ 34

О. Какула, старший викладач

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна

ВПЛИВ ВИБОРУ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ МОДЕЛЮВАННЯ ХВИЛЬОВИХ ПРОЦЕСІВ У ДОВГИХ ЛІНІЯХ 35

В. Левонюк, к.т.н., Т. Михайлович, к.т.н.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ СИСТЕМАХ З АСИНХРОННИМИ ТА СИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ	36
<i>С. Сербан, асистент</i>	
<i>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького</i>	
ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ	37
<i>Д. Гречин, к.т.н., І. Дробот М. Гошко, к.т.н., Р. Левус, магістр</i>	
<i>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького</i>	
ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧЕЙ ЗА ДАНИМИ АКТИВНОГО ТА ПАСИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТІВ	38
<i>Я. Марущак, д.т.н., І. Дробот,</i>	
<i>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДНОЇ ЛАМПИ “ECOLUX”	39
<i>М. Гошко¹, к.т.н., Т. Гошко², к.е.н., І. Дробот¹</i>	
<i>¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького</i>	
<i>²Національний університет “Львівська політехніка”</i>	
ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПІД РІЗНИМ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ	40
<i>Л. Червінський, д.т.н., О. Макода</i>	
<i>Національний університет біоресурсів і природокористування України</i>	
ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ	42
<i>С. Дудніков, А. Серета, к.т.н., С. Попадченко, магістр</i>	
<i>Державний біотехнологічний університет, м. Харків</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ Й ПОРІВНЯННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ SI-C ТА LI-ION	43
<i>Р. Оксенич, аспірант, О. Тоберт, аспірант,</i>	
<i>Державний біотехнологічний університет</i>	
СУЧАСНІ ЗАХОДИ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ 10 (6)-0,4 КВ	44
<i>С. Попадченко, магістр, С. Дудніков, к. т. н.</i>	
<i>Державний біотехнологічний університет</i>	
АГРЕГАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ	45
<i>О. Котляр, магістрант, О. Мороз, д.т.н.,</i>	
<i>Державний біотехнологічний університет</i>	

ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СПОРУДИ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ 46

Р. Кригуль к.т.н.¹, С. Шаповал д.т.н.², С. Мисак³, Б. Гассовський, магістр¹

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького

²Національний університет “Львівська політехніка”

³Головний фахівець ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС»

ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ 47

М. Бабич, к. т. н., С. Медвідь, бакалавр

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

MICROGRID ЯК ПЛАТФОРМА ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ 48

О. Окушко, к.т.н., І. Радько, к.т.н., В. Наливайко, к.т.н., Д. Сорокін, к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РЕМОНТНИХ РОБІТ 49

О. Окушко¹, к.т.н., П. Ковтун²,

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,

²ВСП «Немішаєвський фаховий коледж НУБіП України»

СЕКЦІЯ 3. ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

АНАЛІЗ РОБОТИ ГІДРОАКУМУЛОВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ІННОВАЦІЙНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ РІШЕННЯМИ 51

В. Головка¹, д.т.н., Р. Семененко², аспірант,

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

²Інститут відновлюваної енергетики НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 53

С. Шаповал¹, д.т.н., Ю. Пришляк¹, аспірант, М. Касинець¹, к.т.н.,

Р. Кригуль², к.т.н.,

¹Національний Університет «Львівська політехніка»

²Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕЛІОСУШАРОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСУШЕНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ 55

С. Коробка¹, к.т.н., І. Стукалець¹, к.т.н., О. Болтянський², С. Баранович¹, к.т.н., Б. Болтянський², к.т.н., М. Підгурський, бакалавр¹

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

- РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОСКОГО ДЗЕРКАЛЬНОГО КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ГЕЛІОТЕРМІЧНИХ УСТАНОВОК** 57
 С. Коробка¹, к.т.н., В. Гальчак², к.ф.-м.н., І. Стукалець¹, к.т.н., О. Болтянський², Я. Біль¹, бакалавр
¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького
²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
- ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПЛАСКОГО СОНЯЧНОГО ПОВІТРЯНОГО ГЕЛІОКОЛЕКТОРА З ХВИЛЯСТОЮ ПОГЛИНАЮЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ** 60
 С. Коробка¹, к.т.н., І. Стукалець¹, к.т.н., С. Баранович¹, к.т.н., Б. Болтянський², к.т.н., В. Клемко¹, бакалавр
¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького
²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
- ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ СТРУКТУРИ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ** 63
 С. Сиротюк¹, к.т.н., Т. Станицький¹, ст. викладач, І. Дудко¹, асистент, О. Болтянський², Б. Болтянський², к.т.н.,
¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького
²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
- ВКЛАД СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА У РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ** 65
 В. Лобойченко^{1, 2}, д.т.н., М. Соломчук², здобувачка вищої освіти
¹Universidad de Sevilla (Spain),
²Луцький національний технічний університет
- СТРУКТУРНА ПЕРЕБУДОВА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ** 66
 С. Сиротюк¹, к.т.н., Т. Станицький¹, ст. викладач, І. Дудко¹, асистент, О. Болтянський², Б. Болтянський², к.т.н.,
¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького
²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
- МЕТОД КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ АКУМУЛЯТОРА В РОЗУМНІЙ МІКРОМЕРЕЖІ** 67
 М. Медиковський, д.т.н., М. Мельник аспірант
 НУ «Львівська політехніка»

THE INTERMITTENCY PHENOMENON IN THE CONTEXT OF WIND ENERGY USE 69

M. Herkowiak¹, B. Dybek¹, G. Wałowski¹, S. Syrotyuk², T. Stanytskyy², I. Dudko²,

¹Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute, Falenty, Poland

²Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv

APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS (IoT) IN WIND ENERGY PRODUCTION 70

K. Konieczna¹, G. Wałowski², S. Syrotyuk³, T. Stanytskyy³, I. Dudko³,

¹Warsaw University of Technology, Faculty of Electronics and Information Technology

²Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute, Falenty

³Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv

WIND TURBINES AND FARMS USING AI FOR ENERGY STORAGE 71

P. Radek¹, G. Wałowski², S. Syrotyuk³, T. Stanytskyy³, I. Dudko³,

¹Department of Optoelectronics, Faculty of Electrical Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

²Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute, Falenty,

³Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГЕЛІОСУШАРКИ НА ОСНОВІ СКЛОПАКЕТІВ 72

С. В. Коробка, к.т.н., І. Г. Стукалець, к.т.н.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ З ВИМІРЮВАННЯ ТЕМНОВИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ 73

С. В. Коробка, к.т.н., І. Г. Стукалець, к.т.н., С. Баранович, к.т.н., У. Дзуль, бакалавр

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ СИСТЕМИ ФОТОМОДУЛЬ-АКУМУЛЯТОР 75

С. В. Коробка, к.т.н., І. Г. Стукалець, к.т.н., Р. Б. Шеремета, к.т.н., А. Жолобка, бакалавр

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

**СЕКЦІЯ 1.
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ,
РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ**

ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ

*Л. Червінський, д.т.н., К. Яценко, магістр ННІ ЕАЕ
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

У сучасному світі, де ідентифікація та брендування продукції мають велике значення, лазерне маркування постає як високоефективний і надійний інструмент. Ця технологія, у рамках якого використовується сфокусований промінь світла, дозволяє наносити на вироби чіткі, довговічні та стійкі до зношування позначення. Від серійних номерів і штрих-кодів до складних логотипів і декоративних елементів, лазерне маркування відкриває безмежні можливості для персоналізації та відстеження продукції в різних галузях промисловості.

Ширина лінії лазерного маркування може бути менше 12µm, а глибина лінії може бути менше 10µm. Лазерний промінь може розмічати поверхню дрібних деталей у міліметрах. Лазерне маркування може легко використовувати комп'ютер для автоматичного керування графікою та тепловими слідами, має високу швидкість маркування, низькі експлуатаційні витрати, відсутність забруднення та інші характеристики, що може значно покращити якість маркованих продуктів.

Завдяки своїй точності та контрольованості, лазерне маркування забезпечує високу якість нанесених зображень, зберігаючи при цьому цілісність матеріалу. Відсутність механічного контакту виключає ризик пошкодження поверхні, а стійкість нанесених позначок до стирання, хімічних впливів і екстремальних температур гарантує їхню довговічність протягом усього життєвого циклу виробу. Лазерне маркування вирізняється великою швидкістю роботи, універсальністю застосування на різних матеріалах (метал, пластик, скло тощо) та можливістю автоматизації процесу.

Саме ці переваги роблять лазерне маркування незамінним рішенням для маркування окремих виробів в сільському господарстві, аерокосмічній, автомобільній, медичній і багатьох інших сферах.

Бібліографічний список:

1. Пухальська, Г.В., & Порвін, І.Е. (2020). Лазерне маркування. Тези доповідей науковопрактичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 21-22.
2. Котляров, В.П., & Киященко, О.М. (2017). Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України. Наукові вісті НТУУ «КПІ»: міжнародний науково-технічний журнал, 1(111). 94-105. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24092>.
3. Савченко, О.М. (2020). Фізичні процеси при взаємодії лазерного CO₂-випромінювання з матеріалом. Наукові записки: Зб. наук. праць, 2(61), 86-93.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ

*Л. Червінський, д.т.н., Я. Юхимчук, магістр ННІ ЕАЕ
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Звичайна екстракція ефірних олій дорога і займає багато часу. Ультразвукова екстракція дає більш високі виходи і чудову якість екстракту.

Оскільки багато органічних сполук мають тенденцію до розкладання при високих стійких температурах, промисловість робить крок вперед до використання альтернативних м'яких методів обробки, які дають кращі результати екстракції (вища якість, вищі виходи).

Ультразвукова гідродистиляція – це м'який, але високоефективний метод екстракції, який використовується для виробництва високоякісних ефірних олій.

Переваги ультразвукового виробництва ефірної олії.

Висока ефективність екстракції: Екстракція за допомогою ультразвукового апарату зондового типу ізолює ефірні олії ефективніше, ніж традиційні методи екстракції, такі як дистиляція з парою або екстракція розчинником. Це пов'язано з тим, що звукові хвилі викликають кавітацію в рідині, що допомагає розщепити клітинні стінки рослинного матеріалу і вивільнити більше ефірної олії.

Коротший час екстракції: Ультразвукова екстракція дозволяє витягти ефірні олії за набагато коротший час, ніж традиційні методи екстракції. Це пов'язано з тим, що інтенсивні звукові хвилі, що генеруються ультразвуковим зондом, можуть глибше проникнути в рослинний матеріал, порушити рослинну клітину з надзвичайною ефективністю і, отже, швидше та ефективніше екстрагувати ефірну олію.

Поліпшення якості ефірної олії: Оскільки ультразвукова екстракція є нетермічною обробкою, вона може виробляти ефірні олії вищої якості, ніж традиційні методи екстракції. Це пов'язано з тим, що ультразвукові хвилі можуть екстрагувати ефірну олію, не пошкоджуючи ніжні ароматичні сполуки, які надають олії аромат і терапевтичні властивості

Енергоефективність. Ультразвукова екстракція є енергоефективним методом екстракції в порівнянні з традиційними методами, такими як парова дистиляція, яка вимагає багато енергії для виробництва пари.

Екологічна чистота: Ультразвук – це чистий та екологічно чистий метод екстракції, оскільки він не вимагає використання розчинників або хімічних речовин, які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища. Ці переваги перетворюють ультразвукову екстракцію ефірної олії на високоефективну та економічну технологію.

EUTROFIZACJA I REWITALIZACJA EKOSYSTEMÓW WODNYCH

*R. Konieczny, dr hab. inż., prof. uczelni
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa, Polska*

Eutrofizacja wód stojących i płynących jest identyfikowana ze zjawiskiem wzrostu żyzności wód w pierwiastki biogenne azotu i fosforu. W środowisku przyrodniczym jej naturalny proces jest długoterminowy i prowadzi do zrównoważonego rozwoju ekosystemu wodnego. W ostatnim stuleciu w wyniku rolniczej, przemysłowej i ogólnogospodarczej działalności człowieka proces eutrofizacji wód uległ gwałtownemu przyspieszeniu prowadząc, szczególnie w jeziorach i sztucznych zbiornikach wody, do masowych zakwitów glonów i sinic, zaniku zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie nadosadowej, w tym do nadmiernego wzrostu liczby bakterii beztlenowych i produkcji siarkowodoru. Zabiegi zmierzające do zrównoważonego rozwoju ekosystemów wód stojących i płynących, poprzez ograniczenie niepożądanych skutków eutrofizacji, w pierwszym etapie działań mają zminimalizować dopływ substancji biogennych do wody ze zlewni bezpośredniej i pośredniej. Kolejnym etapem działań w środowisku naturalnym na rzecz poprawy stanu jakości wody jest bezpośrednia ingerencja w zasoby wodne metodami technicznymi, chemicznymi oraz polegającymi w wodzie na manipulowaniu składem gatunkowym roślin i zwierząt. Przy czym w poprawie stanu jakości wody brak odcięcia lub znacznego zminimalizowania dopływu źródeł zanieczyszczeń ze zlewni do wód powierzchniowych jest uważane przez wielu specjalistów z zakresu rekultywacji wód za bezzasadne. Ze względu na pojawiające się w sezonach letnich deficyty tlenu rozpuszczonego w wielu naddennych wodach płynących i stojących na szczególną uwagę dla organizmów wodnych w poprawie stanu jakości wody zasługują aeratory wody funkcjonujące w układzie naczyń połączonych. Zaletą stosowania w poprawie jakości wód aeratorów wody działających w układzie naczyń połączonych jest natychmiastowe zapewnienie warunków tlenowych organizmom wodnym w strefie bezpośredniego oddziaływania systemu aeracji oraz odgazowanie wody z produktów gazowych beztlenowego rozkładu materii dennej.

Celem opracowania jest zaznajomienie ze skutkami procesu eutrofizacji otwartych powierzchniowych wód płynących i stojących oraz z wybranymi metodami poprawy stanu jakości wody przeznaczonymi w środowisku przyrodniczym do zapewnienia warunków życia i rozwoju organizmom wodnym.

ROZPUSZCZALNOŚĆ TLENU W UKŁADZIE NACZYŃ POŁĄCZONYCH SYSTEMU AERATORA WODY

*R. Konieczny, dr hab. inż., prof. uczelni
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa, Polska*

Celem opracowania jest wstępna analiza możliwości nasycania wody tlenem w powietrzu przez system dowolnego typu aeratora wody pobierającego i transportującego w układzie naczyń połączonych wodę ze strefy przypowierzchniowej do strefy naddennej.

Metodyka badań

Wstępną analizę możliwości nasycania wody tlenem w powietrzu przez system dowolnego typu aeratora działającego w układzie naczyń połączonych dokonano na bazie analizy porównawczej stanu rzeczywistego i teoretycznego nasycenia wody tlenem mającej bezpośredni kontakt z powietrzem atmosferycznym o ciśnieniu 101325 Pa. Do wstępnej analizy możliwości systemu dowolnego typu aeratora działającego w układzie naczyń połączonych wykorzystano za okres czerwiec-sierpień lat 2009-2024 dane tlenu rozpuszczonego w wodzie głęboczka wzorcowego (N 53°25'51.8", E 18°44'53.6") jeziora Rudnickiego Wielkiego [Rudnickie Wielkie 2025] zlokalizowanego w miejscowości Grudziądz na terenie Polski, średnią miesięczną temperaturę powietrza ze stacji meteorologicznej Toruń [IMGW 2009-2024] oddalonej od wzorcowego głęboczka jeziora o 44,7 km oraz dane maksymalnej rozpuszczalności tlenu w wodzie destylowanej przy jej bezpośrednim kontakcie z powietrzem o zawartości 20,9% tlenu w zakresie temperatur od 0 do 39°C [Dojlido 1995]. W odniesieniu do danych maksymalnej rozpuszczalności tlenu w powietrzu do analizy porównawczej skuteczności tlenowej systemu aeratora wody funkcjonującego w układzie naczyń połączonych sporządzono, za pomocą programu komputerowego Grapher wersja 1.05, wielomianowy model statystyczny o współczynniku determinacji $R^2=0.999992$:

$$y = 0,00000137852 \cdot x^4 - 0,000174088 \cdot x^3 + 0,0102123 \cdot x^2 - 0,422768 \cdot x + 14,629$$

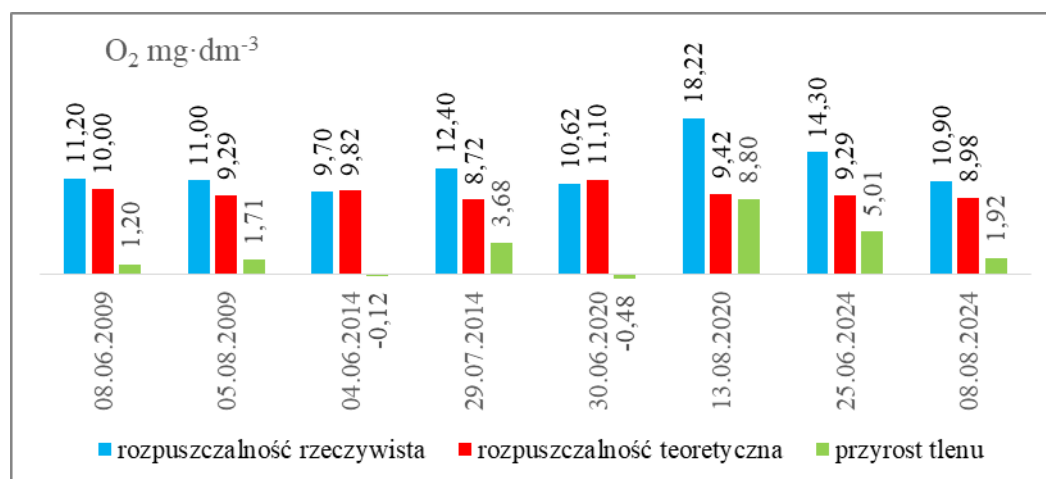
gdzie:

y – zmienna stanu nasycenia wody destylowanej tlenem O₂ pod ciśnieniem 101325 Pa i przy kontakcie wody z powietrzem atmosferycznym [mg·dm⁻³]
x – temperatura powietrza [°C].

Wyniki badań

Wstępną analizę możliwości nasycania wody przypowierzchniowej tlenem w powietrzu przez system dowolnego typu aeratora działającego w układzie naczyń połączonych przeprowadzono na podstawie rys. 1. Z zestawienia zbiorczego danych tlenu rozpuszczonego w wodzie wynika, że na styku powierzchni jeziora Rudnickiego Wielkiego z powietrzem stan tlenowy wody stanowił zakres od 9,70 do

18,22 mg·dm⁻³, a teoretyczną maksymalną rozpuszczalność tlenu w wodzie charakteryzował zakres od 8,72 do 11,10 mg·dm⁻³.



Rys. 1. Zależności zmian rozpuszczalności tlenu w wodzie przypowierzchniowej głęboczka wzorcowego jeziora Rudnickiego Wielkiego w kontakcie z powietrzem. Opracowanie własne za okres czerwiec-sierpień lat 2009-2024.

