

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
на тему: **«Розробка гібридної системи електропостачання парку»**

КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
спеціальності __141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
ступеня вищої освіти бакалавр
групи 141ЕЕбд_41
Дашенко Олександр Віталійович
Керівник: канд. техн. наук, доцент
Басова Юлія Олександрівна

Полтава – 2026 рік

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»*
Спеціальність 141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
_____ **Станіслав ПОПОВ**
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
ДАЩЕНКО Олександр Віталійович

- 1 Тема роботи: *«Розробка гібридної системи електропостачання парку»,*
керівник роботи канд. техн. наук, доцент **БАСОВА Юлія Олександрівна**,
затверджено засіданням кафедри, протокол № 9 від 03 грудня 2025 р.
- 2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.
- 3 Вихідні дані до роботи *об'єкт; добове енергоспоживання; джерела енергії.*
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Огляд стану питання*
Розділ 2. *Розрахунок і вибір основних елементів системи*
Розділ 3. *Розробка гібридної системи електропостачання*
Розділ 4. *Економіка та охорона праці*
- 5 Перелік графічного матеріалу: *схема об'єкта; схема генерації, електрична схема електропостачання, схеми підключення, специфікація*

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка	Ірина МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
Охорона праці	Наталія ПОПОВИЧ, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи	02.06-06.06.2026 р.	
7	Попередній захист роботи на кафедрі	до 06.06.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	10.06-12.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ДАЩЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Юлія БАСОВА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 3 додатки, 11 таблиць, 6 рисунків, 36 використаних джерел, 63 сторінки.

Мета роботи – є розробка гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку із використанням вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції.

Об’єкт дослідження – система електропостачання.

Предмет дослідження – технічні рішення та параметри гібридної системи електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів при проектуванні автономних та гібридних систем електропостачання для рекреаційних, природоохоронних та інших віддалених об’єктів із використанням відновлюваних джерел енергії.

У **першому** розділі проведено аналіз сучасного стану розвитку відновлюваної енергетики та розглянуто найбільш поширені види відновлюваних джерел енергії. Наведено особливості роботи вітроенергетичних установок, сонячних електростанцій та мікрогідроелектростанцій, розглянуто принципи роботи вітрогенераторів, фотоелектричних модулів, контролерів заряду, акумуляторних батарей та гібридних інверторів.

У **другому** розділі виконано аналіз системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку, проведено розрахунок електричних навантажень, визначено структуру споживання електричної енергії та виконано розподіл навантаження за основними групами електроприймачів.

У **третьому** розділі проведено розрахунок параметрів гібридної системи електропостачання. Виконано оцінку вітрового потенціалу території, розрахунок параметрів вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції. Обґрунтовано вибір основного обладнання системи, зокрема вітрогенератора, сонячних панелей, акумуляторних батарей, МРРТ-

контролерів та гібридного інвертора. Також розглянуто принципову схему роботи гібридної системи електропостачання.

У **четвертому** розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту, визначено орієнтовну вартість обладнання та розглянуто питання охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки під час монтажу й експлуатації гібридної системи електропостачання.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – для практичного впровадження автономних та гібридних систем електропостачання на базі відновлюваних джерел енергії для адміністративно-рекреаційних комплексів, баз відпочинку та інших віддалених об'єктів.

Сфера застосування результатів роботи – проєктування автономних та гібридних систем електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії для об'єктів рекреаційного, природоохоронного та господарського призначення.

Текст роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень за допомогою системи "StrikePlagiarism" та є оригінальним на 96,22 %.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу Регіонального ландшафтного парку «Нижньоворсклянський» із використанням відновлюваних джерел енергії. Виконано аналіз системи електропостачання об'єкта, проведено розрахунок електричних навантажень та здійснено вибір основного обладнання гібридної системи. У роботі виконано розрахунок параметрів вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції, а також проведено техніко-економічне обґрунтування проєкту. Результати роботи можуть бути використані при проєктуванні автономних та гібридних систем електропостачання для рекреаційних і віддалених об'єктів.

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ABSTRACT

The qualification work considers the development of a hybrid power supply system for the administrative and recreational complex of the Regional Landscape Park using renewable energy sources. The analysis of the object's power supply system was carried out, electrical loads were calculated, and the main equipment of the hybrid system was selected.

The work includes the calculation of the parameters of a wind power installation and a micro-hydroelectric power plant, as well as a technical and economic feasibility study of the project. The results of the work can be used in the design of autonomous and hybrid power supply systems for recreational and remote facilities.

RENEWABLE ENERGY SOURCES, WIND POWER INSTALLATION, MICRO-HYDROELECTRIC POWER PLANT, ELECTRICAL LOADS, OCCUPATIONAL SAFETY.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	9
ВИВЧЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ.....	9
1.1 Роль і значення вітрової енергетики у сучасних системах електропостачання	9
1.2. Огляд нетрадиційних джерел енергії для автономного електропостачання	12
1.3. Практичне використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії для електрозабезпечення полтавського регіону.....	16
Висновок по розділу 1	18
РОЗДІЛ 2	19
ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ	19
2.1 Характеристика об'єкта дослідження	19
2.2 Характеристика інфраструктури та системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку	20
Висновок по розділу 2	25
РОЗДІЛ 3	26
РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	26
3.1 Визначення електричних навантажень адміністративно-рекреаційного комплексу парку	26
3.2 Розрахунок вітрової установки.....	28
3.3 Обґрунтування застосування мікрогідроелектростанції у складі гібридної системи електропостачання та її розрахунок	39

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Виконав	Дашченко О.В.				Кваліфікаційна робота			Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірив	Басова Ю.О.								н	5	58
Керівник	Басова Ю.О.							ПДАУ, 2026 р.			
Н. контр.	Басова Ю.О.										
Затверд.	Попов С.В.										

Висновок по розділу 3	45
РОЗДІЛ 4	46
ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	46
4.1 Розрахунок витрат на спожиту електричну енергію та вартість встановлення гібридної системи.....	46
4.2 Охорона праці при встановленні гібридної системи.....	50
Висновок по розділу 4	53
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	56

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку енергетичної галузі України особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії та впровадження енергоефективних систем електропостачання. Зростання вартості електричної енергії, необхідність підвищення енергетичної незалежності та нестабільність роботи централізованих електричних мереж зумовлюють потребу у впровадженні автономних та гібридних систем електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії.

Особливо актуальним це питання є для віддалених рекреаційних та природоохоронних об'єктів, які розташовані на значній відстані від потужних центрів живлення та мають обмежені можливості резервування електропостачання. У таких умовах використання гібридних систем електропостачання дозволяє підвищити надійність електропостачання, зменшити навантаження на існуючі електричні мережі та скоротити витрати на споживання електричної енергії [1, 2].

Одним із перспективних напрямів розвитку автономного електропостачання є поєднання кількох видів відновлюваних джерел енергії у складі єдиної гібридної системи, що дозволить забезпечити більш стабільний режим генерації електричної енергії протягом року.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення гібридної системи електропостачання із використанням вітроенергетичної установки як основного джерела генерації електричної енергії, а також мікрогідроелектростанції як додаткового джерела живлення. Використання такої системи дозволить забезпечити ефективне використання потенціалу відновлюваних джерел енергії.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку із використанням вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі *завдання*:

- аналіз сучасного стану розвитку відновлюваної енергетики;

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дослідження особливостей використання вітроенергетичних установок та мікроГЕС;
- аналіз існуючої системи електропостачання об'єкта та визначення структури електричних навантажень;
- розрахунок параметрів гібридної системи електропостачання та вибір основного обладнання системи;
- виконання економічного обґрунтування проєкту;
- розробка заходів з охорони праці під час монтажу та експлуатації системи.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є система електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Предметом дослідження є технічні рішення та параметри гібридної системи електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу електричних навантажень, методи розрахунку параметрів гібридної системи, методи техніко-економічного аналізу гібридної системи електропостачання.

