

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Стафій Максим Вячеславович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Перспективні напрямки розвитку енергетичної бази села та підвищення
енергетичної ефективності сільськогосподарського виробництва
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Стафій М.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Цивенкова Наталія Миколаївна

_(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Стафій М.В. Перспективні напрямки розвитку енергетичної бази села та підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарського виробництва. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Метою даної роботи є аналіз перспективних напрямки розвитку енергетичної бази села з ціллю підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарського виробництва

Ключові слова: електропостачання, відновлювана енергетика, біогаз.

ABSTRACT

Stafiy M.V. Promising directions for the development of the energy base of the village and increasing the energy efficiency of agricultural production. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The purpose of this work is to analyze promising directions for the development of the energy base of the village with the aim of increasing the energy efficiency of agricultural production

Keywords: electricity supply, renewable energy, biogas.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БАЗИ СЕЛА	6
1.1. Особливості будови схем електропостачання споживачів у сільській місцевості	6
1.2 Специфіка електрифікації та енергетики сільського господарства	9
1.3 Національний проєкт розвитку сільських територій України	12
Висновки по розділу 1	15
РОЗДІЛ 2 РОЗВИТОК АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	16
2.1 Економічні передумови інноваційних напрямів енергопостачання АПК	16
2.2 Розвиток автономного електропостачання сільських споживачів на основі відновлюваних джерел електроенергії	20
2.3 Аналіз можливості енергопостачання сільських територій за допомогою мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії	25
Висновки по розділу 2	30
РОЗДІЛ 3 КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ	31
3.1 Комбіновані системи електропостачання з застосуванням в їх складі газопоршневих електростанцій	31
3.2 Використання біогазу в якості палива газопоршневих двигунів для вироблення електроенергії	32
Висновки по розділу 3	36
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38

ВСТУП

Сьогодні значна частина території України та сільських поселень не має централізованого електропостачання в наслідок військової агресії. Підключення ж їх до централізованих електричних систем ускладнене через відсутність резервних мереж та коштів на прокладання дорогих тепломереж і спорудження ліній електропередачі. Це означає, що забезпечити електроенергією та теплом споживачів, розташованих на цих територіях, найбільш доцільно за допомогою систем і обладнання автономної малої енергетики. В даний час питання їх електропостачання вирішуються установкою дизельних електростанцій, але це далеко не оптимальний варіант, а лише як вихід зі скрутного становища, тому важливого значення набуває реалізація систем малої енергетики на базі децентралізованих і комбінованих джерел енергопостачання з використанням місцевих та відновлюваних енергоресурсів.

В даний час для ряду споживачів розробляються системи та засоби автономного енергозабезпечення з використанням газу, місцевих і відновлюваних енергоресурсів. Ряд їх вже розроблено і вони можуть використовуватися тими споживачами, де вони при проведенні обґрунтування виявляться найбільш ефективними.

В останні роки з'явилися і з'являються в селі багато нових споживачів - фермерські господарства, нові об'єкти в тваринництві, рослинництві та переробці. Тому важливим завданням є розробка методології та рекомендацій щодо вибору та обґрунтування ефективних систем і технічних засобів енергозабезпечення характерних сільських об'єктів з урахуванням місця їх розташування, величини електричного і теплового навантаження, відстані від централізованих мереж енергозабезпечення та наявності місцевих енергоресурсів.

Виходячи з цього, енергетична політика на селі повинна бути спрямована на вдосконалення структури паливно-енергетичного балансу з обґрунтуванням раціональних потреб села в енергоресурсах на найближчу і

середньострокову перспективу, освоєння нових видів палива та енергії, розробку та впровадження енергоекономних технологій і техніки, раціоналізацію та модернізацію систем забезпечення паливом і електроенергією, включаючи широке використання децентралізованих систем, місцевих і відновлюваних енергоресурсів.

Відповідно до вищезазначеного **метою роботи** є аналіз перспективних напрямки розвитку енергетичної бази села з ціллю підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарського виробництва

При написанні кваліфікаційної роботи були **використані методи** аналітичного аналізу, обробки статистичних даних відкритих джерел інформації та узагальнення європейських та вітчизняних ініціатив в галузі відновлюваних джерел енергії.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Стафій М. В. ВИКОРИСТАННЯ БЮГАЗУ В ЯКОСТІ ПАЛИВА ГАЗОПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ВИРОБЛЕННІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

Каленська А. Ю., Стафій М. В. МІКРОМЕРЕЖА НА ОСНОВІ ВДЕ ЯК ІНСТРУМЕНТ РІЗНИХ ГЕНЕРУЮЧИХ ДЖЕРЕЛ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БАЗИ СЕЛА

1.1. Особливості будови схем електропостачання споживачів у сільській місцевості

До електричних мереж сільськогосподарського призначення прийнято відносити мережі напругою 0,4-110 кВ, від яких забезпечуються електроенергією переважно (понад 50 % розрахункового навантаження) сільськогосподарські споживачі (включаючи виробничі потреби, меліорацію, комунально-побутові потреби та культурне обслуговування).

Електрифікація сільського господарства України, починаючи з 50-х років, здійснювалася високими темпами.

Основною особливістю електропостачання сільськогосподарських споживачів є необхідність охоплення мережами великої території з малими щільностями навантажень (5–15 кВт/км²). Це зумовлює значні витрати на спорудження розподільних мереж 0,4 і 10 кВ, які становлять 70 % загальних витрат на сільське електропостачання.

Масове будівництво електричних мереж за період 1960–1985 рр. дозволило електрифікувати практично всіх сільських споживачів. Майже всі вони забезпечені централізованим електропостачанням від енергосистем. Лише незначна кількість дрібних, віддалених від мереж енергосистем споживачів забезпечується електроенергією від ізольованих, малих, в основному дизельних електростанцій. Досягнутий рівень централізованого електропостачання дозволив довести річне споживання електроенергії сільським господарством протягом останнього десятиліття до 5–7 % загального електроспоживання по країні.

Можна вважати завершеним перший етап електрифікації сільських споживачів – охоплення електропостачанням «вшир». Розпочато реалізацію другого етапу – електрифікації «вглиб», що характеризується більш інтенсивним впровадженням електроенергії в сільськогосподарське

виробництво в результаті комплексної електромеханізації та автоматизації стаціонарних процесів, більш високим рівнем електрифікації побутових потреб сільського населення, а також більш якісним і надійним електропостачанням сільських споживачів.

На першому етапі електрифікації, коли електроенергія використовувалася, головним чином, для освітлення та приводу деяких допоміжних процесів, більшість сільськогосподарських споживачів за вимогами надійності відносилася до 3-ї категорії. З розвитком електрифікації технологічних процесів ці вимоги підвищувалися.

Основною системою напруги для електропостачання сільських споживачів є 110/35/10/0,4 кВ з підсистемами 110/10/0,4 кВ та 110/35/0,4 кВ [16]. Напруга 6 кВ для електропостачання сільського господарства не рекомендується; діючі мережі цієї напруги переводяться на 10 кВ.

У міру зростання щільності сільськогосподарських навантажень система напруг 110/10/0,4 кВ повинна отримати переважний розвиток, що дозволить відмовитися від одного ступеня трансформації і, отже, суттєво знизити витрату електроенергії на її транспортування.

Система централізованого електропостачання сільських споживачів складається з двох типів мереж [16]:

живлячих (ПЛ 110 та 35 кВ та ПС 110/35/10, 110/10 або 35/10 кВ);

розподільчих (ПЛ 10 кВ, споживацькі ПС 10/0,4 та 35/0,4 кВ та лінії 380/220 В).

Основним напрямом розвитку електричних мереж сільськогосподарського призначення є переважний розвиток мереж 35-110 кВ.

На першому етапі розвитку сільської електрифікації при незначних навантаженнях сільських споживачів схеми електричних мереж як живлячих, так і розподільчих, будувалися за радіальним принципом. Підстанції 35/10 кВ виконувалися однострансформаторними, малої потужності, на кожен з них припадало 200–300 км ПЛ 10 кВ, а радіуси дії цих ПЛ досягали 40–50 км. Мережі 35 та 10 кВ виконувалися, як правило, без секціонування та без

застосування АВР. На цьому етапі основним завданням було максимальне охоплення сільської місцевості централізованим електропостачанням при мінімальних капітальних витратах.

Рівень експлуатації сільських електричних мереж і особливо мереж напругою 0,4–10 кВ не відповідає сучасним вимогам, що пред'являються до надійності електропостачання сільських споживачів. В цілому стан електричних мереж 0,4 та 6–10 кВ характеризується даними табл. 1.1 [17].

Таблиця 1.1 - Технічний стан електричних мереж в сільській місцевості

	Стан елементів електричної мережі, %		
	добрий, задовільний	незадовільний	неможливий для подальшої експлуатації
ПЛ 0,38кВ	81,6	12,9	5,5
ПЛ6-20кВ	85,8	10,7	4,5
ТП 6-35/0, 38 кВ	87,1	10,0	2,9

Рівень втрат електроенергії в мережах сільськогосподарського призначення напругою 35 кВ і нижче становить близько 12 %, що приблизно в 2 рази вище за рівень втрат електроенергії в промислових і міських мережах того ж класу напруги.