Rzeczywista rozpuszczalność tlenu przy powierzchni jeziora była wyższa o 1,2-1,8 mg·dm⁻³ względem wartości teoretycznych jak i woda w sposób naturalny może zostać nasycona tlenem w kontakcie z powietrzem. Wyjątek stanowił czerwiec 2014 i 2020 roku, w którym rzeczywista zawartość tlenu rozpuszczonego przy powierzchni głęboczka wzorcowego jeziora Rudnickiego Wielkiego była mniejsza względem wartości teoretycznych o 0,12 i 0,48 mg·dm⁻³, co można interpretować z możliwością uzupełnienia wody tlenem atmosferycznym przez system aeratora działającego w układzie naczyń połączonych. Przy czym należy mieć na uwadze, że wyższe od teoretycznych wartości tlenu rozpuszczonego w strefie przypowierzchniowej jeziora wynikają zarówno z bezpośredniego kontaktu lustra wody jeziora z powietrzem atmosferycznym, jak i z procesu fotosyntezy roślin, oddziaływania wiatru oraz retencjonowania wody w jeziorze jazem na jego odpływie [Konieczny 2025].

Podsumowanie

Z przeprowadzonej wstępnej analizy porównawczej rozpuszczalności tlenu w wodzie mającej bezpośredni kontakt z powietrzem wynika, że pobierana woda ze strefy przypowierzchniowej przez system aeratora działającego w układzie naczyń połączonych jest przesycona lub bliska nasycenia tlenem rozpuszczonym. W związku z tym proces nasycenia wód nadosadowych tlenem rozpuszczonym w wodzie przez system aeratora działającego w układzie naczyń połączonych przy poborze wody z powierzchni jeziora należy upatrywać przede wszystkim ze stanem tlenowym wody przypowierzchniowej, a nie z nasycaniem wody tlenem przez układ elementów roboczych systemu aeratora wody.

OSADY Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO BAZĄ DO WYTWARZANIA PRODUKTÓW NAWOZOWYCH W INNOWACYJNEJ TECHNOLOGII BIOROL

Mgr inż. Bożena Chmielina – Ekotechnologie s.c.

J. Kondrat – Ekotechnologie s.c.

*Dr hab. inż. Adam Koniuszy, prof. ZUT, – Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Gospodarka obiegu zamkniętego stanowi kluczowy element zrównoważonego rozwoju sektora agro-przemysłowego. W prezentacji przedstawiono technologię BIOROL jako innowacyjne rozwiązanie w zakresie przetwarzania odpadów przemysłowych na wartościowe produkty, minimalizując negatywny wpływ na środowisko. Projekt realizowano przy wsparciu finansowym Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Technologia pozwala na wykorzystanie uwodnionych osadów z zakładowych oczyszczalni ścieków, surowców i produktów nie nadających się do spożycia, a także szlamów z procesów mycia, oczyszczania i rozdrabniania z sektora agro. Źródła odpadów obejmują przemysł owocowo-warzywny (w tym ziemniaczany), produkcję spożywczą, przemysł cukierniczy, przetwórstwo masy celulozowej, papieru i tektury, jak również popioły ze spalania biomasy, torfu oraz drewna niepoddanego obróbce chemicznej.

Technologia BIOROL umożliwia przetworzenie ponad 10 000 ton odpadów rocznie w skali przemysłowej, co pozwala na uzyskanie około 4 000 ton nawozów organicznych i organiczno-mineralnych. Gotowy produkt to granulowany bionawóz o wymiarach 2-6 mm, wilgotności poniżej 15% oraz strukturze grudkowatej, idealny do zastosowań w uprawach polowych, warzywnych, owocowych oraz rekultywacji gleb zdegradowanych. Kluczowym etapem jest homogenizacja odpadów w specjalistycznych mieszarkach, po której następuje granulacja i suszenie.

Zalety technologii BIOROL to wysoka automatyzacja, łatwa obsługa na poziomie operatorskim, kompaktowa konstrukcja o niskim zapotrzebowaniu na przestrzeń, możliwość rozbudowy oraz duża efektywność energetyczna.

Odbiorcami są przedsiębiorstwa generujące odpady (osady ściekowe, popioły, osady komunalne), firmy świadczące usługi gospodarki odpadami (w tym składowiska) oraz producenci certyfikowanych nawozów biologicznych. Korzyści obejmują redukcję odpadów bezpośrednio w miejscu ich powstawania, spełnienie wymagań prawnych dotyczących emisji gazów cieplarnianych i składowania, a także uniknięcie kosztów związanych z transportem i utylizacją odpadów.

Technologia została wdrożona w firmie EKOTECHNOLOGIE S.C. zajmującej się zagospodarowaniem odpadów. Po wdrożeniu uzyskano pozwolenie środowiskowe oraz certyfikację do obrotu handlowego wytworzonymi bionawozami.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У СУЧАСНИХ РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ

*Л. Колодійчук, к.т.н.,
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»*

Сучасні житлові та комерційні будівлі характеризуються високим рівнем енергоспоживання, що зумовлено потребами в освітленні, опаленні тощо. В умовах постійного підвищення цін на енергоносії, проблема енергоефективності полягає у пошуку шляхів оптимізації енергоспоживання за допомогою сучасних електротехнологій. Це дозволить зменшити експлуатаційні витрати, а також підвищити екологічну стійкість будівель.

У ході дослідження з'ясовано, що напрямками підвищення енергоефективності розумних будинків є: **інтелектуальне освітлення та автоматизація світла; розумне керування кліматом; смарт розетки, реле та контроль приладів; інтеграція з відновлюваними джерелами енергії тощо.**

Досвід свідчить, що одним із найдоступніших методів скорочення витрат електроенергії є застосування інтелектуальних систем освітлення. Зменшити витрати на 30–40% [1] дозволяє використання розумних LED-ламп із регулюванням яскравості та кольору. Додатковий ефект супроводжується застосуванням датчиків руху чи освітленості. Клімат-контроль за рахунок розумних термостатів, дозволяє регулювати температуру на основі розкладу мешканців, погодних умов та можливість налаштування сценаріїв роботи. Економія енергії за використання підлогового опалення може сягати до 20–25%. **Автоматичне керування електроприладами, такими як розумні розетки, відіграє суттєву роль в енергоефективності, оскільки дозволяє забезпечити контроль над підключеними приладами, відстежувати споживання електроенергії; вимикати пристрої у режимі очікування (standby); працювати за розкладом; дистанційно відключати обладнання через застосунок чи голосового асистента.** Такі рішення допомагають знизити витрати на електроенергію ще на 10–15%. Одним із найбільш перспективних рішень є відновлювані джерела енергії та накопичувачі. Поєднання «розумного будинку» із сонячними панелями, вітрогенераторами малої потужності та системами акумуляції дає змогу знизити витрати на електроенергію понад 50% і зменшити залежність від централізованої мережі.

Отже, енергоефективний «розумний дім» є не лише інноваційним підходом до комфорту, але чинником зменшення витрат та збереження довкілля. Важливо, що процес впровадження може бути поетапним, від простих рішень до комплексних систем з відновлюваними джерелами енергії.

Бібліографічний список.

1. Управління освітленням в розумному домі. URL: <https://gravity.com.ua/rozumnyy-dim/upravlinnya-osvitlennyam/> (дата звернення: 25.09.2025).

РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗУМНОГО ІНКУБАТОРА ЗІ СИСТЕМОЮ БЕЗПРОВІДНОГО КОНТРОЛЮ

*Л. Колодійчук, к.т.н.,
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»*

Сучасні тенденції розвитку аграрного сектору потребують впровадження інноваційних технологій, які забезпечують підвищення ефективності та якості виробництва. Однією з ключових галузей є птахівництво, де важливим етапом є інкубація яєць. Традиційні інкубатори потребують постійного контролю з боку людини та не завжди гарантують оптимальні умови для розвитку ембріонів. Використання інтелектуальних систем автоматизації дає можливість підтримувати необхідні параметри мікроклімату (температуру, вологість, вентиляцію) з високою точністю та мінімальним втручанням оператора [1].

Щоб вирішити поставлену інженерну задачу була спроектована тестова модель розумного інкубатора (рис. 1), де запропоновано екосистему Xiaomi, що забезпечує автономність керування.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд інкубаційної камери.

Застосування згаданої екосистеми дозволило створити функціональний інкубатор з мінімальними витратами часу на налаштування. Це значно покращує оперативність реагування на зміни в середовищі. Основою такої екосистеми є шлюз, що зберігає програму інкубації в постійній пам'яті мікроконтролера.

Запропоновано систему передачі даних від інкубатора до користувача з підтримкою віддаленого керування (протокол Zigbee) та збереженням показників. З метою своєчасного вжиття заходів для усунення проблем і запобігання негативним наслідкам застосовано систему пуш-повідомлень. Проведено дослідження розробленої моделі, що включало перевірку функціональних можливостей системи, внутрішніх алгоритмів роботи, а також можливість віддаленого керування, контроль поточного стану і динаміку енергоспоживання приєднаних пристроїв. З'ясовано, що застосовувані технології роблять цей процес гнучким і доступним.

Вважаємо, що подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів керування параметрами інкубатора.

Бібліографічний список.

Габар В.Г., Якименко О.О. Інкубатор для яєць з технологією Internet of Thing [Електронний ресурс] URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/archive?id=125>

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНВЕСТИЦІЙ У ВІДНОВЛЮВАНУ ЕНЕРГЕТИКУ

Г. Сиротюк, к.е.н.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького*

Сучасний етап розвитку економіки України характеризується глибокими трансформаційними процесами, які зумовлені війною, складною політичною ситуацією, структурними кризами та необхідністю інтеграції до європейського економічного простору. В умовах енергетичної нестабільності та залежності від імпортованих ресурсів ключового значення набуває розвиток відновлюваної енергетики. Інвестиції у цю сферу відкривають нові можливості для створення стійких та економічно ефективних енергосистем. Вони дозволяють не лише зменшити енергетичні ризики, а й формувати довгострокові конкурентні переваги, підвищуючи рівень економічної безпеки держави. Водночас трансформаційний характер економіки України визначає специфіку оцінки економічної ефективності таких інвестицій, адже вони мають враховувати як короткострокові витрати, так і довгострокові ефекти для підприємств та суспільства.

Під економічною ефективністю інвестицій у відновлювану енергетику доцільно розуміти співвідношення отриманих економічних результатів (економія енергоресурсів, зниження собівартості виробництва, додана вартість у ВВП, експортний потенціал «зеленої» енергії) та витрат, пов'язаних з їх реалізацією. Для проєктів у сфері відновлюваної енергетики важливо враховувати також соціально-економічні ефекти: зниження викидів парникових газів, створення нових робочих місць, зменшення енергетичної залежності.

За даними Міжнародного енергетичного агентства, Україна здатна покривати до 20-25 % внутрішнього попиту на енергію за рахунок відновлюваних джерел [1]. Проте розвиток цієї сфери обмежується низкою факторів: висока капіталомісткість проєктів, що потребує зовнішнього фінансування; валютні ризики, зумовлені нестабільністю гривні; регуляторна невизначеність, пов'язана зі зміною правил «зеленого тарифу» та переходом до системи аукціонів; геополітичні ризики, які відлякують потенційних інвесторів.

Попри це, інвестиції у відновлювану енергетику залишаються привабливими завдяки:

- можливості отримання довгострокових доходів від продажу енергії;
- державним і міжнародним програмам підтримки («зелений» кредит, проєкти ЄБРР, Horizon Europe);
- підвищенню експортного потенціалу енергії, зокрема до країн ЄС у межах інтеграції до енергоринку ENTSO-E.

Економічні ефекти від інвестицій у відновлювану енергетику полягають у наступному:

1. Для підприємств: зниження енергетичних витрат, підвищення конкурентоспроможності, доступ до «зеленого» фінансування.

2. Для держави: диверсифікація джерел енергії, зменшення імпортозалежності, зростання податкових надходжень.
3. Для суспільства: створення нових робочих місць, покращення екологічної ситуації, зниження соціальних витрат на ліквідацію наслідків забруднення довкілля.

Для стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику використовуються комплекс інструментів державного, ринкового та інституційного характеру, що спрямовані на зменшення інвестиційних ризиків та підвищення привабливості галузі. Серед них можна виокремити:

1. Фінансово-економічні інструменти: пільгове кредитування інвестиційних проєктів у сфері ВДЕ; податкові стимули (звільнення від ПДВ чи мита на імпорт обладнання, амортизаційні пільги); державні гарантії повернення інвестицій; «зелений» тариф та система аукціонів на продаж електроенергії з відновлюваних джерел.
2. Регуляторно-правові інструменти: створення стабільної та передбачуваної нормативно-правової бази; гармонізація українського законодавства з директивами ЄС у сфері відновлюваної енергетики; спрощення процедур отримання дозволів та ліцензій.
3. Інституційні інструменти: діяльність спеціалізованих агентств (Держенергоефективність, Енергетичне співтовариство ЄС); підтримка міжнародних фінансових організацій (ЄБРР, Світовий банк, USAID, Horizon Europe); створення енергетичних кластерів і технопарків для розвитку інноваційних технологій.
4. Ринкові інструменти: торгівля «зеленими» сертифікатами; розвиток ринку вуглецевих квот і механізмів компенсації скорочення викидів CO₂; інтеграція у європейський енергетичний ринок (ENTSO-E).

Застосування цього комплексу інструментів у поєднанні з цифровими технологіями моніторингу та управління енергоресурсами дозволяє формувати сприятливий інвестиційний клімат у сфері відновлюваної енергетики та стимулювати перехід України до сталого розвитку.

Отже, інвестиції у відновлювану енергетику в умовах трансформаційної економіки України мають не лише економічне, а й стратегічне значення. Вони сприяють формуванню енергетичної незалежності, зниженню вразливості економіки до зовнішніх викликів та інтеграції у європейський простір. Оцінка економічної ефективності таких інвестицій має враховувати не лише фінансові показники, а й соціально-економічні та екологічні ефекти.

Бібліографічний список

1. Міжнародне енергетичне агентство (IEA). World Energy Outlook. Paris: IEA, 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ

К. Янковська, к.е.н.,

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

Сучасні глобальні виклики, пов'язані з енергетичною безпекою, зростанням цін на викопні енергоносії та необхідністю зниження викидів парникових газів, стимулюють пошук альтернативних джерел енергії. [2] Для України, яка має значний аграрний потенціал, особливого значення набуває розвиток біоенергетики. Використання біомаси дозволяє не лише зменшити залежність від імпортованих енергоресурсів, а й сприяє раціональному використанню відходів сільськогосподарського виробництва, створенню нових економічних можливостей та розвитку місцевої економіки.

В умовах війни питання енергетичної безпеки стає ще більш критичним: руйнування енергетичної інфраструктури, перебої з постачанням палива та зростання витрат на відновлення змушують шукати стабільні, доступні та відновлювані джерела енергії. [1]

Саме біоенергетика здатна забезпечити не лише суттєве скорочення витрат на енергоресурси, але й підвищити енергетичну незалежність держави, зменшити негативний вплив на довкілля та створити нові робочі місця, що особливо важливо для підтримки економіки та відновлення територій у післявоєнний період.

Економічна доцільність впровадження біоенергетичних технологій визначається за такими критеріями:

- вартість виробництва енергії з біомаси порівняно з традиційними видами палива;
- строк окупності інвестицій;
- рівень економії валютних витрат на імпорт палива;
- створення доданої вартості на місцевому рівні;
- соціально-економічний ефект, включаючи зайнятість населення. [3]

За даними профільних досліджень, щорічний енергетичний потенціал біомаси в Україні оцінюється у 25–30 млн т умовного палива. Основними джерелами є:

- відходи сільськогосподарських культур (солома зернових, стебла кукурудзи, лушпиння соняшника);
- деревна біомаса (лісосічні рештки, тріска, відходи деревообробки);
- біогаз із відходів тваринництва та полігонів твердих побутових відходів.

Використання лише половини цього потенціалу дало б змогу замінити до 15 млрд м³ природного газу щорічно.

Вартість теплової енергії, виробленої з біомаси, на 20–30 % нижча від аналогічної енергії, отриманої з природного газу. Інвестиції у біоенергетичні котельні окупаються у середньому за 3–5 років. [2]

Незважаючи на високий потенціал, розвиток біоенергетики в Україні гальмується низкою чинників:

- недостатня інфраструктура збору та зберігання біомаси, що ускладнює її ефективне використання;
- значні початкові капіталовкладення, які потребують довгострокових інвестицій та державної підтримки;
- нестабільність державної політики щодо відновлюваної енергетики, зокрема часті зміни правил і тарифів;
- обмеженість фінансових механізмів підтримки проєктів, що стримує участь приватних інвесторів;
- недостатня обізнаність місцевих громад і підприємців про переваги біоенергетики, що знижує рівень ініціативності на місцях;
- негативний вплив війни, який призводить до руйнування енергетичної та транспортної інфраструктури, ускладнює логістику, підвищує ризики для інвесторів і відволікає державні ресурси на першочергові потреби оборони.

У таких умовах розвиток біоенергетики є не лише інструментом енергетичної незалежності та економічного зростання, а й важливим фактором підвищення стійкості країни в умовах воєнних викликів і майбутнього відновлення.

Біоенергетика в Україні має значний потенціал для зниження витрат на енергоресурси, підвищення рівня енергетичної безпеки та сталого розвитку аграрних регіонів. Економічна доцільність впровадження біоенергетичних технологій підтверджується нижчою вартістю виробленої енергії, коротким строком окупності інвестицій та мультиплікативним ефектом для місцевої економіки.

Бібліографічний список

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Аналітичні матеріали. – Київ, 2023.
2. Біоенергетична асоціація України. Оцінка потенціалу біомаси в Україні. – Київ, 2022.

РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ У СИСТЕМАХ ПНЕВМОПРИВОДІВ

М. Михалюк, к.,т.,н.,

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького

Широке застосування пневматичних приводів і систем управління пояснюється їх перевагами у порівнянні з іншими засобами автоматизації. Перш за все, надійність функціонування, яка сама по собі відіграє важливу роль в сучасних автоматизованих системах управління. Перевагою пневматичних систем є простота конструкції і відносна легкість їх експлуатації та обслуговування. Під час руху поршня тиск може монотонно збільшуватися (знижуватися) або коливатися в залежності від співвідношення конструктивних параметрів пристрою. Після того як поршень завершить робочий такт, тиск в порожнині, з'єднаної з магістраллю, підвищується до значення, обумовленого технологічним процесом. У другій порожнині тиск знижується майже до атмосферного. Моменти закінчення цих процесів, як правило, не збігаються. Після завершення зазначеної технологічної операції пристрої керування знову перемикається і у тій же послідовності починається зворотній рух поршня, при цьому функції порожнин виконавчого пристрою міняються.

Визначення часу спрацьовування пневматичного клапана не відрізняється від визначення часу спрацьовування приводу виконавчого механізму. У більшості випадків часом спрацьовування розподільника в нормальних умовах можна знехтувати як незначним значенням в порівнянні з часом робочого циклу. Час поширення хвилі тиску від розподільника до робочого циліндра визначається за формулою:

$$t_2 = \frac{l_T}{a},$$

де l_T – довжина трубопроводу; a – швидкість розповсюдження звуку у повітрі (341 м/с при $T=290$ °К).