Практичне значення роботи. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів при проєктуванні автономних та гібридних систем електропостачання для рекреаційних, природоохоронних та інших віддалених об'єктів із використанням відновлюваних джерел енергії.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 10 таблиць, 7 рисунків .

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ВИВЧЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Роль і значення вітрової енергетики у сучасних системах електропостачання

У сучасних умовах розвитку енергетичної галузі особливого значення набуває використання відновлюваних джерел енергії, серед яких важливе місце займає вітрова енергетика. Зростання вартості традиційних енергоносіїв, необхідність зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та підвищення енергетичної незалежності обумовлюють активне впровадження вітроенергетичних установок у системи електропостачання різних об'єктів.

Вітрова енергетика є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку альтернативної енергетики у світі. Основною перевагою вітрових електростанцій є можливість виробництва електричної енергії без спалювання органічного палива та без викидів шкідливих речовин у атмосферу. Крім того, вітрові електростанції дозволяють ефективно використовувати природний енергетичний потенціал території та зменшувати навантаження на централізовані електричні мережі.

На сьогодні вітрова енергетика є одним із найбільш поширених видів відновлюваної енергетики у світі та займає провідні позиції за темпами розвитку серед інших альтернативних джерел енергії. Значні обсяги генерації електричної енергії за рахунок вітру спостерігаються у країнах Європи, Північної Америки та Азії. Світовий досвід показує, що використання вітрових електростанцій дозволяє забезпечити стабільне електропостачання віддалених об'єктів та підвищити рівень енергетичної безпеки.

Особливо ефективним є використання вітроенергетичних установок у складі гібридних систем електропостачання. Поєднання вітрової генерації із сонячними електростанціями, акумуляторними батареями та іншими джерелами живлення дозволяє забезпечити більш стабільний режим роботи системи протягом року. У

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зимовий період, коли ефективність сонячних електростанцій знижується через недостатній рівень сонячної радіації, вітроенергетичні установки можуть компенсувати дефіцит електричної енергії за рахунок збільшення швидкості вітру.

Для адміністративно-рекреаційного комплексу парку використання вітроенергетичної установки є доцільним у зв'язку з особливостями розташування об'єкта та наявністю достатнього вітрового потенціалу території. Використання вітрової генерації дозволяє зменшити споживання електроенергії із зовнішньої мережі, підвищити надійність електропостачання та забезпечити часткову енергетичну автономність об'єкта.

Крім технічних переваг, використання вітрової енергетики має також економічне значення. За результатами сучасних досліджень встановлено, що вітрова енергетика є одним із найдешевших видів відновлюваної генерації електричної енергії, а собівартість виробництва електроенергії з вітрових електростанцій постійно знижується завдяки розвитку технологій та збільшенню масштабів виробництва обладнання.

Таким чином, розвиток вітрової енергетики є важливим напрямом підвищення енергоефективності та надійності систем електропостачання.

Використання вітроенергетичних установок у складі гібридних систем електропостачання дозволяє ефективно використовувати потенціал відновлюваних джерел енергії та забезпечувати стабільне електропостачання віддалених об'єктів рекреаційного призначення [1-4].

У сучасних гібридних системах електропостачання можуть використовуватись різні комбінації відновлюваних джерел енергії залежно від природно-кліматичних умов території, режиму електроспоживання та необхідного рівня надійності електропостачання.

Найбільш поширеним є поєднання сонячної електростанції та вітроенергетичної установки. Така комбінація дозволяє компенсувати недоліки кожного із джерел генерації. У літній період основний виробіток електричної енергії забезпечує сонячна електростанція завдяки високому рівню сонячної активності та

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалому світловому дню. У зимовий період, коли ефективність роботи сонячних панелей знижується, зростає роль вітроенергетичної установки, оскільки швидкість вітру в цей час, як правило, збільшується.

Для підвищення стабільності роботи системи додатково можуть використовуватись акумуляторні батареї, які забезпечують накопичення надлишкової електричної енергії та її використання у періоди пікових навантажень або недостатньої генерації. Використання акумуляторних батарей дозволяє забезпечити безперебійне живлення споживачів та зменшити вплив коливань потужності відновлюваних джерел енергії.

У районах, де є річки або водотоки із достатньою швидкістю течії, ефективним є поєднання сонячної електростанції, вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції. МікроГЕС здатна забезпечувати більш стабільний виробіток електричної енергії протягом доби та зменшувати навантаження на акумуляторні батареї. Така комбінація є особливо ефективною для віддалених рекреаційних та природоохоронних об'єктів.

У деяких випадках до складу гібридної системи можуть додатково включатися дизельні або бензинові генератори резервного живлення. Їх використання доцільне у періоди аварійних режимів роботи або при тривалій відсутності генерації від відновлюваних джерел енергії. Однак основним недоліком таких установок є значні витрати палива та негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, вибір складу гібридної системи електропостачання залежить від природно-кліматичних умов місцевості, особливостей електроспоживання об'єкта та економічної доцільності використання того чи іншого виду генерації. Для адміністративно-рекреаційного комплексу парку найбільш раціональним є поєднання вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції, що дозволяє забезпечити стабільне та надійне електропостачання протягом року [3, 4].

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Огляд нетрадиційних джерел енергії для автономного електропостачання

Вітрові електроустановки. Вітер – це потік повітря, який рухається відносно поверхні Землі зі швидкістю понад 0,6 м/с [4, 5].

Вітроенергетика – галузь енергетики, що спеціалізується на використанні енергії вітру, тобто кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері. Енергія вітру належить до відновлюваних джерел енергії, оскільки її утворення є наслідком сонячної активності.

Вітрогенератор (вітроенергетична установка, або скорочено ВЕУ) – це пристрій, призначений для перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію [4].

Вітрогенератори поділяються на дві основні категорії: промислові та побутові (для приватного використання). Промислові вітроенергетичні установки, як правило, встановлюються державними підприємствами або великими енергетичними компаніями та об'єднуються у єдині мережі, утворюючи вітрові електростанції. Основною перевагою таких електростанцій є відсутність потреби у традиційному паливі та мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище. Для ефективної роботи промислових вітрових електростанцій необхідною умовою є наявність достатнього середньорічного вітрового потенціалу території.

Побутові вітроенергетичні установки мають значно меншу потужність та використовуються для електропостачання окремих будівель, баз відпочинку, фермерських господарств, рекреаційних комплексів та інших віддалених об'єктів. Найчастіше такі установки працюють у складі автономних або гібридних систем електропостачання спільно із сонячними електростанціями та акумуляторними батареями.

Більшість конструкцій вітродвигунів відомі людству вже багато століть, тому точні відомості про їхніх винахідників відсутні. Сучасні вітроенергетичні установки за конструктивним виконанням поділяються на дві основні групи [5]:

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Вітродвигуни з горизонтальною віссю обертання (крильчасті);
2. Вітродвигуни з вертикальною віссю обертання (карусельні).