Структура втрат електроенергії в мережах сільськогосподарського призначення в останні роки характеризується даними табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Структура втрат електроенергії в мережах сільськогосподарського призначення

Найменування елементу електричної мережі	Доля втрат електроенергії в розглянутому елементі в % від загальної кількості
Линії електропередачі напругою 0,4 кВ	34
Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ	26
Линії електропередачі напругою 6-10 кВ	25
ПС 35-110кВ сільськогосподарського призначення	6
ПЛ 35-110 кВ, які живлять ПС сільськогосподарського призначення	9
Всього:	100

Ліквідація визначених «вузьких» місць є першочерговим завданням сільської енергетики. При цьому на сучасному етапі електрифікації сільського господарства постають нові завдання: підвищення пропускної спроможності існуючої мережі, оскільки зростання навантажень призводить до збільшення

втрат електроенергії та зниження її якості, і підвищення надійності електропостачання.

Ці завдання вирішуються шляхом впровадження в живлячих та розподільчих сільських мережах наступних заходів [18]:

- спорудження розвантажувальних живлячих ПС 110/35/10 та 110 (35)/10 кВ для скорочення радіусів дії мережі 10 кВ та протяжності ПЛ 10 кВ, що відходять від однієї ПС. За останні роки питома протяжність ПЛ 10 кВ на одну ПС знизилася в 2 рази (до 100–150 км), а середній радіус дії зменшився до 15 км;
- збільшення кількості двотрансформаторних ПС 110 (35)/10 кВ. В даний час питома вага двотрансформаторних ПС 110 кВ становить понад 70 %, а 35 кВ - понад 50 %;
- збільшення кількості ПС з двостороннім живленням. Основним типом конфігурації мережі стає одноланцюгова ПЛ з двостороннім живленням від різних джерел. Нові підстанції 35–110 кВ підключаються, як правило, в розріз таких ПЛ або двома відгалуженнями від двох сусідніх одноланцюгових або дволанцюгової ПЛ. В даний час більше половини сільськогосподарських ПС 110 (35)/10кВ мають двостороннє живлення;
- поступовий перехід до системи 110/10 кВ шляхом [18]:
- спорудження ПС 110/10 кВ замість ПЛ 35 кВ, що проходять паралельно існуючим ПЛ 110 кВ;
- спорудження ПЛ 35 кВ в габаритах 110 кВ, якщо тривалість їх використання на нижчій напрузі не перевищить 5 років.

1.2 Специфіка електрифікації та енергетики сільського господарства

Найважливіша мета розвитку енергетичної бази сільського господарства – підвищення ефективності виробництва на основі електромеханізації технологічних процесів, забезпечення надійного, сталого та економічного енергопостачання виробничих об'єктів, зниження енергоємності продукції, створення комфортних умов праці та життя на селі.

Роль енергетичного забезпечення аграрних підприємств останніми роками зросла. Це пов'язано з непропорційним (переважаючим) ростом тарифів на енергоресурси, порівняно з цінами на сільгосппродукцію, що значною мірою збільшило енергетичну складову в собівартості останньої (з 6 ... 9 % до 15 ... 20 %, а по продукції птахофабрик і теплиць – до 30 % і більше) [18].

Електрифікація та енергетика сільського господарства мають ряд специфічних особливостей: розосередженість споживачів, мала одинична потужність, велика протяжність мереж, наявність великих малонаселених територій, на яких ведеться виробництво, але немає централізованого енергозабезпечення. Це створює додаткові вимоги до системи енергопостачання.

Слід зазначити, що в енергобалансі сільського господарства недостатньо раціонально та ефективно використовуються запаси традиційних і місцевих енергоресурсів.

Основні задачі розвитку енергетичної бази сільськогосподарського виробництва полягають у наступному:

- забезпечення потреб галузі в енергоресурсах; економічне, надійне та стійке енергопостачання, зниження аварійних відключень і перерв в енергопостачанні у 2-3 рази, підвищення рівня безпечної експлуатації енергетичного обладнання ;
- зменшення енергоємності виробництва продукції ;
- раціоналізація структури паливно-енергетичного балансу з широким використанням місцевих та відновлюваних енергоресурсів, частка яких до 2030 р. повинна скласти 10 %, а до 2040 р. – 15 ... 20 %;
- зниження залежності від централізованого енергопостачання за допомогою самозабезпечення з виробництвом енергії на місцях відповідно до ресурсів регіонів;
- розробка та реалізація децентралізованих систем енергозабезпечення і засобів малої енергетики;

- підвищення ефективності використання та вдосконалення системи експлуатації енергетичного обладнання, укомплектування енергетичних служб підприємств;

- розвиток інфраструктури для ефективного енергопостачання інженерних систем побуту та присадибного господарства шляхом скорочення ручної праці в 2 рази;

- розробка та освоєння технологій переробки біомаси, рослинних та деревних відходів у якісне рідке та газоподібне паливо, цукровмісної сировини – у біоетанол, відходів тваринництва (стоків) та птахівництва – у якісні добрива та біогаз;

- освоєння технологій і засобів широкого використання відновлюваних джерел енергії в сільській енергетиці.

Виходячи з розширення енергетичної бази сільського господарства, а також досягнень науково-технічного прогресу в цій галузі та світового досвіду, визначилися перспективні напрями вдосконалення та модернізації систем енергопостачання:

- вибір принципів побудови та пріоритетів технічного розвитку мереж і нових способів передачі енергії для підвищення надійності та якості електрозабезпечення, зниження втрат;

- створення автономних систем енергозабезпечення та засобів «малої енергетики», включаючи міні-ТЕЦ та когенераційні установки з виробництвом теплової та електричної енергії, широким використанням місцевих та відновлюваних енергоресурсів, відходів сільгоспвиробництва;

- розробка та реалізація ефективних технологій використання біомаси для отримання теплоти, а також її переробки в якісне рідке, газоподібне та тверде паливо;

- розробка нових високоефективних технологій перетворення сонячної, вітрової, геотермальної, гідроенергії в електричну та теплову, наближення вартості одержуваної енергії до традиційно поставленої;

- підвищення ефективності використання палива та енергії на базі нових тепло- та електротехнологій в найбільш енергоємних теплових, світлових та інших процесах виробництва з широким використанням скидного тепла, теплових насосів, акумуляції тепла та холоду, комбінованих установок, систем місцевого обігріву, економічного освітлення, знезараження, нанотехнологій.

Першочергове завдання в напрямку поліпшення енергозабезпечення села у розглянутий період [16]:

- нарощування обсягів відновлення мереж, що відпрацювали ресурс, та забезпечення їх надійної роботи. Реконструкція та технічне переозброєння мереж із заміною застарілого та вичерпаного ресурсу підстанційного обладнання і ліній повинні здійснюватися відповідно до нових технічних вимог. Їх необхідно закладати під час проєктування, будівництва та реконструкції систем електропостачання, при цьому потрібно керуватися наступними основними положеннями:

- за рівних або відмінних до 10% витратах пріоритет слід віддавати мережам вищої, ніж 10 кВ, напруги (35 ... 110 кВ);

- в розподільних мережах 10 кВ потрібно використовувати радіальну (деревоподібну) схему побудови з магістраллю, виконаною проводом одного перерізу по всій довжині, а також передбачати автоматичне секціонування та мережеве резервування магістралі;

- нормативний термін служби повітряних ліній повинен становити не менше 40 років;

- необхідно забезпечити часткову заміну повітряних ліній електропередач на кабельні.

Для технічного оновлення електричних мереж з урахуванням їх старіння слід щорічно проводити заміну близько 4,5 % високовольтних ліній і трансформаторних підстанцій.

1.3 Національний проєкт розвитку сільських територій України

З 2020 року в Україні здійснюється реалізація Комплексної програми розвитку сільського господарства в Україні [1], яка діє на регіональному рівні

(2021–2025/2026 рр.) або у формі державних стратегій для АПК. Дана програма має на меті економічне зростання та збільшення обсягів виробництва сільськогосподарської продукції із супутнім підвищенням ефективності виробничих процесів, зокрема за рахунок удосконалення інфраструктури сільських територій для створення комфортних умов роботи та проживання сільського населення, а також розвитку ринку праці (збільшення кадрового потенціалу) на цих територіях. Головною метою Програми є створення сучасного вигляду сільських територій, забезпечення цих територій інженерною та транспортною інфраструктурою, включаючи компактну житлову забудову зі створенням внутрішньоселищних електричних мереж, вуличного освітлення та благоустрою, а також залучення кваліфікованих кадрів для роботи в сільській місцевості задля розвитку агропромислового комплексу (АПК) в цілому [1].

Програма передбачає надання субсидій сільському муніципальному утворенню на будівництво, реконструкцію, модернізацію та капітальний ремонт об'єктів житлової, соціальної та культурної сфери (шкільні освітні та загальноосвітні організації, амбулаторно-поліклінічні установи, соціокультурні та багатофункціональні центри, установи культурно-дозвілєвого типу, спортивні будівлі та споруди), розвиток енергозабезпечення (блочно-модульних котелень, газопоршневих установок, газгольдерів, розподільчих газових та електричних мереж всередині муніципальних утворень та мереж освітлення населених пунктів при обов'язковому використанні енергозберігаючих технологій), розвиток телекомунікацій та засобів передачі даних, що забезпечують, зокрема, можливість підключення до глобальної мережі Інтернет.