Час заповнення робочої порожнини стисненим повітрям визначається рівнянням:

$$t_3 = 3.62 \cdot 10^{-3} \frac{V_{01}}{\mu f} [\Psi_1(\sigma_2) - \Psi_1(\sigma_1)]$$

де V_{01} – початковий об'єм робочої порожнини і трубопроводу, що з'єднує її з розподільником, м³; $\sigma_1 = \frac{P_1}{P_M}$ і $\sigma_2 = \frac{P_2}{P_M}$ – початковий і кінцевий тиск в робочій порожнині. На початку процесу тиск у порожнині атмосферний ($\sigma_1 = \frac{P_a}{P_M} = \sigma_a$)

Таким чином модель важку для розрахунку заміняють більш простою, яка у порівнянні є простішою у розрахунках. Підготовчий період охоплює проміжок часу, коли тиск в робочій порожнині зростає, а тиск у порожнині травлення зменшується, причому ці процеси відбуваються до тих пір, поки в обох порожнинах не встановиться різниця тисків, при якому рушійна сила подолає сили опору приводу і поршень буде переміщатися.

OPTYMALIZACJA PRODUKCJI BIOMASY DLA WYSOKOBIAŁKOWYCH SZCZEPÓW MIKROALG

*Dr hab. Małgorzata Hawrot-Paw, prof. ZUT; dr hab. inż. Adam Koniuszy, prof. ZUT
Katedra Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii, Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny, ul. Papieża Pawła VI 1, 71-459 Szczecin, Polska*

Mikroalgi są wykorzystywane w wielu sektorach przemysłu, w tym w suplementach diety, farmacji, kosmetyce, do produkcji energii oraz biopaliw. W rolnictwie pełnią rolę bionawozów i biopestycydów, poprawiają żyzność gleby i zwiększają odporność roślin, ograniczając jednocześnie potrzebę stosowania syntetycznych środków chemicznych. Ta wszechstronność podkreśla ich znaczenie w zrównoważonych systemach produkcji żywności i bioenergii.

Biomasa mikroalg jest również cennym źródłem związków bioaktywnych, takich jak polifenole, karotenoidy, makro- i mikroskładniki, polisacharydy, lipidy oraz przede wszystkim białka. W wielu gatunkach zawartość białka przekracza 50% suchej masy, co przewyższa poziom notowany w tradycyjnych roślinnych i zwierzęcych źródłach białka. Wydajność białka zależy jednak w dużym stopniu od parametrów uprawy mikroglonów, takich jak skład i rodzaj pożywki, intensywność i czas naświetlania hodowli, stężenie dwutlenku węgla, temperatura oraz pH. Aby wykorzystać potencjał mikroalg jako alternatywnego źródła białka dla żywności i pasz, konieczne jest opracowanie efektywnych technologii produkcji w skali przemysłowej. Opracowano i zbudowano kontenerowy, w pełni zautomatyzowany system hodowli, który umożliwia precyzyjną kontrolę parametrów wzrostu, w tym temperatury, pH, natężenia światła i dostarczania składników odżywczych. System ma charakter modułowy, co pozwala na elastyczne skalowanie produkcji i stabilną eksploatację w kontrolowanych warunkach. Kluczowym etapem jest wybór szczepów mikroalg o największej zawartości białka i określenie dla nich optymalnych warunków wzrostu.

W naszych badaniach analizowano 20 szczepów mikroalg, oceniając wpływ rodzaju podłoża (BG-11, F/2, Kühl, Z8 w różnych modyfikacjach, ES, CN), temperatury hodowli (15, 20, 25, 30, 35 °C), wartości pH podłoża hodowlanego (6, 7, 8) oraz czasu produkcji biomasy. Większość szczepów najlepiej rosła w podłożach Kühl, BG-11 lub F/2. Optymalna temperatura hodowli wynosiła zazwyczaj 20 - 25 °C, a preferowany zakres pH mieścił się w przedziale 7 - 8, z wyjątkiem jednego szczepu wymagającego bardziej skrajnych warunków.

Optymalizacja jest procesem wieloetapowym. Uzyskane dane stanowiły podstawę do dalszych badań prowadzonych w fotobioreaktorach pierwszej fazy oraz do rozwoju protokołów hodowli w skali przemysłowej.

Badania były realizowane w ramach projektu „Opracowanie innowacyjnej technologii produkcji wysokobiałkowej paszy z biomasy mikroglonów”; współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach działania M16 „WSPÓŁPRACA” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich 2014-2020.

THE USE OF RENEWABLE ENERGY AS A FACTOR IN ENSURING ENERGY SECURITY

O. Bielan

Doctor in Economics, University of Economics – Varna

The reliance on non-renewable energy sources poses significant risks to energy security, including geopolitical tensions, supply disruptions, and environmental concerns. To address these challenges, many countries have recognized the potential of renewable energy to enhance energy security. This paper examines the impact of renewable energy consumption on energy security risk, incorporating the mediating roles of the effect of economic policy uncertainty, globalization, economic performance, and natural resources from 1990 to 2025.

Keywords: Energy security risk; Policy uncertainty; Globalization Natural resources rent; Renewable energy.

Introduction. Energy security defines both continuous energy availability and the maintenance of affordable energy costs for the population. Renewable energy introduces substantial potential to lower nations' energy security vulnerability. The decentralized system, together with its low fossil fuel use and efficient energy management features, ensures renewable power serves as an ideal solution for sustainable power supply [2]. The realization of renewable energy's complete potential for secure energy systems demands solutions to the issues of intermittency, storage capacity limitations, supply chains, necessary infrastructure development, and geopolitical factors [3]. The implementation of renewable energy systems demands financial support for well-built supply networks combined with supporting infrastructure. The logistical difficulties arise from the process of manufacturing solar panels along with wind turbines while installing energy storage systems since they depend on transportation through supply chains. Renewable power integration into electricity networks needs investments in distribution and transmission networks as well as transmission lines to secure clean power delivery [4].

The energy security index stands as the primary evaluation tool used to measure how vulnerable different nations are when facing power interruptions. Current publications, including [[6], [7]], analyze both the calculation process and the analytical value of the energy security index. Research performed by Ref. [1] evaluated how energy security affects the process of making policy choices and funding allocation for improved energy security. Research conducted by Ref. [5] evaluated the probable effects that energy security has on economic development patterns.

The method is to identify current trends in renewable energy. To achieve the goals set, modern **methods were used:** analysis, synthesis, inference, induction, analogy, systematic approach.

The control of energy policy, together with economic development, comes from this factor. Natural resources rent creates economic value, yet it generates three negative effects: resource dependency among nations, economic market instability, and border disputes between neighbors.

The results of the investigation and their discussion. The analysis using historical data shows through statistical modeling that extra natural resources do not necessarily build stable energy security over time. The essential determinants of energy security outcomes in the long term include resource management, energy infrastructure investment, and consistent policy stability. The short-term effects create distinct results from those of long-term outcomes. Energy security improves by 0.018 %, according to statistical data, when the area's natural resource level increases by 1 %. Instant benefits arrive from extracting resources combined with increased energy availability and lower energy import dependence, which explains this positive immediate outcome. After the initial period, the primary advantages of resource extraction start diminishing when market conditions change and geopolitical factors threaten energy security availability. Countries focusing exclusively on natural resources while neglecting diversification strategies for their power supplies develop economic weaknesses, describes through erratic fluctuations of their resource revenue streams.

Conclusions. This research analyzed the connection between economic policy uncertainty and natural resource rent distribution on energy security index measurement within global conditions with renewable energy involvement. The research results reveal the intricate network between economic policy unpredictability and natural resource wealth allocations and their roles in energy security, thus providing vital policy guidance to the national governments of twenty-one nations. The study highlights the fundamental relationship between stable economic policies and efficient resource management for achieving energy security during periods of globalization while nations adopt renewable energy standards.

The discovery reveals that distributing natural resource rents efficiently while promoting fairness produces enhanced energy. The effective management of natural resource rents in particular nations allows for redirecting these revenues into developing renewable power programs, advanced energy distribution networks, and advanced environmentally friendly energy research programs. The Norwegian sovereign wealth fund established with oil and gas income serves as a vital source to support renewable energy development and protect energy security over time.

The study provides significant findings about policy uncertainty's effects on natural resources, but additional research needs to study new elements to enhance insights into these energy security dynamics. New studies need to investigate the impact of international institutions together with multilateral agreements on the advancement of energy security as well as sustainable development. The Paris Agreement, together with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), set the foundations for worldwide climate change and energy transition mutual work. Research that analyzes the effects of these initiatives on governmental energy decisions and resource management practices would enable better policy decisions for governmental leaders.

References

1. Alharthi, M. Roles of trilemma in the world energy sector and transition towards sustainable energy: a study of economic growth and the environment *Energy Policy*, 170 (2022), pp. 1-9.

2. Singh, S. World energy trilemma and transformative energy developments as determinants of economic growth amid environmental sustainability. *Energy Econ*, 108 (2022), pp. 1-16.
3. Doytch N., Uctum, M. Globalization and the environmental impact of sectoral FDI *Econ Syst*, 40 (2016), pp. 582-594.
4. Balsalobre-Lorente D. The influence of economic complexity processes and renewable energy on CO2 emissions of BRICS. What about industry 4.0? *Resour Policy*, 82 (2023)
5. Milner, H. Globalization, polarization and the eroding foundations of international order. *APSA Conf* (2018), pp. 1-60
6. Wang, S. Do geopolitical risks facilitate the global energy transition? Evidence from 39 countries in the world *Resour Policy*, 85 (2023), pp. 1-24.
7. Jouvet, P. Long-term endogenous economic growth and energy transitions *Energy J*, 39 (2018), pp. 29-57.

СЕКЦІЯ 2.
ТЕПЛО- ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

ГІБРИДНІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛА: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВИКЛИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ

О. Кузь, аспірант

Національного університету «Львівська політехніка»

Сучасне будівництво потребує вентиляційних рішень із мінімальними енерговитратами та високим рівнем комфорту. Централізовані системи з рекуперацією тепла демонструють ефективність до 90 % та можуть скорочувати витрати на опалення ~19 % [1], але їхнє впровадження ускладнене великими повітропроводами та капітальними витратами.

Децентралізовані системи з мідними рекуператорами забезпечують високу тепловіддачу та гнучкість експлуатації. Вони досягають значної ефективності при компактних розмірах і можуть інтегруватися у гібридні схеми з природною вентиляцією. Однак дослідження [2] показують, що енергоефективність і комфорт у децентралізованих системах можуть суттєво залежати від правильного розподілу повітряних потоків та параметрів рекуператорів.

Крім того, важливим аспектом є сезонна адаптація роботи рекуператорів - влітку вони можуть використовуватися для попереднього охолодження припливного повітря, що додатково знижує навантаження на системи кондиціонування. Дослідження [3] підтверджують, що в холодних кліматах децентралізовані системи показують особливо високі результати завдяки можливості локального регулювання температури та вологості. Це дозволяє створювати індивідуальні мікроклімати в різних зонах будівлі без значних енерговитрат на транспортування повітря.

Важливим аспектом є також можливість поетапного впровадження таких систем у реконструйованих об'єктах, що робить їх економічно привабливими порівняно з капітальною заміною централізованих систем. Гібридний підхід дозволяє поступово нарощувати енергоефективність будівлі без критичних втручань у її структуру.

Отже, мета подальших досліджень — розробка адаптивних гібридних децентралізованих систем вентиляції з мідними рекуператорами, здатних оптимізувати енергоспоживання і підтримувати високий рівень IAQ у реальному часі.

Бібліографічний список:

1. Rashid F. L. et al. Mechanical Ventilation Strategies in Buildings. *Buildings*. 2025. Vol. 15, iss. 14. P. 2579.
2. Бундзило В., Гулай Б. Актуальність децентралізованих систем вентиляції з рекуперацією тепла: конструкції, ефективність та економічна доцільність. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction»*, 13–14 травня 2025 р.

АНАЛІЗ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДУКЦІЙНИХ СТРУМІВ

В. Головка д-р.т.н., В. Міхалін аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Традиційні вітроенергетичні установки перетворюють кінетичну енергію вітру спочатку в електричну, а потім у теплову, що супроводжується втратами енергії на кожному етапі. Пряме перетворення механічної енергії в теплову дає змогу підвищити загальний ККД установки за рахунок виключення проміжного етапу перетворення в електричну енергію. Це особливо важливо для систем локального теплозабезпечення, де електроенергія не є цільовим продуктом.

Крім того, важливою є економічна доцільність: обладнання для виробництва теплоти із використанням механічної енергії вітру є простішим і дешевшим у порівнянні з генераторами електроенергії. Також накопичення теплоти є значно ефективнішим – сучасні теплові акумулятори мають значно нижчу вартість, ніж електричні батареї еквівалентної ємності, при цьому строк їх експлуатації є тривалішим.

У роботі наведені результати експериментального дослідження роботи індукційного генератора теплової енергії, що реалізує перетворення механічної енергії обертання магнітного диска у теплову за допомогою вихрових струмів, які виникають у металевій провідній пластині під дією змінного магнітного поля. Об'єктом дослідження є процес прямого перетворення механічної енергії у теплову. Експериментальна установка складається із ротора, що містить розміщені за колом постійні магніти, який обертається над сталеву пластину. У результаті переміщення магнітного поля в провіднику індуються вихрові струми, які спричиняють нагрівання за рахунок джоулевих втрат. Досліджено вплив конструктивних і магнітних параметрів установки на величину потужності теплових втрат, зокрема, частоти зміни магнітного поля, величини магнітної індукції та відстані до пластини.

Для перевірки експериментально отриманих значень використано залежність для розрахунку потужності втрат від вихрових струмів, що враховує величину магнітної індукції, частоту зміни магнітного поля та електричні характеристики матеріалу. Порівняння теоретичних і експериментальних результатів показало, що похибка між ними становить менше 10%. Отримані результати можуть бути використані в розробці безконтактних систем нагрівання, систем рекуперації енергії, а також в енергетичних установках з прямим перетворенням механічної енергії в теплоту, зокрема для вітрових і гідравлічних турбін.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ КОЛИВАНЬ СТРУНИ У В'ЯЗКО-ПРУЖНОМУ ІЗОТРОПНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

А. Чабан, д.т.н., Т. Михайлович, к.т.н.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького, Україна*

У праці аналізуються механічні коливальні процеси в провідному елементі потенційної довгої високовольтної лінії електропередачі. Як приклад, ми розглядаємо коливання проводу довгої лінії між двома пілонами (опорами). З точки зору прикладної математики коливання такого провідника можна приблизно розглядати як коливання струни в нелінійному в'язко-пружному середовищі. Для цього було запропоновано математичне моделювання нелінійних коливань струни на основі модифікованого принципу Гамільтона-Остроградського [1]. На основі цієї моделі було проаналізовано ряд механічних перехідних процесів у провідному елементі лінії електропередачі. Саме нелінійність коливальних процесів пов'язана із зовнішнім розсіюванням: пориви вітру, сніг, обледеніння, дощ тощо.

З точки зору прикладної математики математична модель за таких умов створює складну початково-граничну (мішану) нелінійну задачу.

Метою нинішньої праці є математичне моделювання нелінійних коливних процесів проводу довгої лінії електропередачі в нелінійному в'язко-пружному середовищі.

Запишемо рівняння коливань струни [1]

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{N}{\rho S} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\xi}{\rho S} \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2} - \frac{v_e}{\rho S} \left| \frac{\partial u}{\partial t} \right|^{n-2} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{\rho S} f_o, \quad (1)$$

де u – переміщення струни, N, ρ, S, v_e, n, ξ – параметри струни.

Для розв'язання рівняння (1) представимо крайові та початкові умови до (1)

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0, \quad u(0, t) = u(l, t) = 0. \quad (2)$$

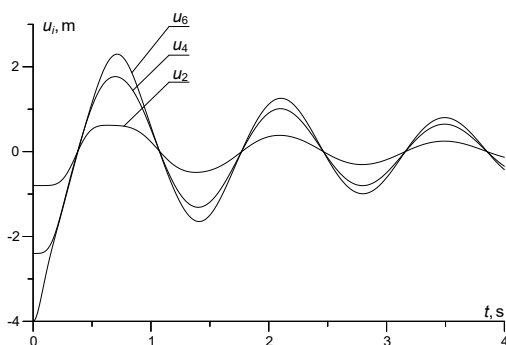


Рис. 1 Просторове положення вузлів дискретизації струни в просторі

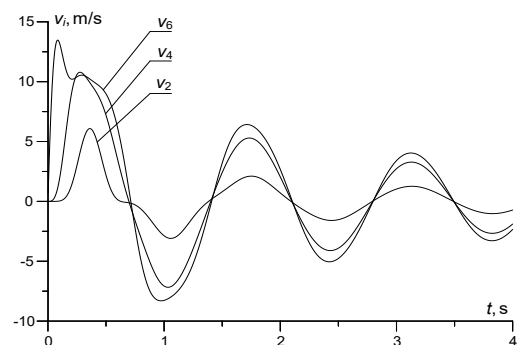


Рис. 4. Коливальний процес функції зміщення центрального вузла струни

Бібліографічний список.

1. Чабан А. Принцип Гамільтона-Остроградського в електромеханічних системах. Львів: В-во Тараса Сороки, 2015. 488 с.

ВПЛИВ ВОЛОГОПОГЛИНАННЯ НА ЕЛЕКТРИЧНУ МІЦНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛІВ

О. Какула, старший викладач

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького, Україна*

Полімерні електроізоляційні матеріали – це речовини на основі полімерів, що використовуються для ізоляції електричних струмів, оскільки вони практично не проводять електрику (виконують роль діелектриків). Полімери є необхідною частиною більшості кабельно-провідникової продукції, забезпечуючи високий рівень електроізоляції.

Вологопоглинання знижує електричну міцність полімерних електроізоляційних матеріалів, оскільки вода, що потрапляє в матеріал, підвищує його провідність, а також викликає хімічні зміни, що руйнують структуру ізоляції та зменшують опір. Цей ефект залежить від типу полімеру, температури, тривалості впливу вологи та інших факторів, що визначають процес дифузії води в матеріал.

Вода, особливо з домішками, підвищує електропровідність полімеру, що призводить до утворення струмів витоку та прискореного електричного старіння матеріалу.

При поглинанні вологи в полімері утворюються порожнини та канали, які можуть стати місцями концентрації електричного поля. Це сприяє руйнуванню ізоляції. Волога може спричинити гідроліз або інші хімічні реакції, які руйнують полімерну структуру. Це послаблює матеріал і знижує його електричну міцність. Високі температури прискорюють дифузію води в полімер та хімічні реакції. Чим вища вологість, тим інтенсивнішим є процес вологопоглинання. Чим довше матеріал контактує з вологою, тим глибше вода проникає в нього і тим сильнішим є її негативний вплив.

Для підвищення надійності пропонуються такі заходи: використання полімерів з покращеною гідрофобністю, нанесення водоблокуючих шарів, а також впровадження технологій сушіння та діагностики кабельних ліній у процесі експлуатації.

Вологопоглинання суттєво впливає на електричну міцність полімерних ізоляційних матеріалів та є критичним фактором довговічності високовольтних кабелів. Врахування цього явища при виборі матеріалів та конструюванні кабельних систем дозволяє знизити ризики аварій та підвищити надійність електроенергетичних мереж.

ВПЛИВ ВИБОРУ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ МОДЕЛЮВАННЯ ХВИЛЬОВИХ ПРОЦЕСІВ У ДОВГИХ ЛІНІЯХ

В. Левонюк, к.т.н., Т. Михайлович, к.т.н.