Найбільш поширеними є вітроенергетичні установки з горизонтальною віссю обертання. Вони характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії та ефективною роботою при значних швидкостях вітру. Основними елементами таких установок є вітрокоесо з лопатями, генератор, щогла, система орієнтації за напрямком вітру та система керування.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають простішу конструкцію та можуть працювати незалежно від напрямку вітру. До таких установок належать лопатеві та ортогональні вітродвигуни. Їх перевагою є менший рівень шуму та можливість роботи при змінних напрямках повітряного потоку, однак ефективність таких установок, як правило, нижча порівняно з крильчастими вітрогенераторами.

Типи крильчастих вітродвигунів відрізняються між собою переважно кількістю лопатей. Найбільш поширеними є дво- та трилопатеві конструкції, які забезпечують оптимальне співвідношення між ефективністю, надійністю та вартістю обладнання.

Основними перевагами вітроенергетичних установок є:

- екологічна безпечність та відсутність шкідливих викидів;
- використання відновлюваного джерела енергії;
- можливість автономного електропостачання віддалених об'єктів;
- зменшення навантаження на централізовані електричні мережі;
- можливість роботи у складі гібридних систем електропостачання;
- зниження витрат на споживання електричної енергії.

Разом із перевагами вітроенергетичні установки мають і певні недоліки:

- нестабільність виробітку електричної енергії через залежність від швидкості вітру;
- відносно невисокий рівень генерації при малих швидкостях вітру;
- значна вартість обладнання та монтажу;

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- залежність ефективності роботи від природно-кліматичних умов;
- шумове навантаження під час роботи;
- необхідність регулярного технічного обслуговування;
- ризик пошкодження обладнання під час сильних вітрів або грозових явищ.

Незважаючи на існуючі недоліки, вітроенергетика є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики та активно використовується у сучасних системах автономного та гібридного електропостачання [3,4].

Малі та мікрогідроелектростанції. Мала або мікрогідроелектростанція (скорочено мікроГЕС) – це гідроелектростанція невеликої потужності, яка виробляє електричну енергію за рахунок енергії рухомого водного потоку. Єдиного загальноприйнятого поділу малих гідроелектростанцій не існує, однак основною характеристикою таких установок є їх встановлена потужність. Зазвичай до мікроГЕС відносять установки потужністю до 100 кВт, а установки потужністю до 5 кВт – до піко-ГЕС [6, 7].

Малі гідроелектростанції поділяються на декілька основних типів [6]: греблеві; безгреблеві дериваційні; акумулюючі; хвильові; припливні.

Греблеві мікроГЕС працюють за рахунок створення напору води шляхом спорудження невеликої греблі або накопичувальної водойми. Дериваційні установки використовують природний перепад висот русла річки та спеціальні канали для подачі води до турбіни. Акумулюючі гідроелектростанції забезпечують накопичення води у спеціальних резервуарах для подальшого використання у періоди підвищеного електроспоживання.

Вибір типу генератора для мікрогідроелектростанції залежить від характеру електричного навантаження споживачів. Якщо система електропостачання містить переважно активне навантаження, тобто електроприймачі, які повністю перетворюють електричну енергію у світлову або теплову (освітлення, нагрівальні прилади тощо), можливе використання асинхронних генераторів.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку, коли у системі присутні електроприймачі з реактивним навантаженням, зокрема насоси, електродвигуни, компресори та інше обладнання, доцільним є використання синхронних генераторів, які забезпечують більш стабільну роботу системи електропостачання та краще працюють при змінному навантаженні.

Основними перевагами мікрогідроелектростанцій є:

- виробництво електричної енергії за рахунок відновлюваного джерела енергії;
- більш стабільний виробіток електроенергії порівняно із сонячною та вітровою генерацією;
- мінімальні втрати електроенергії при передачі за рахунок близького розташування до споживача;
- низька собівартість електричної енергії після введення установки в експлуатацію;
- відсутність шкідливих викидів у атмосферу;
- незначний вплив на навколишнє природне середовище;
- швидкий вихід на робочий режим;
- можливість стабільного електропостачання віддалених об'єктів.

Разом із перевагами мікроГЕС мають і певні недоліки:

- залежність ефективності роботи від рівня води та швидкості течії;
- можливе пересихання невеликих річок у літній період;
- часткове або повне замерзання водотоків у зимовий період;
- необхідність будівництва гідротехнічних споруд;
- значні початкові витрати на будівництво та монтаж обладнання;
- складність проведення будівельних робіт у природоохоронних зонах.

Незважаючи на існуючі недоліки, мікрогідроелектростанції є перспективним джерелом відновлюваної енергії для автономних та гібридних систем електропостачання. Особливо ефективним є їх використання для електропостачання віддалених рекреаційних комплексів, туристичних баз та

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

природоохоронних об'єктів, розташованих поблизу річок або водотоків із достатнім гідроенергетичним потенціалом [4, 6, 7].

1.3. Практичне використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії для електрозабезпечення полтавського регіону

Впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) на Полтавщині є ключовим інструментом підвищення енергетичної стійкості регіону, децентралізації його енергосистеми та зменшення екологічного навантаження. Полтавська область володіє унікальною структурою відновлюваних ресурсів: помірним сонячним потенціалом, локалізованими зонами для вітроенергетики та надзвичайно високим потенціалом біоенергетики й нетрадиційної геотермальної енергії.

Нижче розглянуто практичні кейси, реалізовані проєкти та перспективні напрямки децентралізованого електропостачання споживачів Полтавського регіону.

1. Біоенергетика та біогазові комплекси на базі агропромислового сектору. Оскільки Полтавщина є одним із лідерів аграрного сектору України, утилізація відходів сільського господарства з одночасним виробництвом енергії є найбільш пріоритетним напрямком. Один із найвідоміших прикладів у регіоні є Глобинський біогазовий комплекс, де біогаз виробляється з жому цукрового буряка та відходів свинокомплексу. Отриманий біогаз використовується для заміщення природного газу та генерації електричної енергії когенераційними установками. Біогазові станції в інших районах області використовують кукурудзяний силос, гній ВРХ та пташиний послід. Електроенергія від таких установок подається в мережу або забезпечує автономну роботу великих тваринницьких комплексів, що критично важливо для об'єктів із безперервним циклом виробництва [8, 9].

2. Сонячна енергетика (СЕС) та системи накопичення енергії (BESS) Полтавська область має середній рівень інсоляції (близько 1100–1200 кВт · год/м² на рік), що робить економічно вигідним будівництво як промислових, так і

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локальних СЕС. В області успішно функціонують комерційні СЕС наземного типу (наприклад, у Кременчуцькому, Лубенському та Полтавському районах). Окремим трендом є встановлення дахових СЕС на будівлях лікарень, водоканалів та навчальних закладів для забезпечення їхньої енергонезалежності під час аварійних відключень. Для віддалених насосних станцій, систем вуличного освітлення громад та фермерських господарств застосовуються гібридні СЕС із літій-залізо-фосфатними (LiFePO_4) акумуляторами. Це дозволяє компенсувати денні піки споживання та гарантувати електропостачання в нічний час [10, 11].

3. Геотермальна енергетика на базі виснажених нафтогазових свердловин. Полтавський регіон є центром нафтогазовидобувної промисловості України (ДДЗ — Дніпровсько-Донецька западина). На території області знаходяться сотні ліквідованих або тимчасово консервованих свердловин, що відкриває унікальні можливості для нетрадиційної енергетики. Глибокі свердловини (2–4 км) мають високу температуру пластових вод (від $+60^\circ\text{C}$ до $+90^\circ\text{C}$ і вище). Реконструкція таких свердловин під геотермальні зонди дозволяє створювати геотермальні циркуляційні системи (ГЦС). Високотемпературний теплоносій може використовуватись для низькотемпературних бінарних електростанцій (працюють за органічним циклом Ренкіна — ORC) для генерації електроенергії, а відпрацьоване тепло — для опалення теплиць, сушильних комплексів агропродукції або житлового сектору віддалених робітничих селищ [12-14].