У Програмі також передбачено реалізацію в сільських районах інвестиційних проєктів у сфері агропромислового комплексу з реконструкції та модернізації об'єктів виробництва, переробки та реалізації сільськогосподарської продукції за трудової участі місцевого населення. В рамках цієї державної програми жителі сільської місцевості зможуть отримати

пільгові кредити на благоустрій домоволодінь, а також придбання та монтаж обладнання для забезпечення централізованого або автономного електропостачання, опалення та газопостачання. Проекти мають розроблятися адміністраціями муніципальних утворень (сільських поселень та територіальних громадських самоврядувань). Основним показником проєкту є залучення позабюджетних джерел (до 10% від вартості проєкту) та наявність інвестиційних проєктів зі створенням нових робочих місць.

Наразі без застосування різних цифрових технологій розвиток інфраструктури на сільських територіях та підвищення продуктивності різних секторів АПК вже неможливі. Сьогодні цифровізація стає одним з ефективних драйверів розвитку будь-яких процесів у різних секторах вітчизняної економіки, зокрема в агропромисловому секторі. Автоматизовані цифрові системи дозволяють швидко аналізувати інформацію, що надходить, та ефективно управляти об'єктами виробництва сільськогосподарської продукції, прогнозувати погодні умови та ризики виникнення надзвичайних ситуацій, забезпечувати надійне та ефективне енергопостачання сільських споживачів.

За допомогою штучного інтелекту та технологій Big Data з'являється можливість отримувати об'єктивні дані та зменшувати ймовірність помилок. Штучний інтелект та «інтернет речей» (Internet of Things, IoT) дозволяють оптимізувати процеси виробництва та контролю за станом сільськогосподарських угідь та тварин, наприклад, контролю температури та вологості в теплицях, птахівницьких та рибогосподарських підприємствах, відстеження переміщення та відгодівлі худоби, управління системами поливу, наявності та витрати енергоресурсів тощо. Крім того, IoT дозволяє збирати та аналізувати великі обсяги даних, що допомагає приймати більш обґрунтовані рішення в галузі сільського господарства. Мобільні застосунки та онлайн-сервіси повинні забезпечити доступ до необхідної інформації практично в будь-який час і з будь-якої точки світу, а технології «блокчейн» повинні забезпечити безпеку та прозорість різних транзакцій, особливо у випадках фінансових операцій.

Для подальшого розвитку сільськогосподарської промисловості та вирішення задач з розвитку інфраструктури на сільських територіях, а також з метою створення комфортних умов проживання та роботи сільського населення (включаючи розвиток кадрового потенціалу) Міністерство сільського господарства звертає велику увагу «Технологічне забезпечення продовольчої безпеки», де раніше закладені цільові орієнтири «перепаковані» в загальний національний проєкт з технічної та технологічної незалежності сільського господарства, який планується прийняти та запустити в 2025 році. Одними з основних цілей національного проєкту є збільшення сільгоспвиробництва на 25% до 2030 року та покращення якості умов життя та роботи мешканців у сільській місцевості.

Висновки по першому розділу

Вирішення величезного комплексу задач розвитку сільськогосподарських територій для забезпечення продовольчої безпеки України, технічної та технологічної незалежності сільського господарства неможливе без впровадження сучасних технологій господарювання, використання новітніх цифрових інформаційно-комунікаційних технологій і, головне, модернізації енергетичної інфраструктури в сільській місцевості з метою забезпечення достатніх обсягів енергоресурсів з необхідними показниками надійності, економічності та якості енергопостачання, що відповідають запитам сучасного технологічного розвитку АПК.

РОЗДІЛ 2

РОЗВИТОК АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

2.1 Економічні передумови інноваційних напрямів енергопостачання АПК

Енергія та енергетика є базисом сучасної та майбутньої цивілізації, у зв'язку з чим вони завжди перебувають у центрі уваги як фахівців, так і громадськості, впливаючи на напрями та темпи соціально-економічного світового розвитку, безпеку та міжнародні відносини.

Використання різних джерел енергії багаторазово збільшує можливості людини. Багато в чому питома енергоозброєність – річне споживання енергії (особливо електричної) в розрахунку на одну людину – характеризує рівень розвитку країни та рівень життя людей, хоча не є лінійною функцією.

Енергетичні ресурси найближчого майбутнього поповняться за рахунок активного використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Частка ВДЕ, яка сьогодні, за даними світової енергетичної ради, оцінюється в 4...5% загального енерговиробництва, до 2025 р. значно збільшиться і, за різними оцінками, складе 10...20%. У цьому випадку ВДЕ відчутно впливатимуть на стан і рівень споживання енергоресурсів [2] (рис. 2.1). Слід зазначити, що, за різними оцінками вчених, терміни використання можливого запасу розвіданих легкодоступних і зручних енергоносіїв (газу та нафти) становлять 60-150 років, тобто, очевидна загроза світової паливно-енергетичної кризи. Саме це питання турбує сьогодні міжнародне співтовариство, тому що енергетична безпека є першочерговим завданням кожної держави світу.

Тому в більшості країн світу, де залучаються ВДЕ, результати успішні завдяки активному державному субсидіюванню на вироблену енергію або дотаціями, що зумовлено високим рівнем нових технологій і малим обсягом виробництва обладнання для використання ВДЕ [3].

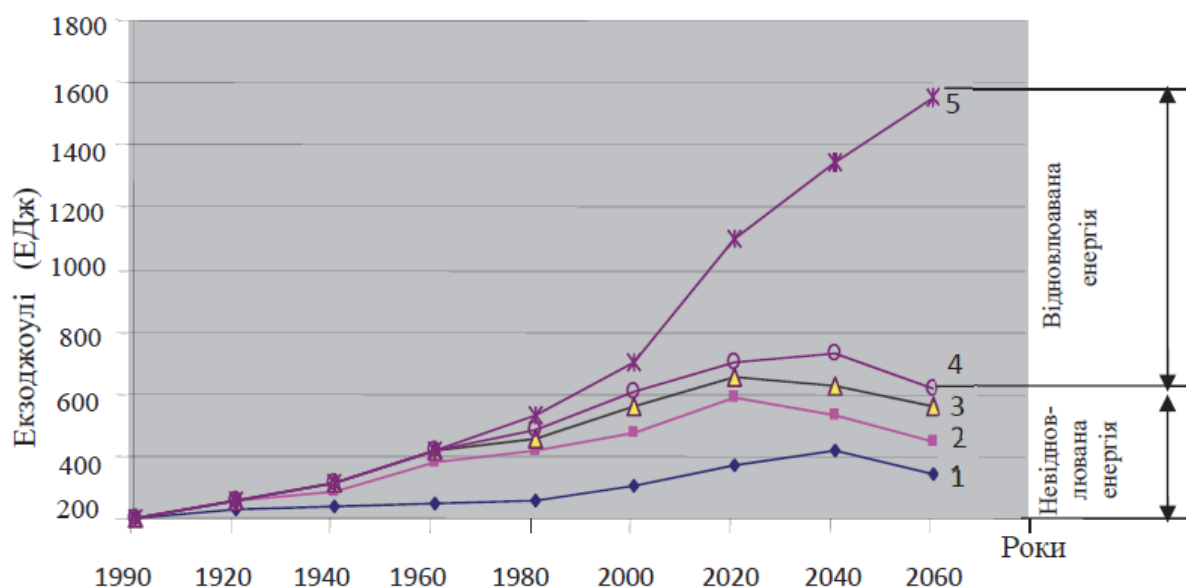


Рисунок 2.1 - Динаміка прогнозного розвитку світової енергетики:

1 – вугілля; 2 – нафта; 3 – газ; 4 – ядерне паливо; 5 – відновлювані джерела енергії (біомаса, сонячна енергія, вітрова енергія, гідроенергія, океанічна енергія, геотермальна енергія та ін.)

Однак з розвитком науково-технічного прогресу в цій сфері відбувається суттєва зміна вартості одиниці потужності та вартості електроенергії на установках ВДЕ. Так, вартість виробництва 1 кВт·год електроенергії на вітроелектростанціях з 1980 р. по 2025 р. знизилася в країнах Євросоюзу з 30,0 до 4,0 євроцентів, тобто в 7,5 раза, а питомі капіталовкладення – більш ніж у 4 рази [5,6]. За даними країн Євросоюзу, вартість електроенергії на електростанціях різного виду при різних первинних енергоносіях за останні 5-10 років практично однакова (табл. 2.1). Крім того, на основі ВДЕ вартість електроенергії знижується, а на традиційних електростанціях (ТЕС, АЕС) зростає через підвищення ціни на паливо, посилення екологічних вимог, ускладнення і здорожчання технологій. Проблеми охорони навколишнього середовища, зміни клімату на планеті набувають актуальності, тому що «велика» енергетика негативно впливає на навколишнє середовище. Найчастіше в технологіях використання ВДЕ економічно більш прийнятне, ніж найдосконаліші технології застосування нафти, вугілля та газу.