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького, Україна*

Теоретичною основою побудови математичних моделей ліній електропередач виступає рівняння довгої лінії у формі диференціального рівняння з частинними похідними другого порядку.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = (L_0 C_0)^{-1} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - (L_0 g_0 + r_0 C_0) v - r_0 g_0 u \right), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = v. \quad (1)$$

Для розв'язку рівняння (1) у якості крайових умов зазвичай застосовуються умови Неймана та Робена-Пуанкаре. Для цього перша та остання дискретні ділянки лінії подаються у коловому вигляді із використанням Г-подібної схеми заміщення [1]. Проте такий підхід порушує симетрію лінії відносно її кінців, що може призводити до похибок у відтворенні просторового розподілу напруг і струмів. Тому в роботі виконано детальний аналіз точності цього методу на основі числових експериментів.

На рис. 1 представлено розрахункову схему заміщення першої та останньої дискретних ділянок лінії електропередачі при застосуванні прямої Г-схеми заміщення.

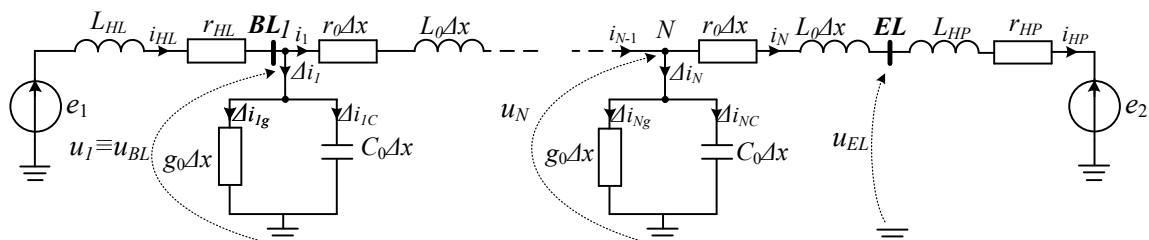


Рисунок 1 – Розрахункова схема заміщення дискретних ділянок лінії електропередачі при застосуванні прямої Г-схеми заміщення

Для розрахунків було прийнято уніполярну лінію постійного струму довжиною 473 км. Розрахунки показали, що Т- та П-схеми заміщення є більш точними для моделювання крайових умов до рівняння довгої лінії, оскільки гарантують симетричність результатів при зміні напрямку живлення. Використання Г-схеми призводить до виникнення незначної похибки (порядку сотих часток відсотка), яка, хоча й не має критичного впливу при високих напругах, однак знижує точність моделювання у задачах аналізу хвильових процесів.

Бібліографічний список.

1. Chaban A., Lis M., Szafraniec A., Levoniuk V. An application of the Hamilton-Ostrogradsky principle to the modeling of an asymmetrically loaded three-phase power line. *Energies*. 2022. Vol. 15. Is. 21. P. 8255.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ СИСТЕМАХ З АСИНХРОННИМИ ТА СИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

С. Сербан, асистент

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна

Компенсація реактивної потужності стала невід'ємною складовою для надійної і якісної роботи будь-якої електроніки, але способи її компенсації різняться від типу двигуна. У зв'язку з цим були проведені дослідження щодо компенсації реактивної потужності у електричних вузлах з асинхронними та синхронними двигунами.

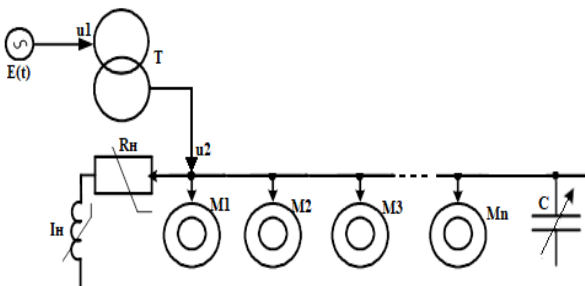


Рисунок 1 – Електричний вузол з асинхронними двигунами, з конденсаторною батареєю

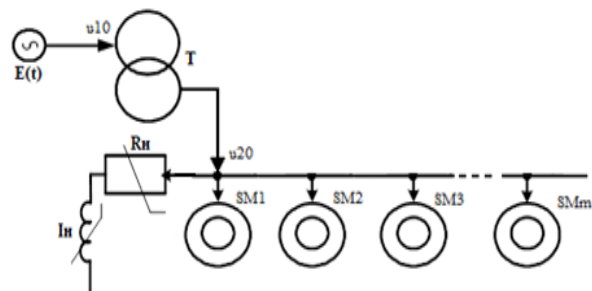


Рисунок 2 – Електричний вузол з синхронними приводами та синхронними компенсаторами.

З рис 3 ми отримуємо параметри фазного струму, який при пуску певної кількості двигунів буде в допустимих значеннях, а при досягненні двигунами усталених режимів роботи, струм електричного вузла прямує до номінальних значень, що досягається при використанні конденсаторної батареї рис 1.

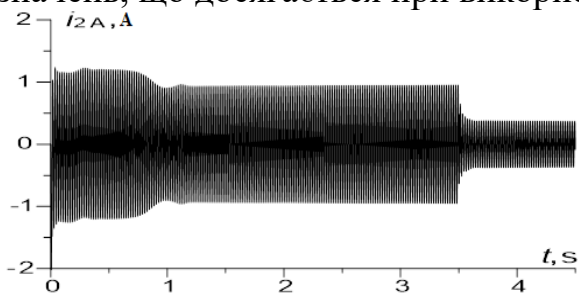


Рисунок 3 – Фазний струм у вузлі з асинхронними двигунами за використання конденсаторної батареї.

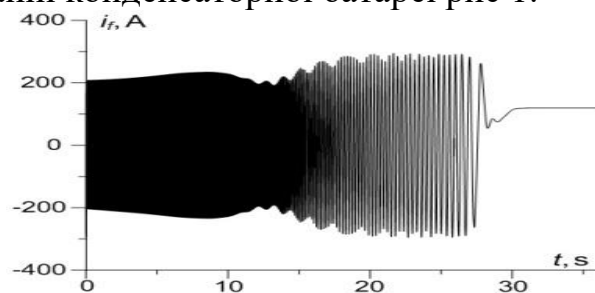


Рисунок 4 – Струм обмотки збудження для ротора синхронного приводу після синхронізму

Розглянувши рис. 4 можна чітко побачити, що при стрімкому зростанні швидкості обертання ротора призводить до падіння частот струмів. В момент коли ротор машини приводиться в режим синхронізму струми збудження входять в сталий режим роботи, а напруга після синхронізму прямує до номінальних значення для вузла електричного навантаження рис 2 .

Бібліографічний список.

1. Kosobudzki G. Reactive power compensation for single-phase AC electrical machines *Energies*. 2025. Vol. 18(3). P. 988.

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ

*Д. Гречин, к.т.н., І. Дробот М. Гошко, к.т.н., Р. Левус, магістр
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького, Україна*

Для здійснення регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна використаємо перетворювач частоти на який заведемо сигнал від'ємного зворотнього зв'язку за струмом двигуна подрібнювача. При збільшенні навантаження система автоматичного керування забезпечить зменшення подачі сировини, а при зменшенні споживаного струму, навпаки, збільшить.

Для аналізу роботи запропонованої системи автоматизованого електроприводу, ми побудували його структурно-математичну модель у математичному середовищі Matlab/Simulink рис. 1.

Провели дослідження його роботи у режимі близькому до номінального, Отримані графічні залежності перехідних процесів при зміні навантаження показали високу швидкодію системи автоматизованого електроприводу, що дає можливість роботи системи електроприводу із високою продуктивністю.

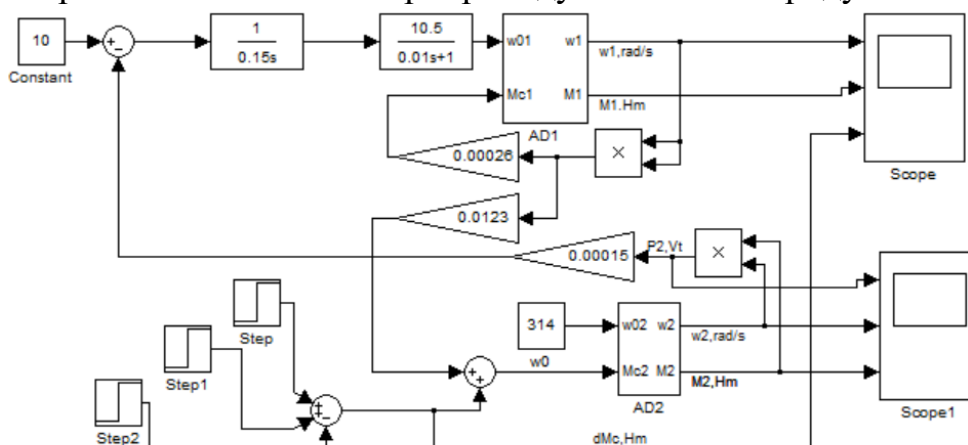


Рис. 1. Модель запропонованої системи автоматизованого електроприводу подрібнювача кормів

Бібліографічний список.

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник. М. Г. Поповіч, О. Ю. Лозинський, В.Б.Клепиков та ін. Київ: Либідь, 2005 р. 680 с.
2. Матвійчук В. А., Стаднік М. І., Рубаненко О. О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. Вінниця. ВНАУ, 2016 р. 320 с.
3. Браславський І. Я., Ішматов З. Ш. Реалізація енергоощадних технологій на основі регульованих асинхронних електроприводів. Київ. Електроінформ. 2003 р. 15 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧЕЙ ЗА ДАНИМИ АКТИВНОГО ТА ПАСИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Я. Марущак, д.т.н., І. Дробот,

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького, Україна*

Практично усі електродугові печі, в яких здійснюється переплавлення шихти з метою отримання електротехнічних сталей функціонують завдяки застосуванню імпедансного принципу регулювання [1], котрий полягає в тому, що напруга керування приводом електродів формується, як напруга розузгодження $\Delta_j = a_j I_{\partial j} - b_j U_{\partial j}$. Тут $I_{\partial j}$, $U_{\partial j}$ – діючі значення струмів і напруг дуг у j -й фазі; a_j, b_j – коефіцієнти (уставки), що визначають умову $\Delta_j = 0$, коли встановлюється певна довжина дуги і вводиться відповідна потужність у пічний простір). Якщо вимірювання $I_{\partial j}$ не є проблематичним, то $U_{\partial j}$ безпосередньо виміряти неможливо. Це обумовлено тим, що дуга горить у замкнутому пічному просторі і підключити вимірювальну апаратуру до кінця електрода з дугою не має можливості. Тому вимірюють фазну напругу між виходом фаз пічного трансформатора і нульовою точкою, яку утворюють три дуги на шихті. За відомих параметрів гнучких струмовідводів (короткої мережі) та електродів кожної фази розраховуються спадки напруги на них, і тоді вже формується напруга $U_{\partial j}$, яка забезпечує керування. Таким чином, точність визначення параметрів гнучкого струмопідводу є актуальним.

На діючій трифазній електродуговій печі можна реалізувати наступні активні експерименти: трифазне к.з., а також три двофазних к.з., коли в третій фазі дуга відсутня. Урахування параметрів струмопідводу у повному обсязі, отриманих на основі серії активних експериментів досліджень для печі невеликої ємності, дозволяє отримати повну інформацію про значення параметрів короткої мережі. Завдяки цьому, визначення напруги дуги, здійснюється точніше, ніж на основі незмінних паспортних даних параметрів короткої мережі. На жаль, проведення спеціальних експериментів знижує продуктивність печі. Збитки зростають з ростом ємності печі. Тому для великовантажних електродугових печей актуальною є проблема вимірювання напруги дуг без втручання в хід технологічного процесу. Пропонується ході пасивного експерименту здійснювати безперервний контроль миттєвого значення фазної напруги з низької сторони пічного трансформатора (u_1, u_2, u_3) і похідних миттєвих значень струмів дуг ($di_{1\partial}/dt, di_{2\partial}/dt, di_{3\partial}/dt$). Завдяки цьому є можливість більш точного визначення миттєвих напруги дуг, за якими розраховуються уточнені їх діючі значення.

Бібліографічний список.

1. Marushchak Y., Dorozhovets M., Mazur D. Operational Estimating of Arcs Voltage of Arc Steel Furnace Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements, , Cham: SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING AG, Lecture Notes in Electrical Engineering 548, 2019 P.191-201.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДНОЇ ЛАМПИ “ECOLUX”

М. Гошко¹, к.н.т., Т. Гошко², к.е.н., І. Дробот¹

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

²Національний університет “Львівська політехніка”

Розглянуто питання дослідження характеристик сучасних джерел світла на прикладі СВД ламп. Нами досліджувалися світлодіодні лампи “ECOLUX”30 Вт на відповідність задекларованих світлотехнічних та електротехнічних параметрів.

Отримали наступні результати.

Аналізуючи графічну залежність сили струму від напруги $Y(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230В становить 0.17А.

Аналізуючи графічну залежність світлового випромінювання від напруги $F(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230В становить 1200 Lx.

Аналізуючи графічну залежність активної потужності від напруги $F(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230В становить 21 Вт.

Аналізуючи графічну залежність повної потужності від напруги $F(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230В становить 39 Вт.

Аналізуючи графічну залежність температури від напруги $T(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230 В становить 46.6 °С.

Аналізуючи графічну залежність світловіддачі від напруги $E(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230В становить 57 Lx /Вт.

Аналізуючи графічну залежності $\cos\phi(U)$, ми бачимо, що вона не є лінійна і при номінальній напрузі 230 В становить 0.54.

Також ми бачимо, що задекларована потужність лампи 30Вт не відповідає експериментально визначеній (активна потужність становить при номінальній напрузі 230 В становить 21 Вт, а повна потужність становить при номінальній напрузі 230 В становить 39 Вт).

Бібліографічний список.

1. M. Goshko Influence of the construction of start-up adjustment equipment of modern led lamps on their performance characteristics/ ТЕКА. QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY – 2021, Vol. 20, No. 2, 33-39.

ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ТА ПІД РІЗНИМ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Л. Червінський, д.т.н., О. Макода

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна,*

У статті описано дослідну установку для вирощування рослин в електричному полі високої напруги та під впливом різних спектрів оптичного випромінювання. Оцінюються впливи на ріст, розвиток та врожайність рослин, що використовуються в теплицях з високим рівнем енергоефективності. Показано, що комбіноване використання електричних полів та оптимізованого освітлення на основі LED-технологій значно підвищує фотосинтетичну активність рослин та сприяє зниженню витрат на електроенергію.

Ключові слова: *електричне поле, оптичне випромінювання, LED-освітлення, енергоефективність, фотосинтетична активність, теплиця, автоматизація.*

У агропромисловому виробництві важливим аспектом є створення оптимальних умов для розвитку рослин, що включає використання інноваційних технологій для покращення освітлення та управління мікрокліматом. Традиційні методи освітлення часто не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що створює необхідність для пошуку нових рішень. Одним із таких рішень є використання електричного поля високої напруги в поєднанні з LED-освітленням.

Дослідження проводились за допомогою інтегрованої установки, що включала генератори високої напруги для створення електричного поля та світлодіодні лампи для точного регулювання спектру та інтенсивності світла. За допомогою автоматизованої системи управління вимірювались основні параметри: інтенсивність світла, фотосинтетична активність, ріст рослин, а також споживання електроенергії.

Дослідження показали, що застосування електричного поля високої напруги в поєднанні з різними спектрами оптичного випромінювання значно покращує фотосинтетичну активність рослин. Однак, найбільший ефект спостерігався при застосуванні червоного та синього спектрів світла, що стимулюють відповідно процеси цвітіння та вегетативного росту.

Використання електричних полів та LED-освітлення дозволяє оптимізувати умови для розвитку рослин в теплицях. Різні етапи розвитку рослин вимагають різних спектрів світла, що має велике значення для максимізації ефективності фотосинтезу. Впровадження даної технології дозволяє значно знизити енергоспоживання та підвищити врожайність. Використання високої напруги і точного налаштування спектра світла сприяє сталому розвитку агропромислового виробництва.

Бібліографічний список.

1. Кирилюк, А. І., & Сидоренко, С. С. (2017). Енергоефективність світлодіодних ламп у системах освітлення теплиць. Науковий журнал "Енергоефективність".
<https://www.energyjournal.ua>
2. Коваленко, І. В., & Чернявський, О. І. (2019). Оптимізація світлових умов для рослин в закритих приміщеннях. Сучасні проблеми аграрної науки.
<https://www.agrovesti.com>
3. Мельник, В. І., & Ткаченко, В. П. (2020). Використання світлодіодного освітлення для покращення фотосинтетичних процесів у теплицях. Агротехніка та енергозбереження в аграрному секторі.
<https://www.agrartech.com.ua>
4. Sharma, R., & Chandra, S. (2020). *Lighting and Plant Growth: Spectral Effects on Photosynthesis. Agricultural and Environmental Science Journal.*
5. Chen, L. (2020). *Effects of UV and Visible Light on Plant Physiology and Growth. Journal of Agricultural Science and Technology, 10(3), 456-462.*

ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМ

*С. Дудніков, А. Серета, к.т.н., С. Попадченко, магістр
Державний біотехнологічний університет м. Харків, Україна*

Однією з ключових проблем використання місцевих систем енергопостачання, що базуються на відновлюваних джерелах енергії (МСВДЕ), залишається їх недостатня конкурентоспроможність у порівнянні з централізованими системами (ЦС) енергозабезпечення [1].

Відповідно, питання визначення передумов та механізмів, які здатні забезпечити підвищення ефективності функціонування МСВДЕ, і надалі потребує поглибленого дослідження.

Подальший аналіз доцільно здійснювати для умов, коли кінцевий споживач має можливість вибору між підключенням до місцевих або централізованих джерел енергопостачання. На початковому етапі визначальним критерієм вибору виступатиме економічна доцільність, тобто наявність позитивного економічного ефекту для споживача.

Відповідно до вимог ДСТУ 3886–99 «Енергозбереження», основним показником ефективності енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ) є позитивний економічний ефект за періоду t . У цьому випадку вартісну оцінку ЕЗЗ (ΔP_{tMC}) можна визначити за співвідношенням:

$$\Delta P_{tMC} = \sum_1^n W_{ri} (\Delta q_i) \quad (1)$$

де $\sum_1^n W_{ri}$ – сумарний обсяг енергії i -го виду, отриманої з відновлюваних (r) джерел, за кількістю n , у кВт·год, Гкал або т;

Δq_i – різниця між тарифом на централізовану енергію (q_i) та собівартістю енергії, яка вироблена з відновлюваних джерел (q_{ri}): $\Delta q_i = q_i - q_{ri}$, грн/кВт·год, грн/Гкал, грн/т.

Економічно доцільним впровадження проекту вважається за умови виконання нерівності:

$$\Delta P_{tMC} > Z_{td}, \quad (2)$$

де Z_{td} – додаткові фінансові витрати у t -му році, що виникають у процесі реалізації МСВДЕ.

Запропоновані організаційно-технічні заходи із впровадження місцевих систем енергопостачання на базі ВДЕ дозволяють споживачеві створити конкурентоспроможну систему енергозабезпечення та отримати очікуваний позитивний економічний ефект від її експлуатації.