4. Вітроенергетичний потенціал регіону/ Хоча Полтавщина не належить до зон із найвищою вітровою активністю (на відміну від узбережжя морів), будівництво сучасних високих вітротурбін є виправданим у певних локаціях.

Перспективними є території вздовж русла річки Дніпро (Кременчуцьке та Кам'янське водосховища), а також відкриті височини на півдні та сході області. Впровадження малих вітроелектростанцій (ВЕС) потужністю до 50 кВт у поєднанні з сонячними панелями для енергозабезпечення фермерських господарств, оскільки вітровий потенціал регіону зазвичай є вищим у зимовий період, що ідеально балансує роботу СЕС [10, 11, 15-19].

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичний аналіз паливно-енергетичного балансу Полтавської області доводить, що оптимальним шляхом розвитку електрозабезпечення віддалених та виробничих об'єктів регіону є створення гібридних локальних систем (Microgrids).

Комбінація базової генерації на біогазі чи біомасі із піковою сонячною генерацією та системами акумулювання енергії дозволяє повністю нівелювати проблему нестабільності відновлюваних джерел. Використання наявного промислово-аграрного потенціалу Полтавщини та фонду нафтогазових свердловин забезпечує високу техніко-економічну ефективність запропонованих у дипломному проєкті рішень.

Висновок по розділу 1

У розділі проведено аналіз сучасного стану розвитку відновлюваної енергетики та розглянуто особливості використання вітроенергетичних установок, сонячних електростанцій і мікрогідроелектростанцій у складі автономних та гібридних систем електропостачання. Встановлено, що використання відновлюваних джерел енергії є перспективним напрямом підвищення енергетичної незалежності та надійності електропостачання віддалених об'єктів.

Проаналізовано практичний досвід використання нетрадиційних джерел енергії у Полтавському регіоні та визначено доцільність впровадження гібридної системи електропостачання для адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Встановлено, що найбільш ефективним рішенням є поєднання вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції, що дозволяє забезпечити стабільне електропостачання об'єкта протягом року.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

2.1 Характеристика об'єкта дослідження

Регіональний ландшафтний парк розташований на території Полтавської області в долині річки Ворскла та належить до природоохоронних територій регіону. Територія парку характеризується наявністю лісових масивів, прибережних зон річки, рекреаційних територій та адміністративно-господарських об'єктів.

На території парку розташовані адміністративна будівля, рекреаційні майданчики, пункти охорони, системи зовнішнього освітлення та допоміжні господарські споруди, що потребують стабільного електроживлення. Частина об'єктів знаходиться на значній відстані від централізованих електричних мереж, що ускладнює їх електропостачання та обумовлює доцільність використання гібридної системи електропостачання.

Об'єктом дослідження у роботі є система електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку, розташованого поблизу річки Ворскла. У роботі передбачається розробка гібридної системи електропостачання із використанням відновлюваних джерел енергії та резервного джерела живлення.

Клімат Полтавської області є помірно континентальним із теплим літом та помірно холодною зимою. Середня температура повітря у січні становить $-5...-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, у липні – $+20...+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютний мінімум температури може досягати $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимум – до $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сніговий покрив встановлюється переважно у грудні та утримується 2–3 місяці. Середня висота снігового покриву становить 100–150 мм. Річна кількість опадів складає 450–550 мм. Відносна вологість повітря коливається в межах 60–75 %. Переважають вітри західного та північно-західного напрямків зі середньою швидкістю 2–5 м/с.

Сонячна радіація є важливим фактором формування мікроклімату території

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та може бути використана для впровадження енергоефективних технологій.

Гідрографічна мережа території Регіональний ландшафтний парк представлена річкою Ворскла, а також системою малих річок, струмків та заплавлених водойм, що формують природний водний комплекс території парку. Річка Ворскла є однією з основних водних артерій Полтавської області та відіграє важливу роль у формуванні природних екосистем і рекреаційних зон парку.

Прибережні території річки характеризуються наявністю лісових масивів, луків та рекреаційних ділянок, на яких розташовані окремі адміністративні та господарські об'єкти парку. Наявність значної кількості віддалених об'єктів поблизу річкової системи створює потребу у забезпеченні надійного та автономного електропостачання.

Основними джерелами живлення річки є атмосферні опади, поверхневий стік та ґрунтові води. Найбільше підвищення рівня води спостерігається у весняний період під час танення снігу та інтенсивних опадів. У літній період можливе короткочасне підвищення рівня води внаслідок дощових паводків.

У зимовий період водні об'єкти частково вкриваються льодом, а навесні відбувається інтенсивне скресання криги та збільшення швидкості течії. Такі природно-кліматичні умови необхідно враховувати під час проєктування гібридної системи електропостачання, зокрема при виборі місця встановлення обладнання, систем захисту та організації безперебійного електроживлення об'єктів парку.

2.2 Характеристика інфраструктури та системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку

На території комплексу розташовано декілька будівель та споруд, які умовно можна поділити на дві основні групи – рекреаційні об'єкти для відпочинку відвідувачів та адміністративно-господарські будівлі.

До першої групи належать адміністративно-рекреаційний корпус із

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщеннями для тимчасового перебування відвідувачів, декілька окремих будиночків для відпочинку, лазня, санітарно-побутові приміщення, а також малі архітектурні форми та садово-паркові споруди, зокрема альтанки, навіси та зони відпочинку.

Друга група включає службові приміщення для персоналу, кухню, господарські споруди для зберігання інвентарю та обладнання, гараж, технічні приміщення, навіси та інші допоміжні об'єкти інфраструктури парку.

Основна частина будівель виконана з дерев'яних конструкцій та оздоблена дерев'яними або сучасними облицювальними матеріалами. Вікна та двері – металопластикові або дерев'яні з подвійним склінням, що забезпечує зниження тепловтрат у холодний період року.

Водопостачання об'єктів комплексу здійснюється за допомогою насосного обладнання з використанням води зі свердловини або природних водних джерел, розташованих на території парку.

Опалення більшості приміщень реалізовано за допомогою електричних конвекторів, що формує значне навантаження на систему електропостачання, особливо у зимовий період. Частина господарських приміщень та службових будівель може додатково використовувати твердопаливне опалення.

Наявність значної кількості електричних споживачів, віддаленість окремих об'єктів та необхідність забезпечення безперебійного електроживлення обумовлюють доцільність розробки гібридної системи електропостачання комплексу парку.

Комплекс парку отримує електричну енергію від повітряної лінії електропередачі 10 кВ через комплектну трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ, розташовану поблизу території об'єкта. Основним джерелом живлення є централізована система електропостачання місцевої електромережі.

Через значну віддаленість окремих об'єктів комплексу від населених пунктів та наявність природних перешкод, зокрема річки Ворскла, лісових масивів і складних умов прокладання додаткових електричних мереж, об'єкт має

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмежені можливості резервного електроживлення. Це обумовлює необхідність підвищення надійності системи електропостачання шляхом впровадження гібридної системи електропостачання.

Живлення споживачів на території комплексу здійснюється повітряними та кабельними лініями електропередачі напругою 0,4 кВ. Повітряні лінії виконані самонесучими ізолюваними проводами типу СІІ на опорах. Розподіл електричної енергії між окремими будівлями та спорудами здійснюється через розподільчі щити та кабельні лінії.

Внутрішні електромережі будівель виконані кабелями з прокладанням у пластикових кабель-каналах, гофрованих трубах або прихованим способом. Кожна будівля комплексу обладнана власним розподільчим щитом із пристроями захисту та обліку електроенергії.