Особливість аграрного сектору економіки полягає в тому, що для функціонування сільськогосподарського виробництва необхідна участь механічних і біологічних засобів та предметів праці, що свідчить про наявність особливої біоенергетичної виробничої системи, націленої на досягнення певних результатів. Ця система виступає, з одного боку, як споживач енергії, а з іншого – як виробник енергії деяких нових енергоносіїв у вигляді продовольства та ряду побічних продуктів, придатних, в тому числі, і для безпосереднього використання як паливо та добриво. Тому проблема економії енергії в умовах дефіциту та помітного подорожчання основних видів енергоресурсів має вирішуватися з урахуванням максимального використання можливостей сільського господарства щодо самозабезпечення енергією. У цьому проявляється значущість побічної продукції аграрного виробництва як фактора, що визначає темпи економічного зростання галузі.

Таблиця 2.1 - Вартість виробництва електроенергії на різних типах електростанцій (за даними країн Європейського Союзу) [6]

Тип електростанцій і вид палива	Вартість електроенергії, євроцент/кВт·г
Біомаса	8,2...21,2
Малі ГЕС	6,7...9,7
Геотермальні установки	7,2...15,0
Ветроелектростанції	6,2...9,1
Вугільні ТЕС	5,1...8,2
Парогазові установки	4,3...5,6
Атомні електростанції	4,1...8,2

Негативно зростання тарифів на електроенергію поряд з іншими негативними факторами вплинуло на обсяг електроспоживання в сільському господарстві. Так, на сільськогосподарських підприємствах він знизився з 64 млрд кВт·год у 1990 р. до 13,4 млрд кВт·год у 2015 р.; за останні 15 років обсяг електроспоживання скоротився більш ніж у 2 рази [6]. Практично припинився розвиток електромережевого господарства. У сільській місцевості

протяжність повітряних електричних ліній перевищує 3 млн км. У багатьох регіонах країни 100%-ий знос становить понад 70%. Розвиток аграрного виробництва, впровадження інновацій у тваринництво, птахівництво, зберігання та переробку сільськогосподарської продукції стримуються через низьку надійність або відсутність енергопостачання. Потрібні значні багатомільярдні вкладення в сільське електромережеве господарство 10-0,4 кВ. Враховуючи світовий досвід, розвиток науково-технічного прогресу в галузі застосування ВДЕ, стан сільських електромереж, закономірно поставити питання про те, яким чином належить забезпечувати електричною та тепловою енергією сільськогосподарське виробництво.

Розвиток енергетики аграрного сектора економіки країни є пріоритетним напрямом модернізації сільського господарства. Витрати на паливно-енергетичні ресурси в структурі собівартості сільськогосподарської продукції досягають 12...20%, а по ряду енергоємних виробництв – 30...40% [7]. Сільська енергетика – важливий фактор підвищення все ще неблагополучного соціально-побутового рівня життя сільського населення. У зв'язку з цим слід назвати ключові напрями розвитку сільської енергетики, а саме:

- прискорене відновлення та подальше вдосконалення системи енергопостачання всіх сільськогосподарських товаровиробників за рахунок будівництва, реконструкції та технічного переоснащення електричних, газових і теплових мереж централізованого енергопостачання з розробкою раціональних схем їх розвитку;

- формування систем і засобів малої енергетики для автономного енергозабезпечення ряду сільських об'єктів за рахунок використання місцевих енергоресурсів, відновлюваних джерел енергії, рослинних і деревних відходів, освоєння сучасних способів переробки біомаси, торфу з метою отримання рідкого, твердого та газоподібного палива для використання в аграрному виробництві та в житлово-комунальному господарстві села;

- освоєння енергозберігаючих технологій виробництва рослинницької та тваринницької продукції зі зниженням одиничних витрат енергії за рахунок

істотного підвищення ККД використання машинно-тракторного парку, підвищення надійності та ефективності роботи енергетичних мереж;

— введення в господарський обіг високоефективних технологій в енергоємних технологічних процесах (сушка, переробка сільськогосподарської продукції та ін.) за рахунок освоєння енергоекономних електротехнологічних процесів та обладнання.

2.2 Розвиток автономного електропостачання сільських споживачів на основі відновлюваних джерел електроенергії

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) стали невід'ємною частиною енергетичного сектору України в умовах обмежених природних ресурсів і як захід з адаптації до зміни клімату. Незважаючи на те, що наразі тенденція використання ВДЕ в країні становить лише 5% від загального енергетичного балансу, все ж є великі перспективи розвантажити теплові та гідроелектростанції країни за рахунок альтернативних джерел енергії за умови грамотної установки та експлуатації технологій ВДЕ [8].

З кожним роком питання щодо зелених технологій стають дедалі актуальнішою темою для обговорення серед зацікавлених сторін та створюють вектор для розвитку ВДЕ в нашій країні. А завдяки сприянню міжнародних організацій та донорській допомозі, проводяться регулярні обговорення на рівні міністерств і відомств щодо нормотворчої бази та створення сприятливих умов для розвитку ВДЕ в країні.

На сьогоднішній день альтернативні джерела енергії широко застосовуються для енергопостачання об'єктів сільськогосподарської галузі. Підприємства, що належать до цього сегменту, є основними споживачами викопних видів палива. Відповідно, вартість продукції, що випускається, безпосередньо залежить від цін на ці ресурси (в середньому, вона становить близько 30-40% від загальної вартості продукту). Крім того, діяльність сільськогосподарських об'єктів сприяє виділенню більшої частини світових викидів парникових газів. Використання сонячної та вітрової енергії дозволить значно скоротити витрати на енергопостачання та зменшити ризик

негативного впливу на навколишнє середовище. У віддаленій сільській місцевості, де нерідко трапляються відключення електроенергії, альтернативні джерела стануть запорукою надійності її подачі та безперебійності робочих процесів.

Одним із напрямів, що сприяє зростанню ефективності сільськогосподарського виробництва, є розробка та впровадження систем безперебійного електропостачання (СБЕ), до складу яких входять системи автономного електропостачання (САЕ), виконані з використанням як традиційних, так і відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ). Такі системи повинні мати вводи від зовнішніх електричних мереж.

Світовий досвід свідчить про високі перспективи використання в сільському господарстві ВДЕ. Цьому факту сприяють наступні основні причини [7]:

- необмеженість ресурсів (потенціалу);
- відсутність шкідливих викидів;
- збереження теплового балансу на Землі;
- можливість створення комбінованих електростанцій, що використовують енергію сонця, вітру, падаючої води і т. п., в тому числі, з використанням традиційних джерел енергії.

Як правило, процес проектування САЕ від отримання технічного завдання на систему до розробки робочої документації та серійного (масового) виробництва складається з наступних етапів [9]:

1) формування технічного завдання на САЕ (систему автономного електропостачання), тут здійснюється вибір джерел, перетворювачів електроенергії, комутаційних апаратів та інших пристроїв, розробляються схеми їх підключення, зокрема до інших систем, за необхідності;

2) визначення основних показників САЕ за критеріями ефективності;

3) розробка електричних схем пристроїв САЕ, необхідних для випуску робочих креслень;

4) коригування технічних рішень, електричних схем та робочих креслень.

Одним з головних завдань етапу попереднього проектування САЕ є обґрунтування структури системи, зокрема, функціональних вузлів, що застосовуються в цій структурі, та їх параметрів. Основними факторами, що визначають доцільність вибору структурно-схемного рішення САЕ, є передбачувані умови, зокрема, режими функціонування та вимоги, що висуваються споживачами до параметрів електроенергії.

Вибір найкращого (оптимального) варіанта структури АЕ (автономного електропостачання) з безлічі принципово можливих, на практиці здійснюється на підставі порівняльного аналізу характеристик і показників проєктуємих систем. Зазвичай для багатьох САЕ на перших етапах розробки задаються основні електричні параметри та основні показники критеріїв ефективності (для транспортних САЕ, перш за все, масогабаритні показники, показники надійності та ККД), інші характеристики відносяться до обмежень, або частина показників може не братися до уваги взагалі. Такий принцип проєктування, з одного боку, спрощує процес розробки, а з іншого боку, не дозволяє створювати високоефективні САЕ. Однак, коли стоїть задача про розробку САЕ, як правило, проєктувальнику відомі вимоги споживачів до параметрів електроенергії, умови їх експлуатації, тому в цьому випадку дещо спрощується задача зі створення оптимальної системи.

Створення ж універсального структурно-схемного рішення САЕ, яке було б затребуване відомими споживачами електроенергії в усьому своєму різноманітті, практично не представляється можливим. Оскільки такі системи містили б надмірну кількість пристроїв, блоків, елементів, що забезпечують роботу системи. Тут представляється доцільним розбити структурні рішення САЕ на декілька груп, і для цих груп створювати універсальні схеми систем електропостачання.

Так, наприклад, для транспортних САЕ в першу групу повинні входити САЕ, які призначені для електропостачання споживачів в основному постійним струмом (споживана енергія постійного струму, якою становить 70 % і більше від встановленої потужності САЕ) [8]. Очевидно, що такі системи

повинні містити автономні джерела постійного струму. Однак значно кращі показники ефективності, в цьому випадку, будуть мати САЕ, в яких застосовуються високочастотні джерела.