Бібліографічний список:

М. Кавакзе та ін., «Розробка алгоритму роботи комбінованої системи електропостачання з відновлюваними джерелами», 2022 *IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Харків, Україна, 2022, с. 1-4, doi: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372

ДОСЛІДЖЕННЯ Й ПОРІВНЯННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ SI-C ТА LI-ION

*Р. Оксеніч, аспірант, О. Тоберт, аспірант,
Державний біотехнологічний університет*

Актуальність дослідження зумовлена швидким розвитком портативної електроніки та відновлюваної енергетики, які потребують накопичувачів енергії з підвищеною ємністю та тривалим циклом служби. Кремній-вуглецеві та літій-іонні акумулятори стали двома ключовими технологіями, які викликають значний інтерес. Ми розглянемо принцип роботи обох технологій, їх переваги й недоліки, а також перспективи застосування для майбутніх систем зберігання енергії.

Мета досліджень полягає у визначенні ключових відмінностей між Si-C та Li-ion акумуляторами та оцінці їх перспектив застосування.

Розглянемо принцип роботи та відмінності цих накопичувачів: Li-ion (літій-іонні) акумулятори базуються на русі іонів літію між графітовим анодом і катодом з літієвих оксидів через електроліт. Вони характеризуються високою надійністю, відпрацьованою технологією та тривалим терміном служби, проте досягли розвитку за показниками питомої ємності 372 мА·г/г для Li-ion. Si-C акумулятори мають такий же принцип роботи, але замість графіту використовується композит із наноструктурою кремнію та вуглецю. Кремній здатний накопичувати на 10 разів більше іонів літію, що досягає теоретичної енергетичної щільності до 4200 мА·г/г, що показано на рисунку 1. Вуглецева матриця знижує руйнівний ефект від значного об'ємного подовження кремнію під час заряду-розряду, підвищуючи стабільність та електропровідність. Si-C акумулятори забезпечують високу ємність і компактність, але відрізняються від літій-іонних довговічністю та вартістю. Таким чином, Li-ion є перевіреним стандартом із високою надійністю, тоді як Si-C має перспективу стати наступним кроком у розвитку завдяки значно вищій енергетичній щільності без зміни габаритів та ваги в порівнянні з Li-ion накопичувачем.

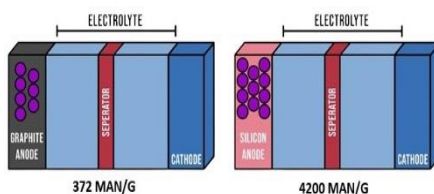


Рисунок 1 – Структура Li-ion та Si-C накопичувачів

Висновок. Літій-іонні акумулятори залишаються надійним стандартом завдяки стабільності довговічності, проте обмеженій ємності. Si-C батареї мають у кілька разів вищу енергетичну щільність за рахунок кремній-вуглецевого аноду, але поступаються за ресурсом й вартістю. Вони розглядаються як перспективний напрям подальшого розвитку систем зберігання енергії.

СУЧАСНІ ЗАХОДИ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ 10 (6)-0,4 КВ

*С. Попадченко, магістр, С. Дудніков, к. т. н.
Державний біотехнологічний університет*

Як показує вітчизняний та закордонний досвід, аналіз кризових явищ в країні в цілому та в енергетиці зокрема [1] відмічається збільшення негативного впливу на енергетичну ефективність передачі та розподілу електроенергії в електричних мережах за класом напруги 10 (6)-0,4 кВ. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах – складна комплексна проблема, що вимагає значних капітальних вкладень, технічних та організаційних заходів. До пріоритетних технічних заходів зменшення втрат енергії у розподільчих мережах 10 (6)-0,4 кВ відносяться: 1) встановлення відповідного за класом напруги обладнання при реконструкції мереж з 6 кВ на 10 кВ; 2) скорочення радіусу дії електромереж шляхом застосування стовпових трансформаторів малої потужності та будівництво ПЛ-0,4 кВ у трифазному виконанні по всій довжині; 3) застосування самонесучих ізольованих та захищених проводів типу СПІ для ПЛ напругою 0,4 -10 кВ; 4) використання максимально допустимого перерізу проводів з ціллю збільшення пропускної здатності; 5) посилення елементів діючої мережі шляхом прокладання нових ліній або заміні проводів та кабелів на великі перерізи; 6) проведення робіт з компенсації реактивних навантажень пристроями FACTS другого покоління: для зниження втрат електроенергії доцільно використовувати пристрої регулювання напруги та потоків реактивної потужності, що підключаються паралельно до мереж, такі як статичний синхронний компенсатор (СТАТКОМ), синхронний статичний поздовжній компенсатор (ССПК), асинхронізований синхронний компенсатор (АСК) та інші; 7) підтримання значень показників якості електроенергії відповідно до вимог ДСТУ EN 50160:2014; 8) впровадження пристроїв автоматичного регулювання напруги під навантаженням, вольтдодаткових трансформаторів, засобів вбудованого регулювання напруги; 9) впровадження нового економічного електроустаткування, зокрема, трансформаторів із зменшеними активними та реактивними втратами холостого ходу, встановлення конденсаторних батарей вбудованих у КТП та ТП; 10) комплексна автоматизація та телемеханізація електричних мереж; 11) застосування комутаційних апаратів нового покоління; 12) застосування засобів дистанційного визначення місць пошкодження в електричних мережах для скорочення часу пошуку та ліквідації аварій.

Бібліографічний список

1. M. Amiott та M. Ordon'yes, «Prohnozuvannya vtrat potuzhnosti dlya rozpodilennykh enerhetychnykh resursiv: rivnyannya shvydkoyi otsinky vtrat», u IEEE Transactions on Industrial Electronics, t. 68, № 3, s. 2289-2299, berezen' 2021 r., doi: 10.1109/TIE.2020.2973895.

АГРЕГАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

*О. Котляр, магістрант, О. Мороз, д.т.н.,
Державний біотехнологічний університет*

Закон України «Про ринок електричної енергії» [1] визначає вимоги щодо агрегації на ринку електроенергії в Україні і встановлює правові, економічні та організаційні засади функціонування ринку електричної енергії в Україні. Агрегація це діяльність на ринку електричної енергії, що здійснює суб'єкт господарювання, пов'язана з об'єднанням електроустановок, призначених для виробництва та/або споживання, та/або зберігання електричної енергії з метою купівлі-продажу електричної енергії, надання допоміжних послуг та/або послуг з балансування на ринку електричної енергії. Таким чином агрегатор є ключовим посередником між розподіленими виробниками/споживачами та ринками електроенергії. Агрегація є одним із фундаментальних механізмів для підвищення ефективності та гнучкості енергетичних систем, сприяючи інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), систем накопичення та управління попитом, що є актуальним під час війни з російською федерацією. Вона дозволяє об'єднувати невеликі, географічно розподілені об'єкти в єдиний віртуальний енергетичний комплекс, здатний надавати послуги на оптовому ринку електроенергії.

Агрегатор здійснює купівлю-продаж електричної енергії на ринку електричної енергії відповідно до положень Закону, правил ринку, правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку, інших нормативно-правових актів, що регулюють функціонування ринку електричної енергії. Агрегатор надає послуги з балансування та/або допоміжні послуги відповідно до положень Закону та правил ринку і є стороною, відповідальною за баланс усіх електроустановок, що входять до складу його одиниці агрегації. До складу одиниці агрегації можуть входити сонячні електростанції (СЕС), вітроелектростанції (ВЕС), когенераційні установки (КГУ), газопоршневі установки (ГПУ) та установки зберігання енергії (УЗЕ), встановлена потужність яких не перевищує 20 МВт. Агрегатор може брати участь у ринках допоміжних послуг, зокрема резерві підтримки частоти, відновленні частоти, заміщення, регулювання напруги та реактивної потужності, послугах відновлення після системних аварій та балансуванні і врегулюванні небалансів. Агрегатор взаємодіє з оператор системи передачі (ОСП) у питаннях технологічного управління та з постачальниками-трейдерами у питаннях комерційної взаємодії.

Впровадження принципів агрегації в енергетичній системі України дозволить підвищити стабільність енергосистеми за рахунок гнучкості розподілених ресурсів та буде сприяти подальшій інтеграції з європейськими ринками (ENTSO-E), що потребує впровадження автоматизованих системи управління агрегованими ресурсами (AI-платформи).

ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СПОРУДИ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Р. Кригуль к.т.н.¹, С. Шаповал д.т.н.², С. Мисак³, Б. Гассовський, магістр¹
¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С.З. Гжицького

²Національний університет "Львівська політехніка"
Канд.техн.наук, доцент

³Головний фахівець ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС»

Схематично система зображена на рис. 1 і складається з: фотоелектричної панелі; контролера заряду; акумуляторної батареї; регулятора температури; датчика температури; вентилятора витяжного; колодязя глибиною 7-8 м; канал з пластикової утепленої труби.

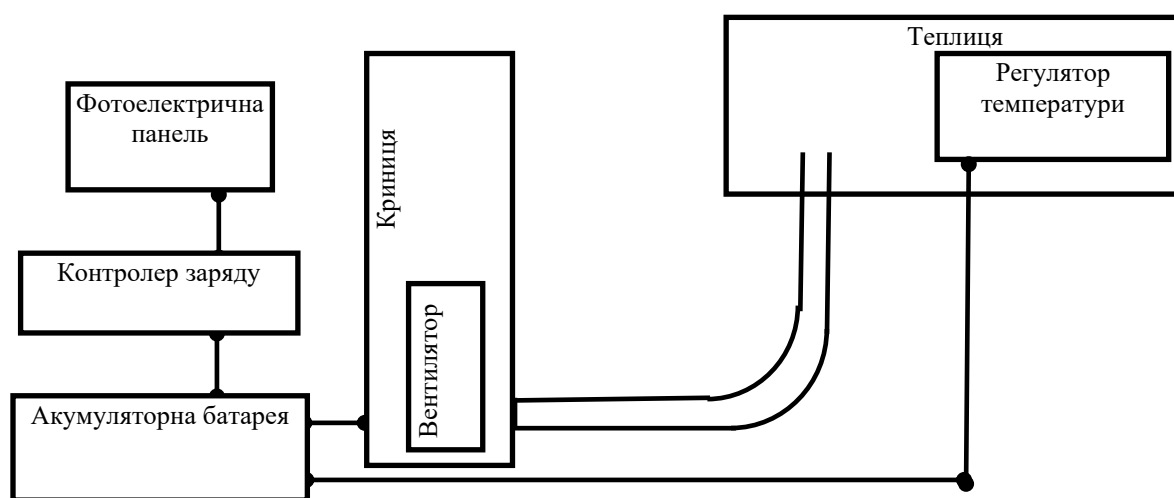


Рисунок 1 – Принципова схема енергопостачання теплиці

Призначення системи

Система призначена для підігріву повітря в теплицях в період приблизно від 24:00 год., до 8:00 год., за рахунок використання геотермальних джерел та світлової енергії сонця для заряду акумуляторної батареї в світлий час доби.

Склад системи: Сонячна панель – KV 65Вт/12В; контролер заряду – 10А/12В; акумуляторна батарея – 12В/16А*год; регулятор температури РТ-0102; датчик температури типу РТ-100; вентилятор витяжний; колодязь глибиною 7-8 м; канал (пластикова утеплена труба).

Провівши канал з глибини колодязя 5 метрів до теплиці та обладнавши її системою стабілізації температури можна забезпечити підтримку плюсової температури в теплиці без додаткових джерел енергії.

Принцип роботи системи.

Регулятор температури налаштовують на замикання контактів реле при температурі +2 градуси. При цій умові вмикається вентилятор який засмоктує тепле повітря із глибини колодязя і транспортує його в теплицю.

ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

М. Бабич, к. т. н., С. Медвідь, бакалавр

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького*

Питання енергетичної безпеки України на сьогодні є не лише економічним, а й стратегічним фактором державної незалежності. Зважаючи на геополітичну ситуацію, руйнування інфраструктури та обмеження імпорту енергоносіїв, країна змушена оперативного переорієнтуватися на внутрішні відновлювані джерела енергії. Одним із найстабільніших та технічно освоєних напрямів залишається гідроенергетика.

Україна володіє значним гідроенергетичним потенціалом річок. Загальна встановлена потужність гідроелектростанцій (ГЕС) складає близько 5,8 ГВт, що становить понад 10 % від загальної електрогенерації. Проте, за оцінками фахівців, реальний технічний потенціал гідроенергетики використовується лише на 35-40 %. Для прикладу потенціал малих річок Карпатського регіону України освоєно лише на 7 % .

Використання гідроенергетичного потенціалу річок дозволяє підвищити рівень енергетичної безпеки, адже гідроенергетика має такі переваги:

- *гнучкість у генерації* – здатність швидко запускатись або зупинятись, що важливо для балансування енергосистеми;
- *локальна генерація* – зменшення залежності від імпорту палива;
- *стабільність виробництва* – на відміну від сонячних чи вітрових станцій, ГЕС менш залежні від погодних умов;
- *можливість зберігання енергії* – гідроакumuлюючі станції (ГАЕС) виконують роль «акумуляторів» для всієї енергосистеми;
- *підтримка у пікові години* – швидка генерація під час максимального споживання.

Для ефективного освоєння гідропотенціалу річок необхідно:

- 1) *Модернізувати наявні ГЕС* – підвищити їхню ефективність і безпеку;
- 2) *Будувати малі ГЕС* – особливо в Карпатському регіоні;
- 3) *Інтегрувати ГЕС з іншими ВДЕ* – для створення гібридних енергосистем;
- 4) *Оптимізувати управління водними ресурсами* – для забезпечення екологічної рівноваги;
- 5) *Залучати інвестиції* в модернізацію та будівництво нових ГЕС.

Гідроенергетика здатна стати ключовим компонентом енергетичної незалежності України. Її розвиток сприяє не лише технічній стабільності енергосистеми, але й зменшенню викиду вуглецю, відповідно до європейського «зеленого» курсу. У поєднанні з іншими ВДЕ, вона може забезпечити сталий перехід до децентралізованої та безпечної енергетики.

MICROGRID ЯК ПЛАТФОРМА ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯМ

О. Окушко, к.т.н., І. Радько, к.т.н.,

В. Наливайко, к.т.н., Д. Сорокін, к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасні електроенергетичні системи потребують безперебійної роботи електрообладнання, адже навіть незначні відмови призводять до фінансових втрат, простоїв та зниження надійності енергопостачання. Традиційні методи технічного обслуговування здебільшого мають реактивний характер, коли ремонт здійснюється вже після виникнення несправностей, а це, в свою чергу, підвищує аварійність та експлуатаційні витрати.

Розвиток концепції Microgrid у поєднанні з технологіями IoT, SCADA, Big Data та штучним інтелектом створює умови для переходу до інтелектуальних систем моніторингу і прогнозування стану електрообладнання. Такі системи забезпечують безперервний збір і аналіз даних, раннє виявлення дефектів та прогнозування відмов, що дозволяє реалізувати стратегію predictive maintenance, що знижує ризики аварій, при цьому відбувається скорочення простоїв на 25 – 40 % та підвищує енергоефективність на 10 – 15 %.

Архітектура системи моніторингу включає кілька рівнів: сенсори, IoT-шлюзи та PLC, edge-сервери, SCADA/EMS, аналітичні модулі (AI, цифрові двійники) та бізнес-рівень (CMMS, ERP). У результаті формується замкнутий цикл управління: від збору даних до аналітики далі прийняття рішень і нарешті автоматизованого керування.

Ключовими об'єктами моніторингу є електродвигуни, трансформатори, генератори, силові перетворювачі, системи освітлення, акумуляторні станції та відновлювані джерела енергії. Контроль може здійснюватися за певними параметрами, наприклад температура, вібрація, струм, напруга, ККД, стан ізоляції тощо.

Використання цифрових двійників та алгоритмів машинного навчання підвищує точність діагностики та дозволяє моделювати сценарії деградації обладнання. Інтеграція IoT-сенсорів дає можливість у режимі реального часу відстежувати стан електрообладнання та баланс енергопотоків.

Таким чином, запропонована концепція інтелектуальної системи моніторингу та прогнозування на базі Microgrid підвищує надійність і безпеку локальних енергосистем, забезпечує ефективне використання відновлюваних джерел та зниження витрат на обслуговування. Вона є перспективною для промислових, муніципальних і комерційних об'єктів України.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РЕМОНТНИХ РОБІТ

О. Окушко¹, к.т.н., П. Ковтун²,

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,

²ВСП «Немішаєвський фаховий коледж НУБіП України

Сучасне виробництво та експлуатація обладнання потребують високоякісних ремонтно-відновлювальних робіт, які визначають його надійність і довговічність. Традиційні технології, що застосовуються у сервісних підприємствах, часто є застарілими та енерговитратними, що знижує продуктивність праці, підвищує трудові витрати та не забезпечує необхідного рівня якості.

Електротехнології відкривають нові можливості для оптимізації ремонтних процесів. Вони відзначаються економічною ефективністю, універсальністю та екологічністю, що робить їх конкурентоспроможними порівняно з класичними методами. Зокрема, електростатичне нанесення покриттів охоплює до 85 % промислового застосування завдяки високій якості та економії матеріалів.

До перспективних електротехнологій також можна віднести і ультразвукові методи очищення, мийки та знезараження, які дозволяють скоротити час обробки у 5–10 разів та зменшити витрати хімікатів удвічі. Використання ультразвуку при цьому вирішує і екологічні проблеми, які пов'язані з органічними розчинниками. Важливе місце займають технології електрозварювання з контактним нагрівом і високочастотними полями, які забезпечують надійне з'єднання однорідних і різнорідних матеріалів, підвищуючи ефективність робіт на 20–30 %.

Перспективним напрямом є просочення конструкційних та ізоляційних матеріалів за допомогою акустичних і електромагнітних методів, що підвищує їхню електричну міцність, вогнестійкість і механічну стійкість. Технології електроосадження та газоплазмового напилення дозволяють відновлювати деталі, створювати зносостійкі, корозійностійкі та ізоляційні покриття з мінімальними витратами матеріалів.

Застосування неруйнівних методів контролю, зокрема ультразвукової дефектоскопії, забезпечує точність виявлення внутрішніх дефектів, підвищує надійність діагностики та якість виконаних робіт.

Практичне впровадження сучасних електротехнологій у сервісних підприємствах дозволяє підвищити якість відновлювальних процесів, забезпечити енергозбереження, економічність і безпеку, а також сприяє формуванню нових підходів до ефективного використання матеріалів та ресурсів.

СЕКЦІЯ 3.
ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ
З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

АНАЛІЗ РОБОТИ ГІДРОАКУМУЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ІННОВАЦІЙНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ РІШЕННЯМИ

В. Головка¹, д.т.н., Р. Семененко², аспірант,

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна.

²Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, Україна

У роботі представлено розширену модель гідроаккумуляційної установки з замкнутим циклом використання робочого тіла, що використовується автономно, або інтегрується в розподілені енергетичні мережі [2]. Основні блоки системи: верхній і нижній резервуари, насосна станція, гідротурбіна, гідравлічний таран, а також блок електроживлення насосної станції на базі відновлюваних джерел (ФЕС та вітрогенератори) [1, 3]. Центральною інновацією є поєднання насосної станції та гідротарану: сонячні панелі та/або вітрогенератори працюють для живлення насосів, а гідравлічний таран рекуперує невикористану енергію води турбіною. Обидва механізми накопичують енергію у верхніх резервуарах.