До основних споживачів електричної енергії об'єкту належать системи освітлення, електричні конвектори опалення, насосне обладнання водопостачання, побутові електроприлади та допоміжне обладнання господарських приміщень. Відповідно до вимог щодо надійності електропостачання об'єкт належить до III категорії електропостачання. Дані щодо енергозабезпечення об'єкта наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис електрозабезпечення об'єкта

Точка постачання	Електрична адреса	Розрахунковий рівень напруги	Категорія електропостачання	Розрахунковий прилад обліку	Максимальна потужність, кВт	Режим роботи	Цінова категорія	Група за максимальною потужністю
Відхідна ПЛ-0,4 кВ від шафи обліку	КТП 10/0,4 кВ комплексу	НН (0,40 кВ)	III	Багатотарифний лічильник електроенергії	57	Цілодобово, без вихідних	Інші споживачі	1

Споживання адміністративно-рекреаційним комплексом парку електричної енергії за три роки розрізі за місяцями наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Споживання електричної енергії на об’єкті за місяцями

Місяць	2025 рік	2024 рік	2023 рік
Січень	13500	23220	19600
Лютий	10900	12560	20320
Березень	8900	9200	4900
Квітень	3940	6240	5640
Травень	4160	3400	3800
Червень	1860	2780	1830
Липень	2080	2220	1540
Серпень	3010	3360	3120
Вересень	3460	4680	3920
Жовтень	6840	7760	8620
Листопад	10340	8040	11460
Грудень	10980	9920	15980
Разом	79970	93380	100730

Аналіз даних табл. 2.2 свідчить, що споживання електричної енергії адміністративно-рекреаційним комплексом парку має виражений сезонний характер. Найбільше споживання електроенергії спостерігається у зимові місяці, зокрема у січні, лютому та грудні, що пов’язано з використанням електричних конвекторів для опалення приміщень, а також збільшенням навантаження на системи освітлення.

У літній період рівень споживання електричної енергії суттєво зменшується через відсутність потреби в електричному опаленні та зниження навантаження на систему електропостачання. Мінімальні показники споживання спостерігаються у червні та липні.

Загальне річне споживання електричної енергії у 2023 році становило 100730 кВт·год, у 2024 році – 93380 кВт·год, а у 2025 році – 79970 кВт·год. Зменшення обсягів споживання електроенергії може бути пов’язане із впровадженням енергоощадних заходів, зміною режимів експлуатації об’єкта або зменшенням тривалості використання окремих електроприймачів.

Дані щодо електроспоживачів комплексу наведені у додатку А. За даними

додатку А розподіл споживання електричної енергії адміністративно-рекреаційного комплексу парку за типами електроприймачів наведено на рис. 2.1.

Основні електроприймачі об'єкта можна умовно поділити на такі групи: електричне освітлення; електричні обігрівачі; побутові електроприлади (кухонне обладнання, електроплити, водонагрівачі, холодильники, чайники тощо); верстати, ручний електроінструмент, насоси та компресори.



Рисунок 2.1 – Структура навантаження за потужністю за основними групами електроприймачів

На основі даних рис. 2.1 можна зробити висновок, що основну частину електричного навантаження адміністративно-рекреаційного комплексу парку становлять електричні обігрівачі, частка яких складає 50,33 % від загальної встановленої потужності електроприймачів. Це пояснюється використанням електричних конвекторів для опалення будівель та споруд комплексу у холодний період року.

Значну частку електричного навантаження також формують побутові електроприлади, на які припадає 43,26 % загальної потужності. До цієї групи належать електроплити, водонагрівачі, холодильники, чайники, мікрохвильові печі та інше побутове обладнання, що забезпечує функціонування комплексу.

Частка систем електричного освітлення є порівняно невеликою та становить

4,06 %, що свідчить про використання енергоефективних джерел світла на частині об'єкта. Найменше навантаження створюють насоси, верстати та ручний електроінструмент – 2,07 %.

Отримані результати свідчать про те, що найбільший вплив на загальне електроспоживання мають системи електричного опалення та побутові електроприлади. Це підтверджує доцільність впровадження гібридної системи електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії та енергоефективних технологій для зменшення навантаження на електричну мережу та скорочення витрат електроенергії.

З урахуванням зазначених особливостей доцільним є розгляд можливості застосування відновлюваних джерел енергії для часткового покриття електричних навантажень об'єкта. У зв'язку з цим у даній роботі доцільно вирішити наступні завдання:

- обґрунтування можливості використання відновлюваних джерел енергії для електропостачання комплексу;
- розробка технічних рішень щодо впровадження таких джерел та виконання відповідних розрахунків.

Висновок по розділу 2

У розділі проведено аналіз системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Досліджено особливості розташування об'єкта, його інфраструктуру та існуючу систему електропостачання.

Встановлено, що основними споживачами електричної енергії є системи електричного опалення та побутові електроприлади, які формують найбільшу частину електричного навантаження. Аналіз електроспоживання показав виражений сезонний характер навантаження із максимальними показниками у зимовий період.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Визначення електричних навантажень адміністративно-рекреаційного комплексу парку

Електричне навантаження комплексу парку формується переважно однофазними електроприймачами. Потужність більшості споживачів є відносно невеликою і зазвичай не перевищує 2 кВт. Завдяки правильному розподілу електроприймачів між фазами забезпечується достатньо рівномірне навантаження електричної мережі.

Навантаження об'єкта є відносно стабільним та не має значних пускових перевантажень, проте його величина змінюється залежно від сезону, часу доби та режиму експлуатації комплексу. Електропостачання об'єкта здійснюється змінним струмом промислової частоти 50 Гц при напрузі мережі 380/220 В. За надійністю електропостачання об'єкт належить до III категорії [20].

Електроприймачі комплексу працюють переважно у тривалому або короткочасному режимах роботи. Електроустановки об'єкта експлуатуються у мережі з глухозаземленою нейтраллю відповідно до вимог електробезпеки.

Перелік основного електрообладнання наведено у додатку А. Для проведення розрахунків використовується сумарна активна потужність для кожної групи електроприймачів.

Розрахунок електричних навантажень виконується окремо для кожного приміщення та кожної групи електроспоживачів [21-23]. На основі вихідних даних визначаються основні параметри електричного навантаження об'єкта.

Для установок, що працюють у тривалому режимі (оскільки тривалий режим роботи = 100 % для більшості електроприймачів), встановлена потужність $P_{уст,i}$ обчислюється за (3.1):

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{уст,i} = P_{ном,i} \cdot n_{ен,i} \quad (3.1)$$

де $n_{ен,i}$ – кількість електроприймачів одного типу, шт.;

$P_{ном,i}$ – номінальна потужність одного електроприймача, кВт.

Розрахункова активна потужність $P_{p,i}$ обчислюється за (3.2):

$$P_{p,i} = P_{вст,i} \cdot K_i \cdot K_{с,i} \quad (3.2)$$

де K_i – коефіцієнт використання електроприймача;

$K_{с,i}$ – коефіцієнт попиту.