До другої групи слід віднести САЕ, які призначені для електропостачання споживачів в основному змінним струмом (споживана енергія змінного струму, якою становить 70 % і більше від встановленої потужності САЕ). Тут автономні джерела повинні генерувати напругу промислової частоти, за винятком тих випадків, коли основу складають споживачі з підвищеною частотою струму.

У третю групу повинна входити САЕ, де споживана потужність на постійному та змінному струмі приблизно рівномірно розподіляється між споживачами. В цьому випадку необхідно проводити більш глибоку оптимізацію САЕ з урахуванням вимог споживачів щодо якості електроенергії та безперебійності електропостачання, а також забезпечення високих показників критеріїв ефективності системи.

На етапі проектування СБЕ доцільно розглянути можливі варіанти структурно-схемних рішень таких систем для оцінки їх за основними критеріями ефективності, якими є економічні показники, показники надійності, ККД та якість електроенергії.

Джерелами електроенергії розглядуваної системи є [10]:

- зовнішня електрична мережа, яка може мати один або два вводи;
- відновлювальні джерела: вітроелектричні установки (ВЕУ), міні(мікро) гідроелектростанції (МГЕС) та сонячні електростанції (СЕС);
- дизельні електростанції (ДЕС) та газотурбінні станції (ГТС);
- акумуляторні батареї (АБ) є аварійним джерелом електроенергії та призначені для забезпечення безперервного електропостачання споживачів першої категорії при переході живлення від одного джерела до іншого.

ВДЕ можуть працювати паралельно із зовнішньою мережею, їх потужність розраховується з урахуванням максимального навантаження споживачів. За

відсутності вітрового потоку, напору води або сонячної радіації (хмарність або нічний час) джерелом живлення для споживачів є зовнішня мережа.

ДЕС та ГТС застосовуються в аварійних ситуаціях і коли територіальні та кліматичні умови не дозволяють використовувати ВДЕ.

Автономність електропостачання на сучасному етапі розвитку техніки передбачає забезпечення безперебійного електропостачання відповідальних споживачів без використання зовнішньої мережі. Тому САЕ повинна містити декілька АДЕ, як правило, це традиційні джерела (ДЕС або ГТС) та ВДЕ, застосування яких залежить від ландшафту місцевості та кліматичних умов [2].

Застосуванню в наш час ВДЕ сприяє той факт, що значно удосконалено їх конструкцію та покращились експлуатаційно-технічні характеристики, як електромашинних генераторів, так і статичних перетворювачів, які здійснюють функції перетворення та стабілізації параметрів електроенергії.

Одна з основних причин, що стримує застосування ВЕУ, полягає у низькій якості виробленої електроенергії, зумовленій нерівномірністю вітрового потоку. Це призводить до значної зміни частоти обертання вітроколеса, і відповідно коливань напруги, частоти генерованої електроенергії та віддаваної потужності в цілому. Для покращення показників якості електроенергії ускладнюється механічна частина конструкції ВЕУ, що реагує на вітрові потоки. Тут перспективним є напрямок використання безпосередніх перетворювачів частоти (БПЧ) в якості стабілізатора параметрів електроенергії ВЕУ, що з одного боку дозволить спростити конструкцію механічної частини вітроагрегату, а з іншого – підвищити ККД вітроустановки.

Як відомо, потужність малих ГЕС (МГЕС) залежить від витрати та напору води, на річках, розміщених на рівнинах, потрібні великі капіталовкладення для створення греблі, водозабірних споруд, набагато вигідніше створювати МГЕС біля передгірних та гірських рік, якими розташовані гори Карпат, де

вже природними умовами створені великі напори води. Капіталовкладення та експлуатаційні витрати в МГЕС, крім того, менші ніж у ВЕУ.

Застосування електростанцій, що перетворюють енергію сонця в електричну енергію, є перспективним напрямком оскільки в даний час зменшилась вартість фотоелементів СЕС і, в перспективі, очікується її значне зменшення. Так, з 2010 по 2020 рр. питома вартість 1 кВт·год виробленої енергії знизилась більш ніж в 2 рази [11]. В даний час тенденція зниження вартості збереглася.

Як відомо, основними функціональними вузлами СЕС є фотоелектричні модулі (батареї), акумуляторні батареї, зарядні пристрої, інвертор, комплект комутаційних апаратів та пристрої захисту і автоматики. Автономні інвертори (AI) призначені для перетворення електричної енергії постійного струму в змінний струм.

AI, крім перетворення електроенергії, здійснюють функції стабілізації параметрів електроенергії та функції узгоджувальних пристроїв, що забезпечують паралельну роботу автономних джерел, в тому числі, при необхідності, із зовнішньою мережею. Вартість AI становить приблизно 10 – 20 % вартості СЕС. В даний час СЕС знаходять застосування для електропостачання електронної та побутової техніки, заряду АБ, забезпечення безперебійного електропостачання відповідальних споживачів, внутрішнього та вуличного освітлення, заправних станцій, систем водопостачання, а також застосовуються для електропостачання споживачів в електро дефіцитних районах. Постійний розвиток елементної бази AI відбувається в напрямку досягнення більш високих показників функціональних характеристик.

2.3 Аналіз можливості енергопостачання сільських територій за допомогою мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії

Для організації надійного енергопостачання в сільській місцевості пропонується використовувати технології побудови мікромереж на основі ВДЕ. Введений у практику термін «мікромережа» первинно позначав елемент великої енергосистеми, здатний при виникненні проблем в мережі ізолювати

себе від неї, а після нормалізації стану мережі таким же безперебійним способом, автоматично ресинхронізуватися і знову відновити з'єднання з централізованою мережею без перебоїв в електропостачанні споживачів всередині мікромережі. Окрім елементів акумулювання передбачалася можливість включення до складу таких мікромереж і окремих джерел генерації на основі ВДЕ. На даний час відомо декілька різновидів малих енергетичних систем, що підпадають під сформоване поняття мікромережі. Нами розглянуто мікромережу, повністю засновану на використанні відновлюваних джерел енергії та функціонуючу автономно, з позиції можливості її використання для надійного енергопостачання віддалених об'єктів сільськогосподарського призначення.

Мікромережа у найзагальнішому розумінні може розглядатися як певна спільнота розподілених по певній території джерел генерації, систем акумулювання та резервування і кінцевих споживачів електричної енергії, об'єднаних в єдину мережу. Однак, досі не сформовано єдиної думки щодо параметрів, які характеризують мікромережу, таких, зокрема, як агрегована потужність приєднаних джерел генерації, розміри площі, на якій мікромережа реалізується, кількість приєднань до централізованої мережі і т.д.

Запропонована концепція мікромережі на основі ВДЕ [2,8,29] є однією з форм реалізації ідеології розподіленої енергетики, розвиток якої і став одним з факторів виникнення та формування даного напрямку. До інших факторів, що обумовлюють розвиток мікромереж на основі ВДЕ, можна віднести необхідність підвищення ефективності автономного енергопостачання, а також активне просування на ринку сільської енергетики відновлюваних джерел енергії.

Мікромережа на основі ВДЕ володіє всіма ознаками мікромережі, концепція, основні характеристики та сама назва якої (microgrid) введені в практику у Вісконсинському Університеті, США. Її відмінністю є те, що вона є самостійною енергетичною мікросистемою, яка в нормальному режимі функціонує самостійно.

Мікромережі на основі ВДЕ формуються, як правило, на територіях, не охоплених централізованим енергопостачанням, виконують задачу автономного енергопостачання і мають переваги, обумовлені активним використанням відновлюваних ресурсів.

В даний час потужність діючих мікромереж становить до 1 МВт, а територія розміщення близько 1 км². На рис. 2.2 наведено приблизну схему мікромережі.

Мікромережі можуть функціонувати автономно, або паралельно з централізованою мережею. В цьому випадку мікромережа вступає з нею у взаємодію лише для отримання енергії (на покриття пікових навантажень) або для поставки в мережу надлишків електроенергії. Останній режим менш вірогідний, оскільки апріорі вартість електроенергії всередині мікромережі буде суттєво нижчою і її поставка в мережу буде доцільна лише при наявності спеціальних пільгових тарифів на «зелену» електроенергію.