Гідравлічний таран рекуперує енергію від водяного потоку після гідротурбіни, використовуючи принцип гідравлічного удару для підняття до 17% об'єму води до верхнього резервуара без додаткового електроспоживання. Ефективність гідротарана залежить від співвідношення висот: при збільшенні гідравлічному напорі на 1 м у години пікового навантаження продуктивність тарана зростає на 30-50%, що дозволяє зменшити навантаження на генерацію від ФЕС чи вітрогенератора. Математичне моделювання показало, що за сприятливих умов (висота падіння 21 м, витрата води 600-900 л/хв) гідротаран здатний забезпечити підйом води зі швидкістю 1500-1900 л/год, підвищуючи загальний ККД установки на 5-15% порівняно з системами без тарана [1, 3]. Застосування альтернативних низькотемпературних робочих рідин із підвищеною в'язкістю для роботи в холодному кліматі, що розширює географію впровадження установки.

Каскадна організація кількох малопотужних установок у розподілену мережу забезпечує синергетичний ефект резервування енергії та стабільність живлення критичних об'єктів і сільських населених пунктів. Принцип мікрогрід передбачає об'єднання генеруючих потужностей (ФЕС, вітрогенератори, ГАЕС), систем накопичення енергії та споживачів під єдиним автоматизованим управлінням. Кожна установка може функціонувати як автономно, так і в складі кластера, що підвищує надійність енергопостачання через взаємне резервування потужностей. Децентралізована топологія дозволяє балансувати генерацію та споживання на локальному рівні, мінімізуючи втрати при передачі енергії та знижуючи навантаження на централізовані мережі.

Бібліографічний список.

1. Попович О. М., Голован І. В. Імітаційна модель гідротурбіни для комплексного моделювання електромеханічної системи ГЕС. Відновлювана енергетика. 2023. № 2. С. 51–60. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2\(73\).51-60](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73).51-60)
2. Бондаренко Д. В. Моделювання систем з фотоелектричним джерелом енергії та водяними насосами. Відновлювана енергетика. 2024. № 3. С. 62–68. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3\(78\).62-68](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3(78).62-68)
3. Головка В.М., Семененко Р.Ю. Аналіз енергетичних чинників гідроакумулювальної електростанції з замкнутим циклом використання робочого тіла. Відновлювана енергетика. 2025. № 3(82). С. 173–183. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.3\(82\).173-183](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.3(82).173-183)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

С. Шаповал¹, д.т.н, Ю. Пришляк¹, аспірант, М. Касинець¹, к.т.н.,
Р. Кригуль², к.т.н.,

¹Національний Університет «Львівська політехніка» вул. С. Бандери, 12, м.
Львів, 79000, Україна

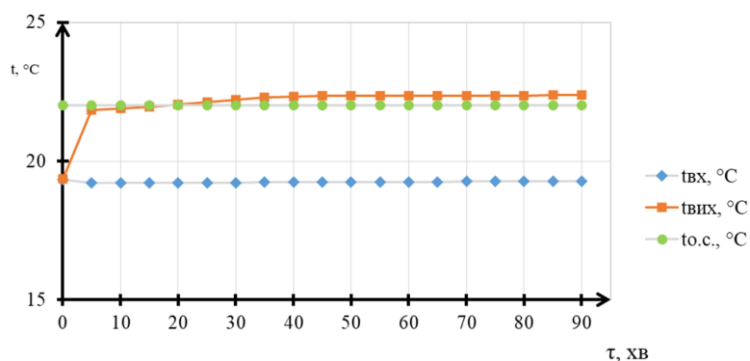
²Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С. З. Гжицького

Зростання потреби в енергоефективних технологіях і відновлюваних джерелах енергії зумовлює актуальність використання сонячних колекторів [1]. Гібридні геліоколектори, що поєднують функції генерації тепла та електроенергії, розглядаються, як перспективне рішення для підвищення ефективності енергосистем, особливо при інтегруванні їх в конструкції будівель [2]. Для забезпечення стабільної роботи необхідним є комплексний аналіз теплових процесів у таких колекторах [3].

У статті наведено результати досліджень теплових процесів у системі теплопостачання з гібридним геліоколектором (ГГК), в якій циркулює рідинний теплоносіє. У своїй конструкції дана система містить ребристий теплообмінник та бак-акумулятор. Для оцінки енергетичних характеристик проведено комп'ютерне моделювання у середовищі SolidWorks, за допомогою якого створено серію послідовних експериментів з визначення температурних змін (Рис.1а) на виході з теплообмінника та в баку-акумуляторі за різних умов експлуатації. Отримані результати фіксувалися та окремо заносилися в таблицю в залежності від інтенсивності заданого випромінювання та будувалися графіки температур теплоносія (Рис.1б) у геліоколекторі та баку-акумуляторі



а)



б)

Рисунок 1 – а) Розподіл температур в ГГК; б) Температури теплоносія на вході і виході з геліоколектора та температура оточуючого середовища впродовж експерименту

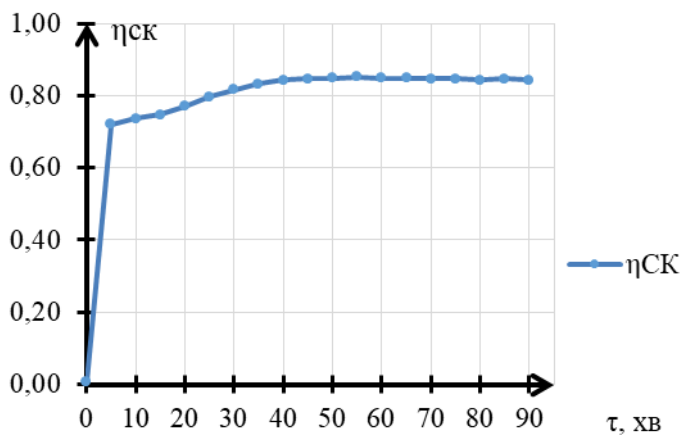


Рисунок 2 – Зміна ККД сонячного колектора впродовж експерименту

На рисунку 2 можна спостерігати, що ККД гібридного геліоколектора зростав від 72% на 5 -ій хвилині до 85 % на 50-ій хвилині, а далі змінювався незначно.

Висновки

Дослідження теплових процесів у гібридному сонячному колекторі, проведене на основі теоретичних розрахунків і моделювання, дозволило оцінити особливості його роботи в різних умовах експлуатації. Встановлено перспективність використання ребристого теплообмінника, що сприяє оптимізації теплотехнічних характеристик. Результати роботи також вказують на можливість успішної інтеграції даної конструкції з іншими джерелами енергії для підвищення комплексної ефективності сонячних систем теплопостачання.

Бібліографічний список

1. Давиденко Є. П. Пасивне використання сонячної енергії в архітектурних формах. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*, 2016. (8). С. 107–112.
2. Венгрин І.І. *Енергоефективні геліосистеми інтегровані в світлопрозорі конструкції будівель*: дис. канд. техн. наук: Національний Університет «Львівська політехніка». Львів, 2022. 227 с.
3. Шаповал С. П. Використання сонячної теплової енергії за рахунок комбінованого геліовікна. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*, 2017. (9). С. 250 – 253.

ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕЛІОСУШАРОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСУШЕНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ

С. Коробка¹, к.т.н., І. Стукалець¹, к.т.н.,

О. Болтянський², С. Баранович¹, к.т.н.,

Б. Болтянський², к.т.н., М. Підгурський¹, бакалавр

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Геліосушарка – це різновид сільськогосподарського обладнання, призначений для сушіння сільськогосподарської продукції, що дозволяє знизити використання традиційних джерел енергії в технології сушіння (наприклад, перетворення електричної енергії в теплову), за рахунок відновлювальних джерел енергії зокрема, сонячної енергії.

Нами розроблена геліосушарка з конструктивними параметрами: площа повітряного колектора – 1,5 м²; маса теплового акумулятора – 50 кг.; об'єм сушильної камери – 0,43 м³; кут нахилу повітряного колектора до горизонту 50°; питому потужність вентилятора – 0,125 Вт.

Геліосушарка за один цикл сушіння використовувала енергію сонячного випромінювання в межах від 200 до 700 Вт/м², перетворивши її в теплову енергію 13124,2 кДж/м², яку поглинув теплоносій 8974,3 кДж/м², а частину тепловий акумулятор з твердим теплоакумуючим матеріалом 3287,2 кДж/м³.

Аналіз структури розподілу сонячної енергії показав, що більша половина енергії йде на підігрів теплоносія, третя частина акумулюється в теплому акумуляторі (ТА) (рис. 1).

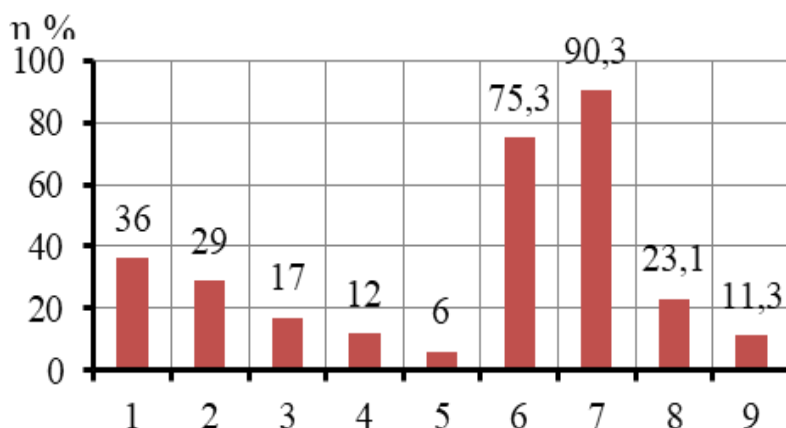


Рисунок 1 – Структура розподілу сонячної енергії в геліосушарці: 1 - нагрів теплоносія; 2 - нагрів теплового акумулятора; 3 - нагрів фруктів; 4 - втрати в навколишнє середовище; 5 - нагрів решет; 6 - Енергетичний ККД геліосушарки в денний час без ТА; 7 - Енергетичний ККД геліосушарки в денний час з ТА; 8 - Енергетичний ККД геліосушарки в нічний час з ТА; 9 - Енергетичний ККД геліосушарки в нічний час без ТА.

Критерієм обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів технічних засобів вибрано мінімум прямих експлуатаційних витрат, грн. [1]:

$$\Pi_{EB} = B_A + B_{TO} + B_{ЗП} + B_{ЕЛ} \rightarrow \min \quad (1)$$

де B_A - витрати на реновацію геліосушарки; B_{TO} - витрати на технічне обслуговування і ремонт геліосушарки; $B_{ЗП}$ - витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу; $B_{ЕЛ}$ - витрати за використану електроенергію на привід вентилятора і роботу контрольно-вимірювальних приладів.

На підставі розрахунків побудовані залежності прямих експлуатаційних витрат на процес сушіння і необхідної площі повітряного колектора від маси сушильного матеріалу (рис. 2).

Зниження прямих експлуатаційних витрат в геліосушарці відбувається, при заповненні решет сушильним матеріалом масою 5,5 кг і складає 146 грн.

З збільшенням заповнення решет витрати знижуються, а площа повітряного колектора пропорційно зростає.



1 - Прямі експлуатаційні затрати, грн/кг; 2 - Площа п

Рисунок 2 – Залежність прямих експлуатаційних витрат на процес сушіння фруктів і необхідної площі повітряного колектора від маси сушильного матеріалу

Отже, при використанні геліосушарки економія теплової енергії складає 13124,2 кДж/м², а прямі експлуатаційні витрати складають 146 грн., при заповненні решет сушильним матеріалом масою 5,5 кг за літньо - осінній період сушіння фруктів, що дозволяє знизити використання традиційних джерел енергії в технології сушіння (наприклад, перетворення електричної енергії в теплову), за рахунок відновлювальних джерел енергії зокрема, сонячної енергії.

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОСКОГО ДЗЕРКАЛЬНОГО КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ГЕЛІОТЕРМІЧНИХ УСТАНОВОК

*С. Коробка¹, к.т.н., В. Гальчак², к.ф.-м.н., І. Стукалець², к.т.н., О.
Болтянський², Я. Біль¹, бакалавр*

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького*

*²Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Геліосушарка – це різновид сільськогосподарського обладнання, призначений для сушіння фруктів.

Нами була розроблена геліосушарка з конструктивними параметрами: площа повітряного колектора (ПК) – 1,5 м²; маса теплового акумулятора – 50 кг; об’єм сушильної камери – 0,43 м³. Кут нахилу ПК до горизонту β вибирається за середньорічним кутом надходження сонячної енергії на похилу поверхню для умов м. Корець (Рівненська область) – $\beta = 40,4^\circ$. Плоский дзеркальний концентратор (ПДК) встановлюють біля сприймальної поверхні ПК під кутом α до горизонту (рис. 1), що змінюється відносно надходження сонячних променів. Тому площу ПДК L приймаємо рівною площі сприймальної поверхні ПК $S_{\text{ПК}}$. Площини L і $S_{\text{ПК}}$ утворюють між собою двограний фоکلін.

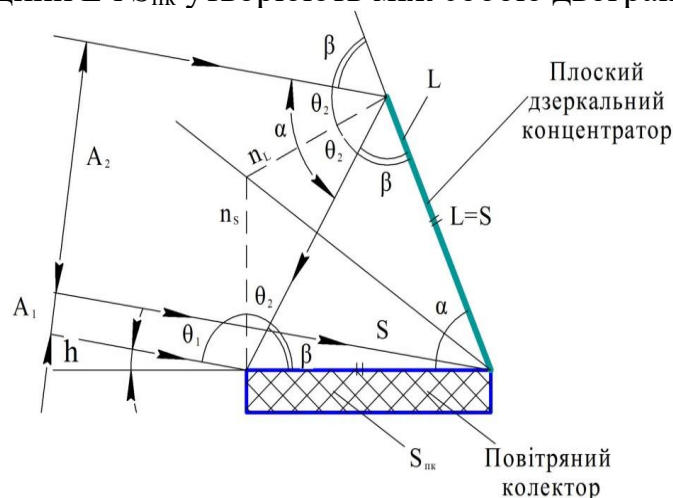


Рисунок 1 – Хід променів між дзеркалом і колектором: L і S – відповідно ширина ПДК і ПК; α – кут розкриття ПДК; A_1 і A_2 – переріз вхідного прямого і відбитого потоків; n_s і n_L – нормалі до площин S і L ; θ_1 і θ_2 – кути падіння променів на ПК і ПДК; h і β – кути ковзання і відбивання променів.

Під час розрахунку ступеня концентрації всі кутові величини виразимо через кут розкриття двогранного фокліна, утвореного площинами колектора і дзеркала α . За вимоги рівномірного освітлення відбитими променями поверхні ПК відбитий промінь є основою рівнобедреного трикутника. Таким чином, з наведеної на рис. 1 побудови випливають, такі очевидні співвідношення (метод геометричної оптики):

$$\left. \begin{aligned} \beta &= 90^\circ - \frac{\alpha}{2}, \\ \theta_2 &= 90^\circ - \beta = \frac{\alpha}{2}, \\ h + \beta &= \alpha \text{ або } h = \alpha - \beta = \alpha - 90^\circ + \frac{\alpha}{2} = \frac{3}{2}\alpha - 90^\circ, \\ \theta_1 &= 90^\circ - h = 90^\circ - \frac{3}{2}\alpha + 90^\circ = 180^\circ - \frac{3}{2}\alpha. \end{aligned} \right\} (1)$$

Кут ковзання ПДК змінюється в межах $0 < h < 90^\circ$. Тоді верхня межа кута розкриття визначиться з такої нерівності:

$$h = \frac{3}{2}\alpha - 90^\circ < 90^\circ \text{ або } \alpha < 110^\circ.$$

Натомість нижня межа кута розкриття α рівна 60° , бо інакше відбитий крайній промінь зміститься вправо від краю колектора. Тому ця величина не виходить за межі інтервалу $60^\circ < \alpha < 110^\circ$. Коефіцієнт підсилення потоку дорівнює відношенню сумарної енергетичної освітленості колектора $E = E_1 + E_2$ до освітленості тільки прямими променями E_1 . E_1 і E_2 розраховуються через відповідні перерізи вхідного прямого і відбитого потоків сонячних променів A_1 і A_2 :

$$E_1 = A_1 \cos \theta_1; \quad E_2 = \rho A_2 \cos \theta_2,$$

де ρ – коефіцієнт відбивання дзеркала, $\rho = 0,8$.

$$\text{Звідси } k = \frac{A_1 \cos \theta_1 + \rho A_2 \cos \theta_2}{A_1 \cos \theta_1} = 1 + \rho \frac{A_2 \cos \theta_2}{A_1 \cos \theta_1}.$$

Обидва перерізи є функціями кута розкриття концентратора α :

$$A_1 = S \cdot \sin h = L \cdot \sin \left(\frac{3}{2}\alpha - 90^\circ \right) = -L \cdot \sin \left(90^\circ - \frac{3}{2}\alpha \right) = -L \cos \frac{3}{2}\alpha, (2)$$

$$A_2 = L \cdot \sin(\alpha - h) = L \cdot \sin \left[\alpha - \left(\frac{3}{2}\alpha - 90^\circ \right) \right] = L \cdot \sin \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) = L \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. (3)$$

Після скорочення та тригонометричних перетворень отримаємо вираз для коефіцієнта концентрації сонячної енергії:

$$k = 1 + \rho \frac{A_2 \cos \frac{\alpha}{2}}{A_1 \cos \left(180^\circ - \frac{3}{2}\alpha \right)} = 1 + \rho \frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \frac{3}{2}\alpha}. (4)$$

Таким чином ефективність роботи плоского дзеркального концентратора залежить від коефіцієнта підсилення потоку сонячної енергії k і оптимального кута розкриття α ПДК. Отримані числові значення зведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта підсилення потоку сонячної енергії k

Параметри	Показники									
α	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
h	7,5	15	22	30	37	45	52	60	67	75
θ_1	82	75	67	60	52	45	37	30	22	15
k	8,4	6	4,4	2,8	$\frac{2}{1}$	1,8	1,5	1,4	1,3	1,2

Під час аналізу отриманих табличних значень встановлено, що приріст енергетичної освітленості ПК з найменшими затратами реалізується при $L = S$ з кутом нахилу від 90° до 110° і коефіцієнтом посилення потоку k від 1,8 до 1,2.

Отже, за відсутності ПДК вимірний піранометра потік сонячних променів становив 698 Вт/м^2 , а теплова потужність повітряного колектора $271,3 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$. Під час використання ПДК ці величини зросли до рівня потоку сонячної енергії $1345,5 \text{ Вт/м}^2$, а теплова потужність повітряного колектора $532,1 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$ відповідно. Таким чином енергетична освітленість зовнішньої поверхні покриття повітряного колектора виросла в 1,92 рази, а теплова потужність – в 1,96 рази.

Бібліографічний список.

1. Korobka S., Babych M. Substation of the constructive-technological parameters of a solar fruit dryer // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 1, Issue 8 (85). P. 13–19. doi: 10.15587/1729-4061.2017.90299

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПЛАСКОГО СОНЯЧНОГО ПОВІТРЯНОГО ГЕЛІОКОЛЕКТОРА З ХВИЛЯСТОЮ ПОГЛИНАЮЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ

*С. Коробка¹, к.т.н., В. Гальчак¹, к.ф.-м.н., І. Стукалець¹, к.т.н.,
Б. Болтянський², к.т.н., В. Клемко¹, бакалавр*

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького

²Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Повітряний геліоколектор (ПГК) – це пристрій, що призначений для збору енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі і перетворення його в теплову енергію.