Реактивна потужність $Q_{p,i}$ обчислюється за (3.3):

$$Q_{p,i} = P_{p,i} \cdot \tan(\arccos(\phi_i)) \quad (3.3)$$

Повна потужність $S_{p,i}$ обчислюється за (3.4):

$$S_{p,i} = P_{p,i2} + Q_{p,i2} \quad (3.4)$$

Розрахунковий струм електроприймача $I_{p,i}$ обчислюється за (3.5)

$$I_{p,i} = \frac{S_{p,i} \cdot 10^3}{U_{ном}} \quad (3.5)$$

де $U_{ном} = 230$ В – номінальна напруга однофазної мережі.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо розрахунок встановленої, активної та реактивної потужностей електроприймачів об'єкта комплексу парку на прикладі електричного конвектора Thermor EVIDENCE 2 ELEC 1500. $P_{ном} = 1500 \text{ Вт} = 1,5 \text{ кВт}$. Коефіцієнт використання $K_i = 0,5$; коефіцієнт попиту $K_c = 0,7$; $\cos\varphi = 1,0$.

Тоді встановлена потужність за (3.1) $P_{вст} = 1,5 \cdot 6 = 9,0 \text{ кВт}$

Розрахункова активна потужність за (3.2): $P_p = 9,0 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 3,15 \text{ кВт}$

Реактивна потужність за (3.3). Оскільки для електричного конвектора $\cos\varphi = 1,0$ реактивна потужність дорівнює: $Q_p = 0 \text{ квар}$

Повна потужність за (3.4): $S_p = 3,15 \text{ кВА}$

Розрахунковий струм за (3.5) : $I_p = 3,15 / 0,22 \text{ А}$

Для інших приймачів комплексу результати аналогічних розрахунків наведені у додатку Б. За результатами розрахунків встановлена активна потужність усіх електроприймачів комплексу парку становить 88,41 кВт. Повна потужність, що споживається об'єктом з урахуванням коефіцієнтів використання та попиту, складає 30,228 кВА (додаток Б ,табл. Б.1) [9-12].

3.2 Розрахунок вітрової установки

3.2.1 Розрахунок режиму роботи вітрової установки

Використання вітроенергетичних установок у складі гібридної системи електропостачання доцільно застосовувати саме для адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Це обумовлено особливостями розташування об'єкта та характером його електроспоживання [16-19].

Комплекс розташований на відкритій території поблизу річки Ворскла, де спостерігаються сприятливі умови для використання енергії вітру. Відсутність значних природних перешкод, таких як щільні лісові масиви або складний рельєф місцевості, сприяє більш ефективному використанню вітроенергетичних установок.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати аналізу кліматичних умов та режимів електроспоживання показали, що для забезпечення стабільного та надійного електропостачання комплексу доцільним є використання гібридної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції. Використання кількох відновлюваних джерел енергії дозволяє компенсувати сезонні коливання виробітку електричної енергії та забезпечити більш стабільний режим роботи системи протягом року.

Основні технічні вимоги до вітроенергетичної установки:

1. Вітроенергетична установка повинна бути орієнтована відповідно до переважаючого напрямку вітру на території об'єкта.
2. Робота установки повинна забезпечуватись за швидкості вітру понад 2 м/с, а при швидкості понад 15 м/с установка має автоматично відключатись для запобігання аварійним режимам роботи.
3. Рівень шуму під час роботи установки не повинен перевищувати допустимих санітарних норм.
4. Потужність вітроенергетичної установки повинна відповідати розрахунковому електричному навантаженню об'єкта.

Для оцінки можливості використання енергії вітру необхідно визначити вітроенергетичний потенціал території розташування об'єкту. Однією з основних характеристик енергії вітру є питома потужність вітрового потоку, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу потоку повітря.

Теоретичний вітроенергетичний потенціал визначається за (3.6)

$$P_{\text{тут}} = 0,5 \cdot \rho \cdot (V^3)_{\text{сеп}} \quad (3.6)$$

де ρ – густина повітря, що приймається рівною 1,225 кг/м³ при нормальних атмосферних умовах;

$V^3_{\text{сеп}}$ – середнє кубічне значення швидкості вітру.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середнє кубічне значення швидкості вітру визначається через середню швидкість вітру за (3.7):

$$(V^3)_{\text{сер}} = 1,9 \cdot (V_{\text{сер}})^3 \quad (3.7)$$

Підставивши отриманий вираз у (3.6), отримаємо:

$$P_{\text{пит}} = 0,95 \cdot \rho \cdot (V_{\text{сер}})^3 \quad (3.8)$$

Після підстановки значення густини повітря отримуємо спрощений вираз для визначення питомої потужності вітрового потоку (3.9)

$$P_{\text{пит}} = 1,17 \cdot V_{\text{сер}}^3 \quad (3.9)$$

Розрахунок вітроенергетичного потенціалу території адміністративно-рекреаційного комплексу парку виконується за формулою (3.9) на основі середніх значень швидкості вітру, отриманих за даними місцевих метеорологічних спостережень.

Розрахунок питомої потужності вітрового потоку виконано за (3.9):

$$P_{\text{пит}} = 1,17 \cdot V_{\text{сер}}^3 \quad (3.9)$$

де $V_{\text{сер}}$ – середня швидкість вітру, м/с.

Дані щодо середньої швидкості вітру для Полтавської області прийнято за матеріалами метеорологічних спостережень Полтавський обласний центр з гідрометеорології та кліматичними даними Українського гідрометеорологічного центру [24, 25].

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За отриманим графіком можна зробити висновок, що використання вітроенергетичних ресурсів є найбільш ефективним у зимово-весняний період. Це є важливим для забезпечення стабільної роботи гібридної системи електропостачання, оскільки саме у цей період спостерігається найбільше електроспоживання об'єкта, пов'язане з роботою систем освітлення, електричного опалення та побутового обладнання.

Для вибору вітроенергетичної установки визначимо необхідну потужність установки для забезпечення потреб адміністративно-рекреаційного комплексу парку в електричній енергії [17–19, 26].

Згідно з результатами розрахунків, наведених у п.п 2.2, необхідне навантаження адміністративно-рекреаційного комплексу парку становить 29,920 кВт·год. Враховуючи сезонні коливання виробітку електричної енергії від відновлюваних джерел енергії та необхідність резервування електропостачання, вітроенергетична установка розглядається як основне джерело генерації електричної енергії у складі гібридної системи електропостачання. Таким чином, у зимовий період виникає дефіцит електричної енергії:

$$29,920 - 16,898 = 13,022 \text{ кВт·год}$$

Отримані результати підтверджують необхідність використання вітроенергетичної установки у складі гібридної системи електропостачання для компенсації дефіциту електроенергії у зимовий період.

Для визначення номінальної потужності вітроенергетичної установки використовується (3.10):

$$P_{\text{BEU}} = \frac{V_c}{\xi \cdot \eta_{\text{ген}}} \quad (3.11)$$

Де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру;

$\eta_{\text{ген}}$ – коефіцієнт корисної дії генератора;

V_c – швидкість заряджання акумуляторних батарей.

Швидкість заряджання акумуляторних батарей обчислюється за (3.12):

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_c = C_{a6} / T_z \quad (3.12)$$

де T_z – кількість годин у добі, $T_z = 24$ год.

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$V_c = 17097 / 24 = 712 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Тоді номінальна потужність вітроенергетичної установки становитиме:

$$P_{BEY} = 712 / (0,4 \cdot 0,8) = 2226,17 \text{ Вт}$$

Отже, для забезпечення необхідного рівня електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку доцільним є використання вітроенергетичної установки номінальною потужністю близько 3 кВт.

Слід зазначити, що наведений метод оцінювання має орієнтовний характер, оскільки окремі параметри визначаються на основі усереднених значень та припущень. Проте такий підхід дозволяє обґрунтовано підібрати вітроенергетичну установку з параметрами, наближеними до реальних умов експлуатації, та уникнути необґрунтованих витрат на обладнання.