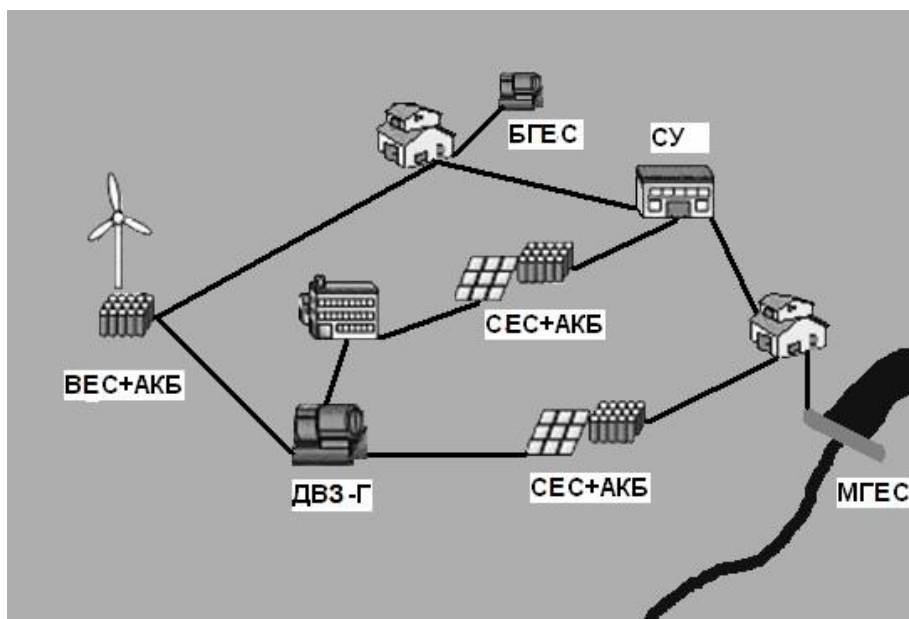


Рисунок 2.2- Приблизна схема мікромережі, що функціонує автономно

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; АКБ – акумуляторна батарея; ВЕС – вітрова електростанція; СЕС – сонячна електростанція; МГЕС – мала гідроелектростанція; БГЕС – біогазова електростанція; СУ – система керування

Найбільш поширеними джерелами генерації електроенергії сьогодні є сонячні та вітрові електростанції, потужність яких значно змінюється залежно від природних умов. Тому до складу мікромереж необхідно включати накопичувачі енергії, резервні джерела живлення, а також генеруючі джерела з регульованою потужністю, які забезпечать можливість підтримувати баланс генерованих та споживаних потужностей всередині мікросистеми [8]. Для підтримання стабільної частоти в мікромережі при її роботі в автономному режимі вбудовані в мікромережу регульовані джерела енергії повинні мати хороші динамічні характеристики.

Розширення масштабів використання мікромереж має хорошу перспективу у зв'язку з можливостями подальшого зниження собівартості виробленої електроенергії [7], а також з досить великими можливостями застосування технології електропостачання на основі мікромереж з використанням ВДЕ для виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції, потреба в якій на ринку безперервно зростає [5].

Серйозні перспективи мають мікромережі для енергопостачання об'єктів малоповерхового будівництва, при утворенні поселень на нових територіях або при освоєнні нових ділянок для дачного будівництва. Величезну роль у забезпеченні надійності енергопостачання з допомогою мікромереж та якості електроенергії відіграють енергетичні комплекси, що використовують для генерації електроенергії біогаз та інші

Такі комплекси, на відміну від сонячних і вітрових електростанцій, є передбачуваними в частині потужності та виробітку електроенергії, тому представляються перспективними для покриття базових навантажень споживачів, що входять до складу мікромереж.

Вихідною сировиною для таких енергосистем можуть слугувати побутові відходи, відходи сільськогосподарських підприємств рослинного і тваринного походження, відходи переробних підприємств, харчових і хімічних виробництв, спеціальні енергетичні культури: силосний кукурудза,

багаторічні трави, водорості. Тобто саме ті джерела, наявність яких у сільській місцевості найбільш ймовірна.

Використання біомаси в енергетичних цілях може бути реалізовано за кількома напрямками, кожному з яких, як правило, передує механічна обробка сировини. Далі біомаса може піддаватися переробці термохімічними, фізико-хімічними та біохімічними методами. Зазначені напрямки переробки біомаси з точки зору рівня розвитку технологій різняться, а з точки зору використання в складі мікромереж мають різний рівень привабливості. Найбільш підготовленими для використання на практиці можуть розглядатися біохімічні методи, одним з яких є метод анаеробного зброджування. На сьогодні вже розроблено ряд технологій та обладнання з отримання біоенергетичної сировини і вироблення електроенергії на основі біомаси [6,32]. Однак дослідження в цьому напрямку необхідно продовжити та інтенсифікувати.

До найбільш перспективних з точки зору енергоефективності, можна віднести когенераційні електростанції на основі газотурбінних установок, що гарантують високу надійність і якість енергопостачання. Однак газові турбіни малої потужності на ринку відсутні. Тому для розширення можливостей формування мікромереж та впровадження їх в практику необхідно вирішити питання забезпечення ринку турбінами малої (10 – 20 кВт) потужності. Такі установки, як правило, функціонують в когенераційному режимі, тому при вирішенні питання про їх включення до складу мікромережі необхідно враховувати наявність споживача теплової енергії, транспортування якої на значні відстані в режимі мікромережі представляється не тільки недоцільним, але і нереальним.

Проблема теплопостачання на кожному об'єкті, що входить до складу мікромережі, в цілому може вирішуватися по-різному, в залежності від наявних на цьому об'єкті можливостей. Для цих цілей можуть використовуватися найрізноманітніші технології від прямого спалювання до теплонасосних установок різного типу, що використовують різноманітні джерела низькопотенційної теплоти. В цьому випадку потреба таких систем в

електроенергії покривається мікромережею, потужність якої вибирається з урахуванням потреб теплопостачальних установок.

Висновки по другому розділу

Застосування мікромереж, кожна з яких являє собою «енергетичний острів», відкриває великі можливості для організації енергопостачання великих територій. В цьому випадку загальна схема енергопостачання території буде являти собою систему енергетичних острівців, що покривають всю територію і з'єднаних між собою лініями низької напруги, які повинні виконувати функції обміну енергетичними потоками кожної з мікромереж з централізованою мережею і між собою. Кожна мікромережа споживає всю вироблену в її межах енергію, тому зазначені потоки не будуть значними, що суттєво розвантажить низьковольтні сільські мережі, підвищить їх пропускну здатність і надійність.

РОЗДІЛ 3

КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

3.1 Комбіновані системи електропостачання з застосуванням в їх складі газопоршневих електростанцій

У даному розділі розглядається один з перспективних напрямів, спрямований на покращення експлуатаційно-технічних характеристик АЕС, за рахунок застосування в їх складі газопоршневих електростанцій (ГПЕ), вітроелектричних установок (ВЕУ) та сонячних фотоелектричних установок (СФЕУ) [5, 6].

На сьогодні однією з ефективних технологій, що базується на використанні газу для виробництва електричної енергії, є розробка електростанцій на базі газопоршневих двигунів внутрішнього згоряння. Газопоршнєві електростанції (ГПЕ) мають просту та надійну конструкцію. Електричний ККД ГПЕ вважається високим, у порівнянні з дизельними електростанціями, і при роботі на якісному природному газі перевищує 40% [12].

Важливою особливістю ГПЕ є те, що практично всі їхні моделі здатні працювати в режимі когенерації, тобто як теплові електростанції. Температура вихлопних газів на виході з силової машини ГПЕ – 390 ± 10 °С. При цьому, електроенергію і теплову енергію ГПЕ виробляють одночасно, співвідношення видачі електричної та теплової енергії – 1:1. Таким чином, застосування ГПЕ в АЕС розширює їх можливості та значно підвищує ККД системи.

Перспективним напрямком є використання ГПЕ спільно з вітроелектричними установками (ВЕУ) у випадку, коли метою використання останніх є підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів та економія палива, вартість якого з урахуванням витрат на доставку може бути дуже високою [2,39].

Співвідношення потужності компонентів АСЕ залежить від схеми генерування навантаження та ресурсу вітру. Режим одночасної паралельної

роботи ГПЕ та ВЕУ оцінюється як недостатньо ефективний спосіб використання ВДЕ, оскільки частка участі ВЕУ в системі за потужністю не повинна перевищувати 15 – 20% потужності ГПЕ. Такі режими можна використовувати в комбінованих установках великої потужності для економії палива.

Використання режиму роздільної роботи ГПЕ та ВЕУ дозволяє підняти частку участі ВЕУ до 50 – 60% і більше [14,31]. Однак, в цьому випадку неминуче ускладнення АСЕ за рахунок необхідності введення автоматичної системи управління, автономних інверторів та акумуляторних батарей, які акумулюють енергію, вироблену ВЕУ при робочих швидкостях вітру для живлення навантаження в безвітряну погоду або при невеликих швидкостях вітру [14,31].

Кожного разу, коли це можливо, електроенергія виробляється за рахунок ВЕУ, а акумуляторні батареї безперервно підзаряджаються. В період вітрового затишшя, коли заряд АБ падає нижче певного рівня, для забезпечення споживачів електроенергією автоматично запускається ГПЕ. Такий режим значно знижує кількість запусків ГПЕ і, отже, веде до скорочення витрат на обслуговування та паливні витрати.

3.2 Використання біогазу в якості палива газопоршневих двигунів для вироблення електроенергії

У природі біогаз утворюється при розкладанні органічних сполук в анаеробних умовах, наприклад у болотах, на берегах водойм та травному тракті деяких тварин. Таким чином, фізика природних процесів показує нам шляхи отримання біогазу.

Для промислового виробництва потрібна розробка комплексної технології, що включає такі компоненти, як накопичувач біомаси, біогазовий реактор (ферментатор), в якому відбувається зброджування, і резервуар для біогазу з системою очищення (рис. 3.1).