В лісовому комплексі України, зокрема в побутово-господарських столярних цехах ПГК, як додатковий нагрівний елемент низькотемпературного джерела теплоти, а саме у геліосушарці для сушіння пиломатеріалів знайшов широке застосування в умовах помірного континентального клімату України. Наприклад, у зоні західного Полісся можна повноцінно застосовувати ПГК [1]. Зокрема, на кафедрі енергетики Львівського національного аграрного університету (м. Львів, Україна), було розроблено ряд різних конструкцій ПГК, що є активною системою використання сонячної енергії.

ПГК конструктивно виготовлений у вигляді нероздільного енергетичного блока, що включає в себе коробку з теплоізолюваними стінками, одинарним застосуванням і селективною поверхнею на її днищі. Каркас ПГК розміром 1×1,5 м виконаний за класичним щілинним варіантом і складається з дерев'яної рами, що виготовлена з обрізної соснової дошки розміром 25×150×4000. В одній з сторін дошки була вибрана четверть глибиною 16 мм і товщиною 10 мм для кращої герметизації стін. Під час теплоізоляції стін використали пінопластові плити розміром 985×1485 мм товщиною 12 мм з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda=0,040$ Вт/м·К. Задню стінку ПГК закрили деревоволокнистою плитою розміром 985×1485 мм та оббили алюмінієвою фольговою теплоізоляційною плівкою з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda=0,020$ Вт/м·К. Для міцності та геометричності корпусу по кутовим бокам дерев'яного каркасу геліоколектора були вмонтовані кутники довжиною 140 мм, які виготовлені із звичайного сталюого профільного кутника 60×60×5 мм. У нижній і верхній частині геліоколектора було висвердлено 18 отворів діаметром $d=55$ мм. В отвори було заведено і змонтовано круглий метало-поліетиленовий повітропровід діаметром $d=54$ мм та довжиною 10000 мм для кращого нагрівання та циркуляції повітря у середині колектора.

На вході у повітропровід вмонтовано нагнітальний малогабаритний вентилятор типу YM1217ANB1 потужністю 12,6 Вт та продуктивністю 348,3 м³/год. Вентилятор живиться постійною напругою 12 В від сонячної батареї типу Perlight PLM-020P/12 потужністю 20 Вт і розробленої автономної системи енергопостачання. Це дало змогу у два рази зменшити в повітропроводі гідравлічний опір циркулюючого повітря і тепловтрати у середині колектора. Відбирання нагрітого теплоносія з повітропроводу колектора, наприклад для

потреб геліосушарки, здійснюємо відцентровим вентилятором типу TORNADO DE 100 1F потужністю 45 Вт та продуктивністю 240 м³/год.

Стабільний повітрообмін у колекторі забезпечити важко. Тому що він залежить від зміни мінливих, різких, раптових режимів сонячного освітлення та типових (сезонних) метеорологічних умов. Зокрема рівень інсоляції, що впливає на роботу сонячної батареї Вт і автономної системи енергопостачання, а ті в свою чергу на продуктивність вентиляторів.

Верхня частина ПГК виконана із одношарового прозорого покриття, а саме із скла з тепловідбиваючим покриттям твердого типу 0,02 % Fe₂O₃ з коефіцієнтом випромінювання $\varepsilon=0,1\dots0,15$. Адсорбер виготовлений з тонкого мідного листа товщиною 0,9 мм, покритого з лицьової сторони селективною фарбою типу "Tinox" товщиною 4,5 мкм. Повітря подається повітропроводом через отвори між тильною частиною мідної підкладки ПГК та алюмінієвою фольгованою теплоізоляційною плівкою, яке одночасно служить нижнім покриттям ПГК. Виступи профілю розташовані поперек потоку повітря для його турбулізації з метою підвищення ефективності тепловіддачі адсорбера.

З метою збільшення ефективності тепловідводу від адсорбера повітряний потік турбулізували вибором перерізу щілин, швидкості потоку або додатковими конструктивними елементами. Таким чином, відпадає необхідність подвійного засклення, а невелике зменшення температури вихідного потоку компенсується збільшенням теплопродуктивності колектора. Тому, для підвищення ефективності тепловіддачі тильного боку адсорбера прикріплюють додаткові опори у вигляді гнутих тонколистових мідних швелерів висотою 20...30 мм. Вони підвищують жорсткість адсорбера і запобігають його коливанням при взаємодії з турбулізованим потоком повітря. Схематична будова ПГК наведена на рис. 1 та етапи монтажу на рис. 2.

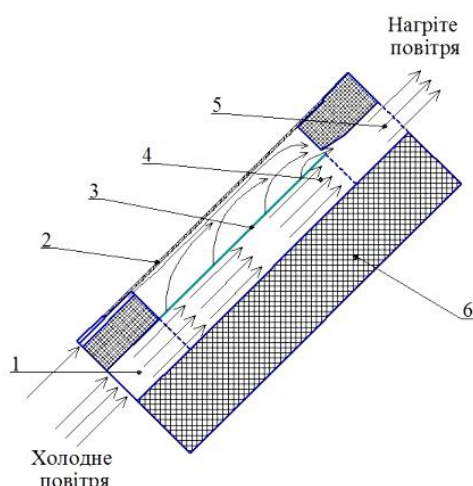


Рисунок 1 –
Структурна схема
будови повітряного
геліоколектора: 1 –
вхідний канал; 2 –
одношарове прозоре
покриття; 3 –
адсорбер; 4 –
повітропровід; 5 –
вихідний канал; 6 –
теплоізолююча стінка

Для стаціонарного ПГК у два літні місяці максимальна чутливість приросту теплопродуктивності від зміни кута нахилу β_{opt} до горизонту становить 20 %, а у два осінні місяці теплопродуктивність колектора несуттєво залежить від кута нахилу. Тому, оптимальний кут нахилу ПГК для м. Корець

Рівненської області (Україна) до горизонту $\beta_{\text{опт}}$ вибираємо близьким до середньорічного оптимального який за даними NASA [2], що становить $-40,4^\circ$.

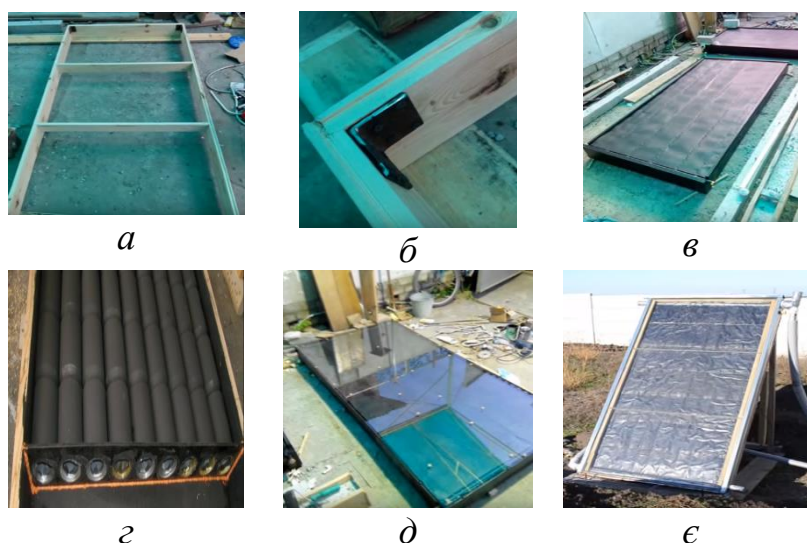


Рисунок 2 – Етапи складання елементів конструкції дослідного зразка повітряного геліоколектора: *а* – складання каркасу колектора; *б* – перевірка геометрії корпусу колектора; *в* – закріплення абсорбера; *г* – розміщення повітряних каналів; *д* – встановлення одношарового скла з тепловідбиваючим покриттям твердого типу 0,02 % Fe_2O_3 ; *є* – монтаж та пусканалагодження дослідного зразка ПГК [3].

Плоский дзеркальний концентратор повертається навколо осі, паралельній довшій стороні ПГК. Ручною зміною кута нахилу в інтервалі від 0 до 120° відбиті промені додатково освітлюють сприймаючу поверхню ПГК зранку до полудня. Після полудня пристрій повороту перевстановлюється на протилежній боковій кромці колектора.

Таким чином, розроблено нову конструкцію та описано поетапне складання елементів дослідного зразка ПГК з герметичним та утепленим корпусом, що може використовуватися як додатковий нагрівний елемент низькотемпературного джерела теплоти для геліосушарки.

Бібліографічний список.

1. Korobka S., Babych M., Krygul R., Zdobytskyj A. Substantiation of parameters and operational modes of air solar collector. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 3/8(93). P. 16 – 29. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132090
2. NASA Surface meteorology and Solar Energy [Електронний ресурс] // Available Tables. – Режим доступу: \www/URL:http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid/cgi?uid=3030. – 30.05.2025 р.
3. Boyarchuk V., [Korobka S.](#), [Babych M.](#), [Krygul R.](#) Results of research into thermal-technical characteristics of solar collector. [Eastern European Journal of Enterprise Technologies – 2018.](#) – Vol. 5. Issue 8(95). – P. 23-33. doi : 10.15587/1729-4061.2018.142719

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ СТРУКТУРИ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

*С. Сиротюк¹, к.т.н., Т. Станицький¹, ст. викладач, І. Дудко¹, асистент,
О. Болтянський², Б. Болтянський², к.т.н.,*

*¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З. Гжицького*

*²Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Сучасні тенденції розвитку відновлюваної енергетики демонструють активне впровадження гібридних вітро-сонячних електроенергетичних систем, які поєднують у собі можливості одночасного використання сонячного випромінювання та енергії вітру. Такі системи дозволяють забезпечити більш стабільне енергопостачання споживачів, знизити залежність від погодних умов та підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності. Основою побудови гібридної системи є узгодження електричних параметрів усіх її компонентів – сонячних панелей, вітроелектричної установки, системи акумулювання та інверторного обладнання. Ключовим параметром у цьому випадку виступає напруга, оскільки саме вона визначає робочі режими гібридного інвертора та батарейного блоку. Невідповідність електричних характеристик призводить до втрат енергії, зниження ефективності та потенційного скорочення терміну служби обладнання.

Гібридні електрогенерувальні установки зазвичай передбачають у своїй структурі новітні системи накопичення енергії. На практиці найчастіше застосовуються акумуляторні батареї на базі LiFePO₄-комірок, які мають підвищену безпеку, довший ресурс роботи (більше 4000 циклів), стабільність характеристик у широкому діапазоні температур та екологічну прийнятність. Важливою особливістю таких акумуляторів є наявність системи індивідуального балансування комірок, що забезпечує рівномірність заряд-розрядного циклу та запобігає деградації окремих елементів.

Вибір ємності акумуляторів необхідно здійснювати з урахуванням двох взаємопов'язаних підходів:

- з боку користувача – коли ємність повинна забезпечувати накопичення необхідного обсягу електроенергії для покриття прогнозованого споживання. Це дозволяє формувати резерв енергії на випадок зниження інтенсивності сонячного випромінювання або нестачі вітрового потенціалу;

- з боку генераторів – коли ємність повинна бути достатньою для формування оптимального режиму зарядки, відповідного робочим характеристикам сонячних модулів та вітроелектричної установки. Недостатня ємність призводить до перевантаження акумуляторів та втрат виробленої енергії, надлишкова – до необґрунтованих капітальних витрат.

Таким чином, оптимізація параметрів батарейного блоку є критичним етапом при проектуванні вітро-сонячних електроенергетичних систем.

Функціонування вітро-сонячної електроенергетичної системи значною мірою залежить від рівня автоматизації та алгоритмів керування. Система керування повинна виконувати такі завдання:

- узгоджене керування процесами зарядки та розрядки акумуляторної батареї;
- підтримка балансу між виробництвом та споживанням енергії;
- забезпечення безпечної роботи вітроелектричної установки;
- реалізація інтелектуальних алгоритмів оптимізації енергетичних потоків.

Особлива увага приділяється системам безпеки вітроустановки. Вони повинні забезпечувати стабільну роботу при зміні напрямку вітру в діапазоні до номінальної швидкості та переводити вітровий ротор у безпечний режим при перевищенні допустимих швидкостей. Це виконується за допомогою автоматизованих механізмів орієнтації та аеродинамічного захисту.

Важливим напрямом розвитку систем управління вітро-сонячних електроенергетичних систем є використання алгоритмів на базі нечіткої логіки (Fuzzy Logic). Вони дозволяють:

- враховувати багатofакторні та непередбачувані впливи метеорологічних умов;
- приймати оптимальні рішення у режимі реального часу;
- гнучко адаптувати параметри зарядно-розрядних процесів.

Окрім цього, керування роботою акумуляторів повинно базуватися на аналізі поточних та прогнозних даних щодо погодних умов та рівня енергоспоживання. Такий підхід дозволяє підвищити енергоефективність системи, зменшити глибину розряду акумуляторів та продовжити їх ресурс.

Таким чином, вибір структури та апаратних засобів вітро-сонячної електроенергетичної системи ґрунтується на необхідності узгодження параметрів усіх складових компонентів. Важливими є:

- правильний вибір робочої напруги;
- обґрунтування ємності акумуляторних батарей;
- застосування LiFePO_4 – комірок із системами балансування;
- впровадження інтелектуальних систем управління, здатних до адаптації та прогнозування.

Завдяки комплексному підходу забезпечується ефективна, безпечна та довговічна робота гібридної електроенергетичної установки, що є особливо актуальним в умовах зростання попиту на відновлювану енергетику та необхідності зниження вуглецевого сліду.

Не менш важливим аспектом є економічне обґрунтування запропонованих рішень, оскільки це дозволить обґрунтувати раціональне співвідношення номінальних потужностей структурних компонентів для оптимізації виробництва необхідних обсягів електроенергії.

ВКЛАД СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА У РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

В. Лобойченко^{1, 2}, д.т.н.,

М. Соломчук², здобувачка вищої освіти

¹Universidad de Sevilla (Spain),

²Луцький національний технічний університет

На сучасному етапі розвитку людства безперервне забезпечення енергією є важливим елементом функціонування багатьох галузей та частиною національної (цивільної) безпеки держави. В той же час існуючі економічні, політичні та екологічні вимоги вказують як на необхідність використання диверсифікованих джерел енергії, так і на відхід від викопних джерел енергії. В цьому напрямку активно розвивається сонячна, вітрова енергетика, гідроенергетика, а також інші альтернативні джерела енергії. Їх загальним недоліком є відсутність стабільного функціонування (вплив погодних умов тощо), які складно враховувати в глобальній електромережі на рівні міста, держави тощо. Останнім часом все більше уваги набуває розвиток так званих мікрогридів – локальних енергетичних систем, що можуть використовувати декілька різних джерел для виробництва енергії (вітер, вода, сонце, термальна енергія, біовідходи тощо). Ця система може також містити паливні елементи та електролізер для зберігання та конвертації енергії [1]. Їх комбінація та потужності, а також вклад в загальну генерацію енергії можуть коливатись значним чином, що дозволяє розглядати мікрогриди як реальну альтернативу існуючим енергосистемам та джерелам енергії, особливо у віддалених районах [2].

Для України, де сільське господарство є однією з провідних галузей, утилізація відходів рослинництва та тваринництва є однією з існуючих проблем в сфері поводження з відходами. Відповідно, їх подальше використання в сфері відновлювальної енергетики, зокрема, виробництво біогазу або безпосередньо газифікація біомаси в біореакторах в структурі мікрогридів може стати частиною створення нової «зеленої» енергетичної системи України. З одного боку, це дозволить забезпечити енергетичну незалежність країни, а з іншого – сприятиме екологізації її економіки в межах концепції Індустрії 5.0 та з метою досягнення нею Цілей Сталого Розвитку.

Бібліографічний список.

1. V. Loboichenko et al. Study of the use of biogas as an energy vector for microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 200. P. 114574. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114574> (date of access: 25.09.2025).
2. P. Motevakel et al. Strategic Resource Planning for Sustainable Biogas Integration in Hybrid Renewable Energy Systems. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 2. P. 642. URL: <https://doi.org/10.3390/app15020642> (date of access: 25.09.2025).

СТРУКТУРНА ПЕРЕБУДОВА ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*С. Сиротюк¹, к.т.н., Т. Станицький¹, ст. викладач, І. Дудко¹, асистент,
О. Болтянський², Б. Болтянський², к.т.н.,*

*¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З. Гжицького*

*²Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Вітроелектричні установки (ВЕУ) малої потужності працюють у приземному шарі атмосфери з низькою швидкістю вітру та високою турбулентністю. Прикладом такої установки є ВЕУ В-3, створена у Львівському національному аграрному університеті спільно з німецькою фірмою Aurora Windpower GmbH. Вона успішно пройшла державні випробування і призначена для живлення споживачів змінним струмом у районах із середньорічною швидкістю вітру понад 3 м/с. Потужність системи 5 кВт. Вона може працювати автономно або як резервне джерело, заряджаючи акумулятор від вітру чи від електромережі. Конструктивно ВЕУ В-3 складається з ротора, мультиплікатора, синхронного генератора, випрямляча, акумуляторної батареї та інвертора.

Основними напрямками вдосконалення є: формування нової стратегії та підбір нових матеріалів для виготовлення лопатей. Виконані зі сталевих елементів, що збільшує вагу. Перспективним є використання композитів, які знижують масу й зберігають міцність; заміна типу та конструктивних параметрів мультиплікатора, що дозволить застосовувати серійні низькооборотні електрогенератори зі збудженням від постійними магнітами. Установлений бортовий редуктор виявився нераціональним та збільшеної металоємності; перехід на високоефективні типи акумуляторів, наприклад на комірки LiFePO_4 , які дозволяють реалізувати довільну робочу напругу та ємність. Поточна версія системи акумуляування була реалізована на базі кислотного-свинцевих акумуляторів, і для роботи в системі з напругою 220 В було застосовано 18 послідовно з'єднаних акумуляторів; для стабілізації напруги слід застосовувати випрямлячі та підвищувально-понижувальні DC-DC конвертори, що дозволяє реалізувати режим зарядки акумуляторів навіть при зниженій вихідній напрузі генератора, а також розширити діапазон роботи електрогенератора.

Отже, оптимізація стосується як конструктивних, так і енергетичних рішень. Важливо розглядати установку як єдину електромеханічну систему «ротор – мультиплікатор – генератор – перетворювач – акумулятор», враховуючи взаємний вплив усіх елементів. Імітаційне моделювання допоможе обґрунтувати параметри та забезпечити ефективність і економічність ВЕУ В-3 у майбутньому серійному виробництві.

МЕТОД КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ АКУМУЛЯТОРА В РОЗУМНІЙ МІКРОМЕРЕЖІ

*М. Медиковський, д.т.н., М. Мельник аспірант
НУ «Львівська політехніка»*

Сучасний розвиток систем розумних енергетичних мереж (Smart Grids) вимагає високої точності прогнозування та керування процесами зберігання енергії, особливо в мікромережах, де баланс між виробництвом і споживанням електроенергії суттєво залежить від динаміки роботи акумуляторних систем. Проблематика балансування енергії в мікромережі є предметом активних досліджень — так, автори [1] показали, що деградаційні процеси літій-іонних батарей значно впливають на стратегії енергоменеджменту та точність прогнозу напруги. Інші автори [2], підкреслюють, що класичні аналітичні моделі не забезпечують адекватної оцінки стану заряду (SOC) у мікромережах з LiFePO_4 акумуляторами, натомість потребують гібридних або інтелектуальних підходів. В реальних умовах експлуатації мікромереж фіксується лише частковий набір параметрів, що надходять із BMS або інверторів (напруга, струм, потужність, температура, SOC). Це обмежує можливості класичних аналітичних моделей, які потребують повних характеристик для точної оцінки стану акумулятора. Як зазначено в огляді [3], для моделювання процесів у батареях доцільно застосовувати адаптивні методи — фільтри Калмана, метод найменших квадратів, генетичні алгоритми або машинне навчання, що дозволяє компенсувати відсутність даних.