3.2.2 Вибір типу ВЕУ

Для забезпечення стабільної роботи гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку доцільним є використання вітроенергетичної установки (ВЕУ) як основного джерела генерації електричної енергії. Це пов'язано з наявністю достатнього вітрового потенціалу території та можливістю ефективного використання енергії вітру протягом року. Особливо ефективною робота вітроенергетичної установки є у зимово-весняний період, коли спостерігається підвищення швидкості вітру та збільшення потреб об'єкта в електричній енергії. Використання ВЕУ дозволяє підвищити надійність

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу та зменшити залежність від централізованої електричної мережі.

Основними критеріями вибору вітроенергетичної установки є:

- номінальна напруга генератора повинна відповідати параметрам системи електропостачання та акумуляторних батарей ($U_{\text{ВЕУ}} = U_{\text{мережі}}$).
- потужність вітроенергетичної установки повинна відповідати розрахунковому дефіциту електричної енергії ($U_{\text{ВЕУ}} \geq U_{\text{мережі}}$).
- вітроенергетична установка повинна забезпечувати стабільну роботу в умовах характерних швидкостей вітру для даної місцевості.

Для адміністративно-рекреаційного комплексу парку приймається до встановлення до встановлення горизонтальна вітроенергетична установка АТО-WT-L2-3000 потужністю 3 кВт виробництва АТО Wind Turbine [27]. Основні технічні характеристики установки наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики вітроенергетичної установки АТО-WT-L2-3000 [27]

Найменування	Значення
Діаметр вітроколеса	4,1 м
Регулювання кута лопатей	Автоматичне
Номінальна швидкість вітру	11 м/с
Номінальна напруга	48 В
Номінальна / максимальна потужність	3000 / 3200 Вт
Тип генератора	Трифазний синхронний генератор на постійних магнітах
Номінальна частота обертання	300 об/хв
Пускова швидкість вітру	2 м/с
Рекомендована висота щогли	від 9 м
Тип передачі	Прямий привід
Термін експлуатації	15 років

Під час вибору місця встановлення вітроенергетичної установки необхідно враховувати рельєф місцевості та наявність природних перешкод. Для забезпечення

ефективної роботи установки необхідно обирати відкриті ділянки території з мінімальною кількістю перешкод для повітряного потоку.

Також слід враховувати, що поблизу перешкод можуть утворюватися зони турбулентності, які негативно впливають на роботу вітроенергетичної установки. Тому висота встановлення вітрогенератора повинна перевищувати висоту найближчих перешкод.

Враховуючи особливості території адміністративно-рекреаційного комплексу парку, для встановлення вітроенергетичної установки приймається щогла висотою 12 м. Під час вибору місця розташування установки також необхідно мінімізувати відстань між генератором та споживачами електричної енергії, що дозволить зменшити втрати електроенергії у кабельних лініях. Щогла вітроенергетичної установки повинна бути заземлена та підключена до загального контуру заземлення гібридної системи електропостачання.

3.2.3 Вибір типу вітрового контролера

Контролер вітроенергетичної установки забезпечує контроль роботи генератора, заряджання акумуляторних батарей та перетворення електричної енергії. Без використання контролера стабільна робота вітроенергетичної установки є неможливою.

Основними умовами вибору вітрового контролера є:

1. Вхідна напруга контролера повинна бути не меншою за максимальну напругу вітроенергетичної установки ($U_{\text{контр}} \geq U_{\text{BEV}}$)
2. Вихідна напруга контролера повинна відповідати напрузі акумуляторних батарей ($U_{\text{контр}} \geq U_{\text{аб}}$).
3. Контролер повинен забезпечувати необхідний струм заряджання акумуляторних батарей ($I_{\text{контр}} \geq I_{\text{раз.аб}}$).
4. Контролер повинен бути сумісним із типом акумуляторних батарей, що використовуються у системі.

Для гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку приймається MPPT-контролер SMARAAD TTL235 3000W/5000W

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Hybrid Wind Solar Controller для систем із напругою 48 В [28]. Контролер забезпечує роботу вітроенергетичної установки, а також виконує функції керування зарядом акумуляторних батарей і захисту системи від перевантажень та перенапруг (табл. 3.3.).

Таблиця 3.3 – Основні технічні характеристики MPPT-контролера

Найменування параметра	Значення
Модель контролера	SMARAAD TTL235 Hybrid Wind Solar Controller
Тип контролера	MPPT
Номінальна напруга системи	48 В
Максимальна потужність	5 кВт
Підтримка джерел енергії	Вітрові та сонячні генератори
Наявність баластного навантаження	Є (Dump Load)
Режим заряджання акумуляторних батарей	Автоматичний
Функції захисту	Захист від перенапруги, перевантаження та перезаряду АКБ

Контролер також забезпечує захист системи від перенапруги, перезаряду акумуляторних батарей та перевантажень.

3.2.4 Вибір акумуляторних батарей

Акумуляторні батареї у складі гібридної системи електропостачання призначені для накопичення електричної енергії, виробленої вітроенергетичною установкою та мікрогідроелектростанцією. Накопичена енергія використовується у періоди недостатньої генерації, пікових навантажень або короткочасного відключення централізованої мережі.

Для гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку доцільно використовувати літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї типу LiFePO₄. Вибір даного типу акумуляторів обумовлений їх високими технічними та експлуатаційними характеристиками, що є важливими для автономних та гібридних систем електропостачання на базі відновлюваних джерел енергії.

Порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами типу AGM та GEL, акумулятори LiFePO₄ мають значно більший ресурс роботи. Кількість циклів заряджання-розряджання для LiFePO₄-акумуляторів може становити 4000–6000 циклів, тоді як для AGM та GEL-акумуляторів цей показник зазвичай не перевищує

500–1200 циклів. Це дозволяє суттєво збільшити термін експлуатації системи накопичення енергії та зменшити витрати на подальшу заміну обладнання.

Важливою перевагою LiFePO₄-акумуляторів є можливість роботи при значній глибині розряду. Для даного типу акумуляторів допустима глибина розряду може становити 80–90 % без суттєвого зниження ресурсу роботи. Для свинцево-кислотних акумуляторів глибокий розряд є небажаним та призводить до швидкого зниження ємності й скорочення терміну служби.

Крім того, LiFePO₄-акумулятори характеризуються вищим коефіцієнтом корисної дії, меншими втратами енергії під час заряджання та розряджання, а також стабільнішою напругою під час роботи. Це забезпечує більш стабільну роботу інверторного обладнання та електроприймачів адміністративно-рекреаційного комплексу.

Окремою перевагою LiFePO₄-акумуляторів є підвищена пожежна та екологічна безпечність. На відміну від деяких інших типів літєвих акумуляторів, літій-залізо-фосфатні батареї мають високу термічну стабільність, меншу схильність до перегріву та практично не підтримують самозаймання при пошкодженні або перевантаженні. Це є особливо важливим для систем електропостачання, що встановлюються на об'єктах рекреаційного та природоохоронного призначення.

Також LiFePO₄-акумулятори мають меншу масу та габаритні розміри порівняно зі свинцево-кислотними батареями аналогічної ємності, що спрощує монтаж та експлуатацію системи.

Таким чином, використання акумуляторних батарей типу LiFePO₄ у складі гібридної системи електропостачання дозволяє підвищити надійність роботи системи, збільшити термін експлуатації обладнання та забезпечити стабільне резервне живлення електроприймачів адміністративно-рекреаційного комплексу парку.