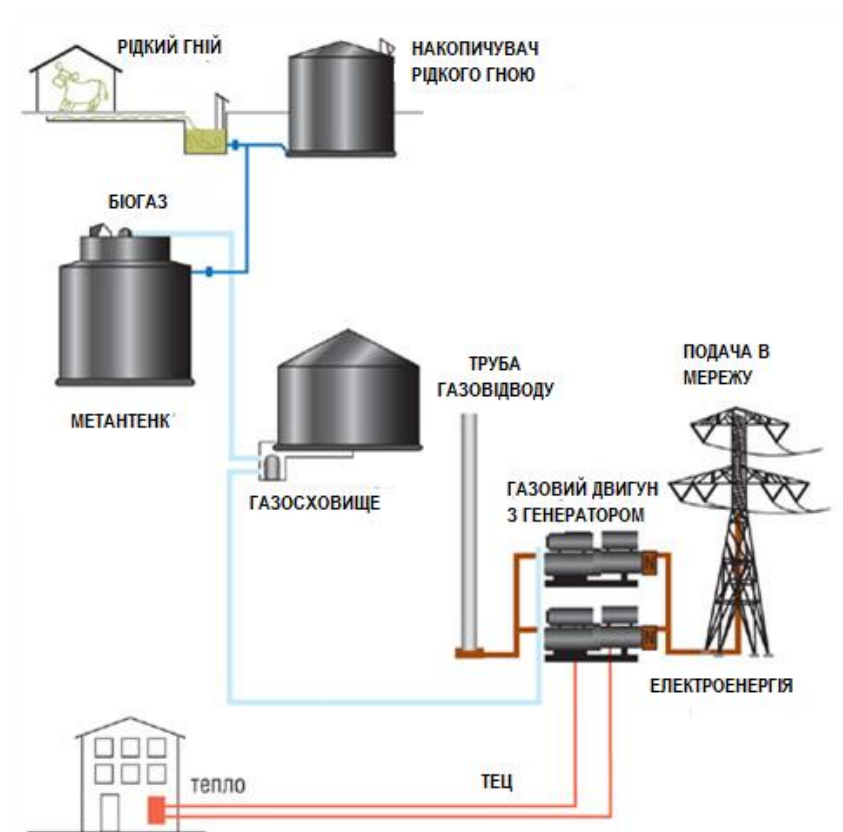
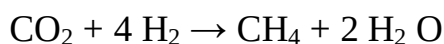


Рисунок 3.1 — Виробництво електричної енергії під час використання біогазу

Майже всі органічні речовини розкладаються шляхом ферментації. В анаеробних умовах мікроорганізми, що беруть участь у процесі зброджування або розкладання, адаптуються до вихідного субстрату. У зв'язку з тим, що бродіння відбувається у вологому середовищі, біосубстрат повинен містити приблизно 50% води. Біологічне розкладання здійснюється за температури від 35 °С до 40 °С. При анаеробному бродінні відбувається багатоступінчастий процес перетворення органічних речовин з високомолекулярних сполук низькомолекулярні, які можна розчинити у воді. На одному етапі розчинені речовини розкладаються, утворюючи органічні кислоти, низькоградусний алкоголь, водень, аміак, сірководень та вуглекислий газ. На іншому – бактерії перетворюють речовини на оцтову та мурашину кислоти і в процесі метаногенезу розщеплюють їх, утворюючи метан.



Одночасно вміст CO_2 зменшується за рахунок водню, внаслідок чого також утворюється метан.



Як сировина для біогазу часто використовується рідкий гній. Для збільшення виходу газу можна додати так звані коферменти, за рахунок яких гомогенізується виробництво біогазу, обсяг якого залежить від субстрату, що використовується (Таблиця 3.1) [27-29].

Якість біогазу та підготовка паливного газу не залежить від використовуваної вихідної сировини та від швидкості процесу. У табл. 3.2 представлено порівняння складу різних видів газу.

Таблиця 3.1 - Вихід біогазу для різних видів біомаси

Сировина для біогазу	Кількість біомаси	Кількість біогазу
Рідкий гній (велика рогата худоба)	1 м ³	20 м ³
Рідкий гній (свині)	1 м ³	30 м ³
Послід птиці	1 м ³	40 м ³
Осад стічних вод	1 м ³	5 м ³
Біовідходи	1 тонна	100 м ³
Відпрацьовані жири	1 тонна	650 м ³
Трава	1 тонна	125 м ³

Таблиця 3.2 - Зразковий порівняльний склад паливних газів

		Біогаз	Газ стічних вод	Газ сміттєзвалищ	Природний газ
CH_4	%	50...75	65	50	88
CO_2	%	20...50	35	27	-
N_2	%	0...5	-	23	5
Щільність	кг/м ³	1,2	1,158	1,274	0,798
Теплотворна здатність	кВт·год/м ³	5,0...7,5	6,5	4,8	10,1
Метанове число	од.	124...150	134	136	80...90

Практичне використання різних видів сировини для вироблення енергії

У м. Бранденбург (Німеччина) встановлено електростанцію, яка виробляє біогаз із харчових та побутових відходів (Рис. 3.2). За рік утилізується близько 86 000 тонн біовідходів.



Рисунок 3.2 - Біогазова установка в Альтено.

Процес отримання біогазу здійснюється у певній послідовності. Після видалення компонентів, що не утилізуються, біовідходи подрібнюються і перемішуються, отримана маса нагрівається до 70 °С, щоб убити патогенні організми. Потім відходи направляються у два ферментатори, кожен з яких вміщує 3300 м³ біомаси. Мікроорганізми розщеплюють біомасу (приблизно за 20 днів), внаслідок чого утворюється біогаз та залишкова кількість рідини, яка потім віджимається, і сухий залишок знову проходить біологічну переробку як компост.

На біогазі працюють два газопоршневі двигуни TBG 616 V16K виробництва Deutz Power Systems, електрична потужність кожного з них становить 626 кВт, тепла – 834 кВт. Електрична енергія, що виробляється, подається в енергомережу, а тепло використовується для вироблення газу. Рівні викидів шкідливих речовин нижче граничних значень, вказаних німецьким стандартом TA-Luft [2].

Установка на біогазі працює також в Айхті на тваринництві компанії Agrofarm 2000 GmbH. Компанія обробляє 2200 гектарів орної землі та 1100 га пасовищ у Eichigt/Vogtland.



Рисунок 3.3 - Когенераційний агрегат MWM (колишній DEUTZ Power Systems) у контейнерному виконанні з двигуном TBG 616 V16

Частина врожаю сільськогосподарських культур, що вирощуються, використовується як корм для 1550 корів, від яких отримують 10 650 000 кг молока на рік. При цьому щодня утворюється від 110 до 120 м³ рідкого гною - він зброджується в ферментаторі, в результаті чого виробляється 4000 ... 4400 м³ біогазу. До гною додаються залишки кормів (до 4 т/доба), рахунок чого виробництво газу збільшується на 20%.

Міні-ТЕЦ встановлена в контейнері (рис. 3.3), як привод використовується двигун TBG 616 V16 K, електрична потужність якого становить 459 кВт, тепла - 225 кВт [24]. Електроенергія подається до енергомережі, а тепло використовується для потреб господарства. Як сировина для біогазу використовується рідкий гній.

Висновки по третьому розділу

Вироблення електричної та теплової енергії у біогазових установках є перспективною технологією, яка допомагає людству стати незалежним від обмежених запасів викопного палива, а також захищає навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз сільських територій та споживачів, для яких децентралізовані системи енергозабезпечення є або можуть стати найбільш ефективними.

Обґрунтовано потребу та умови створення і реалізації децентралізованих систем енергозабезпечення, визначено типаж, їх склад та призначення. Показано, що основним енергоресурсом автономних систем є місцеві та відновлювані енергоресурси, відходи сільгоспвиробництва.

Надано характеристику методів і технологій перетворення енергії відновлюваних джерел (ВДЕ), біомаси та відходів сільгоспвиробництва в електричну і теплову енергію. Означено перспективи використання децентралізованих систем на селі та їх прогностичні кількісні показники участі в енергобалансі на період до 2030 р. На закінчення наведено цільові показники реалізації децентралізованих систем енергозабезпечення.

Широке використання автономних систем енергозабезпечення, особливо на базі місцевих та відновлюваних енергоресурсів у сільській енергетиці, дозволить :

- зменшити залежність від централізованого енергопостачання;
- економити викопне паливо (до 2030 р. – до 13% у сільському енергобалансі);
- підвищити надійність енергопостачання (особливо відповідальних споживачів), зменшити тим самим збитки від перерв в електропостачанні;
- при використанні ВДЕ – покращити екологію, особливо в зоні розміщення тваринницьких підприємств.