Розроблено метод комп'ютерного моделювання LiFePO_4 -акумулятора, який дозволяє визначати напругу на клеммах, що відображає енергетичний потенціал батареї, враховуючи ключові параметри її роботи. Основою дослідження стали історичні дані експлуатації системи DEYE BOS-G LiFePO_4 HV 51.2V 100Ah (5.12 кВт·год), інтегрованої у гібридну мікромережу малого фермерського господарства. Дані були отримані з онлайн-платформи Deye Cloud з інтервалом 5 хвилин. Для валідації результатів використано незалежний сегмент даних та обчислено такі показники як R^2 , MSE, MAE та MAPE. У межах основного робочого режиму заряду струмом 10 -15А, модель продемонструвала найкраще узгодження між змодельованими та фактичними даними. Усереднені показники точності склали: $\text{MSE}=0,005$, $\text{MAE}=0,059$, $R^2=0,96$, $\text{MAPE}=0,002\%$. У режимі розряду акумулятора в інтервалі струмів 10 -15 А отримані показники моделі також свідчать про її високу точність і стабільність. За результатами моделювання методом найменших квадратів отримано такі значення: $\text{MSE} = 0,0065$, $\text{MAE} = 0,057$, $R^2 = 0,96$, $\text{MAPE} = 0,0011$.

Порівняння режимів заряду та розряду показує, що модель демонструє симетричну поведінку в обох напрямках енергетичного потоку. Незначне підвищення MSE у режимі розряду (приблизно на 0.0015) пояснюється нелінійністю динаміки напруги під навантаженням і впливом температурних факторів. Проте значення $R^2 = 0,96$ підтверджує, що запропонована модель

залишається достовірною для обох режимів експлуатації акумулятора, забезпечуючи відтворення фактичних залежностей з похибкою менше 0,2%. Таким чином, метод найменших квадратів забезпечує стабільну точність при моделюванні зарядних та розрядних процесів у робочому діапазоні струмів. Розроблений метод комп'ютерного моделювання дозволяє визначати напругу на клеммах LiFePO₄-акумулятора на основі обмеженого набору даних, доступних із BMS.

Отримана модель може бути інтегрована у системи моніторингу та керування мікромережами для прогнозування енергетичного потенціалу акумулятора та оптимізації процесів заряджання/розряджання. Подальші дослідження планується спрямувати на використання фільтрів Калмана та машинного навчання для вдосконалення точності оцінки SOC та прогнозування деградації акумуляторів у довгостроковій перспективі.

Бібліографічний список.

1. B. Weißhar, W. Bessler. Model-based degradation assessment of lithium-ion batteries in a smart microgrid. 2015 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE) DOI:10.1109/ICSGCE.2015.7454284
2. J. Magsumbol, A. Marife, I. Palconit, A review of smart battery management systems for LiFePO₄. Journal of Advanced Computational Intelligence Vol.26 No.5, 2022 and Intelligent Informatics 2022, №26, № 5, p. 824-833 DOI:10.20965/jaciii.2022.p0824
3. M.A. Ali et al. Optimal micro-grid battery scheduling within a comprehensive smart pricing scheme. Scientific Reports 15, Article number 20098 2025 DOI:10.1038/s41598-025-02690-9

THE INTERMITTENCY PHENOMENON IN THE CONTEXT OF WIND ENERGY USE

*M. Herkowiak¹, B. Dybek¹, G. Wałowski¹, S. Syrotyuk², T. Stanytskyi², I. Dudko²,
1Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute, Falenty,
Poland*

*²Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and
Biotechnologies of Lviv*

This article presents the characteristics of energy generated by a wind turbine. Technological and systemic solutions for minimizing the impact of wind energy intermittency are identified. Energy production variability is analyzed depending on wind speed for a 3 MW turbine. It demonstrates the significant increase in interest in renewable energy sources in Poland, including wind farms. It analyzes the strategy for developing wind energy to address new climate realities.

The variability and unpredictability of wind energy production resulting from weather conditions is one of the main technological and systemic challenges for the energy transition. Sustainable integration of wind farms into national and international power systems requires the development of storage technologies, increased energy system flexibility, and appropriate spatial and investment planning. In the long term, the development of artificial intelligence, meteorological forecasts, and smart grids can significantly increase the efficiency and reliability of wind energy utilization. Wind energy has many advantages, the most significant of which include: the inexhaustibility of the energy source and the generation of energy without polluting the environment. However, the most significant disadvantages include high investment costs, the cyclical nature of energy generation, and the noise generated by operating turbines. Despite these drawbacks, it appears that the significant advantages of wind energy will drive its dynamic development both in Poland and globally.

APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS (IoT) IN WIND ENERGY PRODUCTION

K. Konieczna¹, G. Wałowski², S. Syrotyuk³, T. Stanytskyi³, I. Dudko³,

¹Warsaw University of Technology, Faculty of Electronics and Information Technology

²Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute, Falenty

³Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv

The article presents - what is the Internet of Things (IoT), how wind farms operate, and why it's worth integrating IoT with renewable energy? It highlights the monitoring of wind turbine operating parameters, process automation and optimization, and failure prediction and predictive maintenance. Examples of wind farm systems utilizing IoT, as well as technologies and platforms used in monitoring, are presented. By identifying the challenges and limitations of data management, the future of IoT in wind energy is outlined.

In 2024, research was published on the integration of IoT with machine learning in wind energy. Analysis of meteorological data from IoT sensors combined with regression models such as linear regression allows for precise forecasting of energy generation from wind turbines.

Autonomous Energy Systems (AES) are a modern approach to power grid control, in which the system autonomously monitors, decides, and responds to changes in production, demand, and operating conditions. The National Renewable Energy Laboratory (NREL) is developing a concept that enables the management of complex systems with multiple distributed energy sources, storage devices, and electric vehicles, optimizing energy balance in real time and increasing system resilience to disturbances. Such systems enable automatic adaptation of turbine, storage device, and control elements without the need for constant human intervention, improving efficiency, reducing losses, and enabling better integration of renewable energy sources.

IoT plays a key role in integrating various renewable energy sources into smart grids. Using sensors and smart meters, it's possible to monitor and manage the flow of energy from wind turbines, solar panels, and other sources in real time.

WIND TURBINES AND FARMS USING AI FOR ENERGY STORAGE

P. Radek¹, G. Wałowski², S. Syrotyuk³, T. Stanytskyy³, I. Dudko³,

¹Department of Optoelectronics, Faculty of Electrical Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

²Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute, Falenty,

³Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv

A synthetic overview of wind turbine technologies (onshore/offshore), grid integration, levelized cost of ownership (LCOE) trends, and artificial intelligence applications (forecasting, diagnostics, control, digital twins) from 2015 to 2025 is presented. The role of energy storage (BESS, LAES, CAES, P2X/H₂, pumped-storage) in increasing system flexibility and the market value of wind is considered. Research gaps and R&D priorities are identified.

The cost-competitiveness of wind is maintained: onshore wind remains in the lower cost range of new capacity (weighted LCOE \approx \$0.034/kWh globally), with cost ranges determined primarily by CF, WACC, and execution risks. Capacity scale and supply chain maturity are increasing, particularly offshore (12–20+ MW/turbine), but costs and timing are sensitive to logistics, weather windows, and installation vessel availability. HVDC is becoming the standard for offshore power exports, and the transition to meshed/multi-terminal requires multi-vendor interoperability (InterOPERA) and standardized FAT/SAT/HIL testing.

Grid-forming and converter compatibility are key to the stability of low-inertia systems; harmonized test profiles and certification requirements at the WTG/WPP/HVDC level are necessary. AI enters operations: the best results are achieved by combining forecasting (LSTM/GRU/Transformers), FDD/RUL, and wake steering – measured not only by Δ AEP but also by the impact on the service profile and network constraints.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГЕЛІОСУШАРКИ НА ОСНОВІ СКЛОПАКЕТІВ

С. В. Коробка, к.т.н., І. Г. Стукалець, к.т.н.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького

Робота присвячена дослідженню, спрямованому на підвищення енергоефективності процесу сушіння фруктів у геліосушарках при малих обсягах переробки сировини, що наведено на рис. 1.

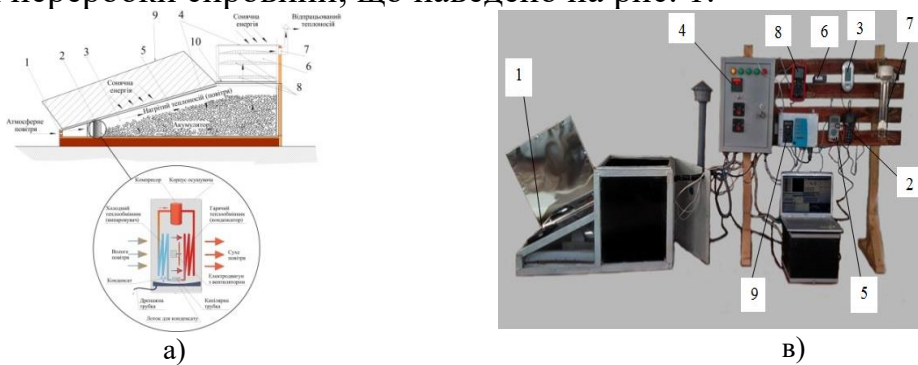


Рисунок 1 – (а) Конструктивно-технологічна схема геліосушарки з тепловим акумулятором та плоский дзеркальний концентратор і (в) загальний вигляд дослідної установки: 1 – входний канал; 2 – волого осушувач теплоносія; 3 – повітропровід; 4 – повітряний колектор; 5 – теплоакumuлюючий матеріал (ТАМ); 6 – сушильна камера; 7 – витяжний канал; 8 – решета; 9 – плоский дзеркальний концентратор; 10 – заслінка.

Основна задача полягає у зниженні тепловтрат через огороджувальні конструкції, зокрема склопакети. Для цього пропонується застосування прозорих огороджувальних конструкцій на основі склопакетів типів 4M1-16(Ar)-4i; 4M1-8(A)-4M1-12(A)-4M1; 4M1-8(Ar)-4M1-12(Ar)-4i. Визначення тепловтрат через огороджувальні конструкції та коефіцієнта теплопередачі абсорбера геотермічного сушильного агрегату виконано в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Досліджено будову та параметри склопакетів, проведено аналіз їх теплостійкості з точки зору теорії теплопередачі та порівняння показників теплопередачі зовнішніх огороджувальних елементів. Оцінено рівень оптичних втрат у різних конструкціях, а також опір теплопередачі з урахуванням газонаповнення, відстані між шибками і проходження видимого та інфрачервоного випромінювання через скло і низькоемісійне покриття. Запропоновано інноваційні рішення для підвищення термічного опору сучасних склопакетів, а оцінка оптичної складової світлового потоку за допомогою актинометра та люксметра дозволила визначити ефективність різних конструктивних та технологічних рішень. Результати дослідження сприяють покращенню проникнення сонячної енергії через прозоре покриття повітряного колектора до абсорбера та зменшенню віддзеркалення, що підвищує енергетичні характеристики установки.

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ З ВИМІРЮВАННЯ ТЕМНОВИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

*С. В. Коробка, к.т.н., І. Г. Стукалець, к.т.н., С. Баранович, к.т.н.,
У. Дзуль, бакалавр*

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького*

Фотоелектричні панелі є основою сучасних сонячних енергетичних систем і широко застосовуються як у побутовому, так і в промисловому секторі, їхня надійність та ефективність визначаються електрофізичними параметрами, дослідження яких дозволяє оцінити якість виготовлення, рівень деградації та перспективи використання у конкретних умовах експлуатації.

Одним із найбільш інформативних методів дослідження фотоелементів є вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ), які отримуються за відсутності сонячного випромінювання. На відміну від робочих ВАХ під освітленням, цей метод дає можливість глибше дослідити фізичні процеси всередині напівпровідникової структури: механізми генерації та рекомбінації носіїв заряду, величину струмів витоку, якість переходу р-п та ефективність бар'єрних шарів.

Для проведення подібних досліджень був розроблений спеціалізований лабораторний стенд, який складається з кількох основних елементів: джерела стабілізованої та керованої напруги; вимірювальних приладів для реєстрації напруги й струму з високою точністю; системи збору та обробки даних, що дозволяє автоматизувати процес побудови характеристик в програмному забезпеченні SolidWorks Electrical.

Конструкція стенду передбачає можливість роботи у широкому діапазоні напруг і струмів, що забезпечує універсальність його застосування для різних типів фотоелектричних панелей. Крім того, використання сучасних електронних компонентів дозволяє досягти високої стабільності та відтворюваності результатів (рис. 1).



Рисунок 1 – Експериментальна установка для визначення вольт-амперної та люкс-вольтової характеристики фотоелементу

Важливою перевагою розробленої установки є можливість автоматизації процесу дослідження, що зменшує похибки вимірювань і підвищує швидкість отримання результатів. Побудовані за допомогою стенду темнові ВАХ можуть застосовуватися для: контролю якості фотоелектричних панелей; порівняльного аналізу різних технологій їх виготовлення; оцінки деградації в процесі тривалої експлуатації; навчальних і науково-дослідних цілей.

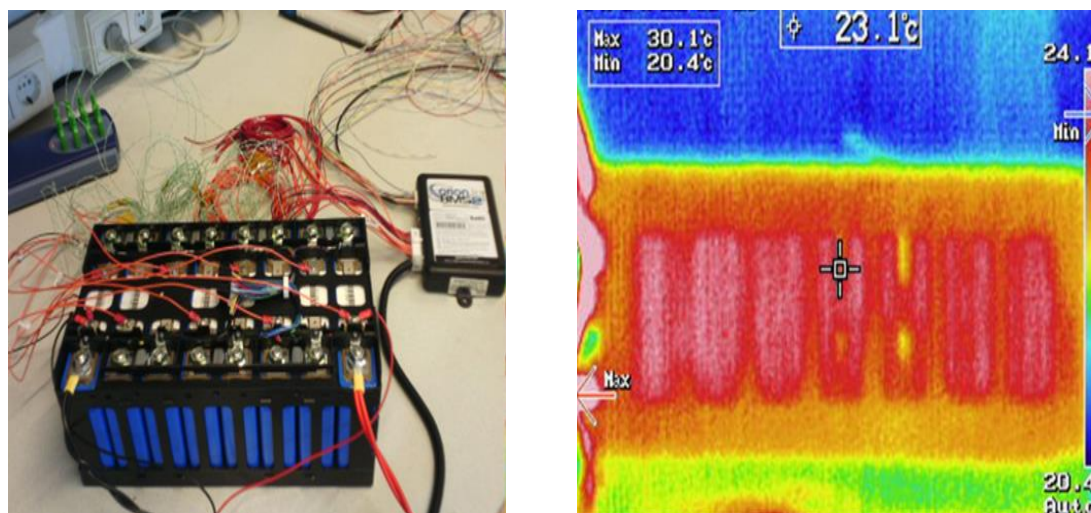
Таким чином, створений лабораторний стенд є ефективним інструментом для дослідження електрофізичних властивостей фотоелектричних перетворювачів. Його застосування забезпечує підвищену точність і зручність у роботі, а також сприяє розвитку навчальних програм і наукових досліджень у галузі сонячної енергетики.

ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ СИСТЕМИ ФОТОМОДУЛЬ-АКУМУЛЯТОР

*С. В. Коробка, к.т.н., І. Г. Стукалець, к.т.н., Р. Б. Шеремета, к.т.н.,
А. Жолобко, бакалавр*

*Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С. З. Гжицького*

Фотоелектричні установки (ФЕУ) є ключовим елементом «зеленої» енергетики, однак їх ефективність значною мірою залежить від узгодженості роботи фотомодулів і акумуляторів. Недосконалість зарядно-розрядних процесів зумовлює втрати енергії та зниження ККД системи. Робоча точка модуля змінюється під впливом радіації й температури, а ефективність зберігання визначається коефіцієнтом віддачі (η_Q) та енергетичним ККД (η_W), що залежать від струму, внутрішнього опору й умов експлуатації. Найпоширенішими для ФЕУ є літій-іонні акумулятори (рис. 1) з ККД близько 75%. Перспективними залишаються літій-сірчані, літій-повітряні, твердотільні батареї та алюміній-іонні системи, а також суперконденсатори. Серед проблем – деградація ємності на 20–30%, обмежена інфраструктура переробки та потреба у вдосконалених алгоритмах заряджання. Енергетичний аналіз взаємодії фотомодуль-акумулятор дає змогу оцінити втрати та оптимізувати режими, що є необхідною умовою підвищення надійності й ефективності ФЕУ в умовах зростання частки відновлюваної енергетики за допомогою програмного забезпечення SolidWorks Electrical.



A

B

Рисунок 1 – Інфрачервоне зображення модуля літій-іонного акумулятора (А) і (В) демонструє розподіл температури на поверхні комірок всередині модуля під час розряду з током 0,1 С_н.

Модуль використовувався протягом восьми років і пройшов значну

кількість циклів заряджання та розряджання, досягнувши 70% від початкової потужності. Для більш детальних вимірювань температури була використана 8-канальна термопарна система для моніторингу температури поверхні (на фото А). Інфрачервона камера застосовувалася для відстеження температурного розподілу на поверхні комірок у модулі.

Отже, для зменшення непродуктивних втрат енергії у фотоелектричних установках слід дотримуватися таких рекомендацій:

- Зарядно-розрядні струми не повинні перевищувати $0,1 C_n$.
- Зарядно-розрядний цикл акумулятора слід обмежити інтервалом від 0,25-0,30 до 0,75-0,80 від номінальної ємності.
- Ємність проектованої фотоелектричної установки повинна бути розрахована на 2-2,5 рази більше за добову продуктивність фотомодуля.

ORGANIZERS AND PARTNERS



**WARSAW
UNIVERSITY
OF LIFE SCIENCES**

Warsaw University of Life Sciences



University of Agriculture in Krakow



UKSW

**CARDINAL STEFAN
WYSZYŃSKI UNIVERSITY
IN WARSAW**

Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw



Ondokuz Mayıs University



Асоціація «Енергоефективні міста України»



eco OPTIMA
green energy for life



**GREEN
WEST**
NEW AGE OF TECHNOLOGIES



geoteplo



**POWER
NEEDS CONTROL**

Spline

KRIPTER
SYSTEM SOLUTION



Наукове видання

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕСУРСОЩАДНІСТЬ, ТРАДИЦІЙНА ТА
ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА**

*Матеріали
XIV-ої Міжнародної наукової конференції
08-10 жовтня 2025 р.*

*Адреси для листування:
80381, Україна, Львівська обл., Львівський район, м. Дубляни, вул. В. Великого, 1
E-mail: energetyky@lnau.edu.ua*