Використання сільськогосподарських відходів як біопаливо дозволяє забезпечити замкнутий цикл сільськогосподарського виробництва. Залишок від анаеробного зброджування не має запаху та може бути вивезений на поля у вигляді добрива. Такий вид добрива відразу поглинається рослинами без забруднення ґрунту чи ґрунтових вод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання / Розпорядження Кабінету міністрів України від 13 серпня 2024 р. № 761- Київ
2. <https://ecopolitic.com.ua/news/novyj-nacplan-ukrainy-po-vie-hto-on-predpolagaet/> (Дата звернення 02.04.2026)
3. Заруба, С.. Розвиток мікромереж в Україні: виклики та можливості. Енергетична політика, 145, 111928. doi:10.1016/j.enpol.2020.111928
4. Ковальчук, В. . Участь громади в проектах мікромереж: уроки України. Сталі міста та суспільство, 65, 102675. doi:10.1016/j.scs.2021.102675
5. Slowe, J. Micro-CHP: Global Industry Status and Commercial Prospects // 23rd World Gas Conference (Amsterdam, 2006). - Р. 9.
6. Laria A. та ін. al. Survey on microgrids: analysis of technical limitations to carry out of new solutions // 13th European Conference on Power Electronics and Applications 2009 (EPE'09) (September 8–10, 2009). – Р. 1–8.
7. Витаута Adomavicius, Valeriy Kharchenko, Jonas Valickas, Valentin Gusarov. RES-базовані microgrids для навколишнього природного energy supply in agriculture // Proceeding of 5th International Conference «Trends in Agricultural Engineering 2013» (September 3–6, 2013, Prague, Czech Republic).
8. Аналіз впровадження мікромереж в Україні/
https://www.mev.gov.ua/sites/default/files/2025-10/mikromerezhi-ua_0.pdf (Дата звернення 04.04.2026)
9. Бейкер, Дж. (2020). Мікромережі як рішення для енергетичної стійкості в Україні. Журнал енергозбереження, 32, 101820. doi:10.1016/j.est.2020.101820
10. Гонсалес, М. та Сміт, Т. (2021). Роль зберігання енергії в системах мікромереж. Енергетичні звіти, 7, 52-60. doi:10.1016/j.egy.2021.10.012
11. Назаров, І. (2022). Інформованість громадськості та залучення громади до розвитку мікромереж в Україні. Відновлювана енергія, 178, 1098-1106. doi:10.1016/j.renene.2021.09.020

12. Шмідт, Р. (2020). Впровадження мікромереж у зонах конфлікту: практичні приклади та висновки. Дослідження в галузі енергетики та соціальних наук, 66, 101470. doi:10.1016/j.erss.2020.101470

13. Липов, В. КОНЦЕПЦІЯ КООПЕРАТИВУ-ЛОКАЛЬНОЇ МІКРОМЕРЕЖІ ВДЕ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНКЛЮЗИВНОГО РОЗВИТКУ І ПІДТРИМКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ/
<https://heraldes.khmn.edu.ua/index.php/heraldes/article/view/43/195>

14. Vytautas Adomavicius, Valeriy Kharchenko, Jonas Valickas, Valentin Gusarov, RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture, Proceeding of the 5th International Conference "Trends in Agricultural Engineering 2013", September 3 – 6, 2013, Prague, Czech Republic.

15. Strebkov D.S., Kharchenko V.V. Innovative VIESH Developed RES Technologies, Proceeding of International Conference “Energy of Moldova – 2012. Regional Aspects of Development, October 4 – 6, 2012 – Chisinau, Republic of Moldova. – P. 568 – 574.

16. Денисенко М.А. Спеціальні питання електропостачання: навч. посіб. - :НТТУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2009-Ч.І.:Вибір елементів електропостачальних систем на основі стохастичного моделювання процесів, що відбуваються в них.-288 с.

17. Основи електропостачання сільського господарства :Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с.

18. Енергетична стратегія України на період до 2030 р.: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071/
<https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf> (Дата звернення 06.04.2026)

19. Основні положення Енергетичної стратегії України до 2030 року/
<http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-5/section-4/4-1> (Дата звернення 06.04.2026)

20.Правила улаштування електроустановок/ МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ/ Наказ №476 від 21.07.2017р.- Київ, 2017.

21. Markelova Ye., Ukhanova V., Tikhomirov A. Regularities of changing of specific indicators of electric energy consumption in animal breeding /Research in agricultural electric engineering. Vol.3. 2015. №1. ..27- 29.

22.Marchenko O.V. Mathematical modeling and economic efficiency assessment of autonomous energy systems with production and storage of secondary energy carriers. International Journal of Low-carbon Technologies. 2010. V. 5. No. 4. „Q. 250.255. DOI: 10.1093/ijlct/ctq031

23. Turkey B.E., Telli A.Y. Economic Analysis of Stand Alone and Grid Connected Hybrid Energy Systems. Renewable Energy. 2011. V. 36. No. 7. „Q. 1931.1943. DOI: 10.1016/j.renene.2010.12.007

24. Ajao K.R., Oladosu O.A., Popoola O.T. Cost-benefit analysis of wind-solar power generation by HOMER power optimization software. Journal of Applied Science and Technology. 2011. V. 16. No. 1.2. P. 52.57. DOI: 10.4314/jast.v16i1-2.64779

25. Srivastava R., Giri V.K. Optimization of Hybrid Renewable Resources using HOMER. International Journal of Renewable Energy Research. 2016. V. 6. No. 1. „Q. 157.163.

26. Sigarchian S.G, Malmquist A., Fransson T. Modeling and control strategy of a hybrid PV/Wind/Engine/Battery system to provide electricity and drinkable water for remote applications. Energy Procedia. 2014. V. 57. No. 1. P. 1401.1410. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.087

27. Bernal-Agustin J. L., Dufo-Lopez R. Simulation and Optimization of Stand-Alone Hybrid Renewable Energy Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. V. 13. No. 8. P. 2111.2118. DOI: 10.1016/j.rser.2009.01.010

28. Bhandari B., Poudel, S.R., Lee, K.T., Ahn, S.H. Hybrid renewable energy system: A Review // International Journal of Electronic and Electrical Engineering. 2014. V. 7. No. 5. P. 535.542. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.187

29. Flexible Photovoltaic Modules Based on Amorphous Hydrogenated Silicon / G. Ablayev [et al.] // *Semiconductors*. 2015. Vol. 49, Issue 5. Pp. 679–682. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1063782615050024> (дата обращения: 22.05.2019).

29. Pfeifer A., Dominkovic D., Cosic B., Duic N. Economic Feasibility of CHP Facilities Fueled by Biomass from Unused Agriculture Land: Case of Croatia // *Energy Conversion And Management*. 2016. Vol. 125. Pp. 222–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.090>

30. Shahsavari A., Akbari M. Potential of Solar Energy in Developing Countries for Reducing En-ergy-Related Emissions // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 90. Pp. 275–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>

31. Emission Characteristics of a Pyrolysis-Combustion System for the Co-Production of Biochar and Bioenergy from Agricultural Wastes / L. Dunnigan [et al.] // *Waste Management*. 2018. Vol. 77. Pp. 59–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.004>

32. Energy Savings, Emission Reductions, and Health Co-Benefits of the Green Building Move-ment / P. MacNaughton [et al.] // *Journal Of Exposure Science And Environmental Epidemiology*. 2018. Vol. 28 (4). Pp. 307–318. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41370-017-0014-9>

33. Assessing the Economic and Environmental Sustainability of a Regional Air Quality Plan / C. Car-nevale [et al.] // *Sustainability*. 2018. Vol. 10, Issue 10. Article ID 3568. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10103568>

34. Air Quality, Primary Air Pollutants and Ambient Concentrations Inventory for Roma-nia / G. Nastase [et al.] // *Atmospheric Environment*. 2018. Vol. 184. Pp. 292–303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>

35. Дейна, А. ДТЕК до кінця 2026-го добудує Тилігульську ВЕС. Forbes. Retrieved from <https://forbes.ua/news/dtek-do-kintsya-2026-go-planue-dobuduvati-tiligulsku-ves-proekt-na-450-mln-progarantue-eksportno-investitsiy-niy-fond-danii-22012025-26501> (Дата звернення 20.03.2026)

36. ДТЕК. ДТЕК інвестує 450 мільйонів євро в будівництво Тилігульської вітроелектростанції. Retrieved from <https://dtek.com/media-center/news/dtek-invest-450-million-tyligulska-windfarm-expansion/> (Дата звернення 20.03.2026)

37. ДТЕК. Тилігульська ВЕС почала продавати електроенергію на ринкових умовах. Retrieved from <https://dtek.com/media-center/news/tyligulska-wpp-starts-selling-electricity-on-market-terms-/> (Дата звернення 20.03.2026)

38. Interfax-Україна (2024). Україна має намір побудувати до 1 ГВт газової маневреної генерації у 2024 році і ще 4 ГВт у найближчі роки. Retrieved from <https://interfax.com.ua/news/economic/992716.html> (Дата звернення 27.03.2026)

39. Зінченко, Н.. В Україні у 2024 році підключили 835 МВт розподіленої генерації. Українська енергетика. Retrieved from <https://ua-energy.org/uk/posts/v-ukraini-u-2024-rotsi-pidkliuchyly-835-mvt-rozpodilenoii-heneratsii-minenerho>

40. United Nations Development Programme (2024). Усунення бар'єрів для сприяння інвестиціям в енергоефективність громадських будівель в малих та середніх містах України шляхом застосування механізму ЕСКО. Retrieved from <https://www.undp.org/uk/ukraine/projects/usunennya-baryeriv-dlya-spryyannya-investytsiyam-v-enerhoefektyvnist-hromadskykh-budivel-v-malykh-ta-serednikh-mistakh-ukrayiny> (Дата звернення 27.03.2026)