Ємність акумуляторної батареї $W_{\text{АКБ}}$ визначається за (3.13)

$$W_{\text{АКБ}} = \frac{P_{\text{рез}} \cdot t}{\eta_{\text{інв}} \cdot D} \quad (3.13)$$

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $P_{рез}$ – потужність резервованого навантаження, кВт;

t – тривалість автономної роботи, год;

$\eta_{инв}$ – ККД інвертора;

D – допустима глибина розряду акумуляторної батареї.

Для розрахунку приймаємо, що резервуванню підлягає близько 30 % розрахункового навантаження об'єкта $P_{рез}=29,92 \cdot 0,3=8,98$ кВт.

Тривалість автономної роботи $t=6$ год приймається з урахуванням необхідності забезпечення резервного живлення основних електроприймачів об'єкта у вечірній та нічний періоди, а також під час короткочасного зниження генерації від вітроенергетичної установки. Для рекреаційних і адміністративних об'єктів автономність у межах 4-8 год. є типовим значенням для гібридних систем електропостачання.

Коефіцієнт корисної дії інвертора $\eta_{инв} = 0,9$ приймається відповідно до технічних характеристик сучасних гібридних інверторів, ККД яких зазвичай становить 90–96 %.

Допустима глибина розряду акумуляторних батарей $D = 0,8$ приймається для літій-залізо-фосфатних акумуляторів (LiFePO_4), оскільки для даного типу акумуляторів допускається глибокий розряд без суттєвого зниження ресурсу роботи. Для LiFePO_4 -акумуляторів типовими є значення допустимої глибини розряду в межах 80–90 %.

$$W_{АКБ} = \frac{8,98 \cdot 6}{0,93 \cdot 0,8}$$

З урахуванням резерву приймаємо акумуляторний блок ємністю близько 76,8 кВт·год. Для цього доцільно використати 8 акумуляторних батарей LiFePO_4 напругою 48 В та ємністю 200 А·год кожна.

Енергоємність однієї батареї становить $W_1=48 \cdot 200=9600$ Вт·год

Загальна енергоємність акумуляторного блоку $W_{заг}=9,6 \cdot 8=76,8$ кВт·год

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, для гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку приймається акумуляторний блок LiFePO_4 загальною енергоємністю 76,8 кВт·год.

3.3.6 Вибір гібридного інвертора

Інвертор у складі гібридної системи електропостачання призначений для перетворення постійного струму від акумуляторних батарей та контролерів заряду у змінний струм промислової частоти 50 Гц для живлення споживачів об'єкта.

Основними критеріями вибору інвертора є:

- відповідність номінальній напрузі акумуляторної батареї;
- достатня вихідна потужність;
- можливість роботи з декількома джерелами генерації;
- наявність захисту від перевантаження, короткого замикання та перенапруги;
- можливість роботи у гібридному режимі з мережею та акумуляторними батареями.

Розрахункова повна потужність об'єкта становить $S_p = 30,228$ кВА. Для забезпечення надійної роботи системи електропостачання та можливості короткочасних перевантажень потужність інверторного обладнання приймається із запасом 10 %. Тоді необхідна потужність інвертора становитиме $S_{inv}=30,228 \cdot 1,1=33,25$ кВА

Отже, для гібридної системи електропостачання доцільно прийняти інверторне обладнання сумарною потужністю близько 30–35 кВт. Для рівномірного розподілу навантаження по фазах можна використати три однофазні гібридні інвертори потужністю 10–12 кВт кожен або один трифазний гібридний інвертор відповідної потужності.

У роботі приймається гібридний інверторний блок напругою 48 В та сумарною потужністю 30 кВт. Такий варіант забезпечує живлення основних електроприймачів адміністративно-рекреаційного комплексу парку та дозволяє

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працювати з акумуляторними батареями, вітроенергетичною установкою та мікрогідроелектростанцією.

3.2.6 Обґрунтування вибору вітроенергетичної установки

Вітроенергетична установка розглядається як основне джерело генерації електричної енергії у складі гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Доцільність використання саме вітрової генерації обумовлена природно-кліматичними умовами території, зокрема наявністю достатнього вітрового потенціалу протягом року, особливо у зимово-весняний період. Використання вітроенергетичної установки дозволяє забезпечити значну частину потреб об'єкта в електричній енергії та зменшити залежність від централізованого електропостачання.

Мікрогідроелектростанція розглядається як додаткове джерело генерації електричної енергії у складі гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Доцільність використання мікроГЕС обумовлена наявністю поблизу об'єкта річки Ворскла, гідрологічні характеристики якої дозволяють використовувати енергію водного потоку для виробництва електричної енергії. Використання мікрогідроелектростанції дозволяє забезпечити додатковий виробіток електричної енергії та підвищити енергетичну незалежність об'єкта. Особливо ефективною робота мікроГЕС є у періоди зниження продуктивності та нестабільної роботи вітроенергетичної установки.

3.3 Обґрунтування застосування мікрогідроелектростанції у складі гібридної системи електропостачання та її розрахунок

У складі гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку додатково розглядається можливість використання мікрогідроелектростанції. Доцільність її застосування обумовлена наявністю поблизу об'єкта річки Ворскла, що має достатній гідроенергетичний потенціал для виробництва електричної енергії малої потужності.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гідрологічні умови території характеризуються сезонною зміною рівня води та швидкості течії. Найбільший рівень води спостерігається у весняний період під час водопілля, а також після значних літніх та осінніх опадів. У зимовий період витрата води зменшується, а на окремих ділянках можливе часткове льодоутворення, що впливає на ефективність роботи мікрогідроелектростанції.

На відміну від вітроенергетичної установки, мікроГЕС здатна забезпечувати більш стабільний виробіток електричної енергії за наявності постійного водного потоку. Саме тому використання мікрогідроелектростанції у складі гібридної системи дозволяє підвищити надійність електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку та зменшити навантаження на акумуляторні батареї.

Для забезпечення стабільної роботи мікрогідроелектростанції доцільним є використання невеликої накопичувальної водойми або штучного резервуара. Це дозволить створити необхідний запас води та забезпечити стабільний напір у періоди коливання рівня води у річці.

Під час вибору місця встановлення мікроГЕС необхідно враховувати відстань до об'єкта електроспоживання, рельєф місцевості, перепад висот, середню швидкість течії води, ширину та глибину русла річки, можливість створення невеликої дамби або накопичувального резервуара. Мікрогідроелектростанцію доцільно встановлювати максимально близько до адміністративно-рекреаційного комплексу парку для зменшення втрат електроенергії у кабельних лініях.

Територія поблизу річки Ворскла має сприятливі умови для встановлення мікрогідроелектростанції малої потужності. Ширина русла річки на досліджуваній ділянці становить 3-4 м, середня швидкість течії води складає 1–2 м/с, а в окремі періоди може досягати 3 м/с. Перепад висот місцевості дозволяє створити необхідний напір води для роботи гідротурбіни.

Після аналізу природних умов території та оцінки гідрологічних характеристик можна зробити висновок, що встановлення мікрогідроелектростанції потужністю до 5 кВт є технічно можливим та економічно доцільним.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для створення необхідного напору та забезпечення стабільного запасу води розглянемо штучну водойму, розташовану поблизу адміністративно-рекреаційного комплексу парку з такими геометричними параметрами водойми та русла (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку мікрогідроелектростанції

Параметр	Значення
Довжина водойми L	30 м
Ширина водойми B	35 м
Максимальна глибина водойми H_{max}	4 м
Мінімальна глибина водойми H_{min}	3 м
Довжина русла $L_{русла}$	35 м
Ширина русла $B_{русла}$	3 м
Середня глибина русла $H_{русла}$	1,5 м
Ухил русла δ_0	0,08

Об'єм водойми визначається за (3.14)

$$V=L \cdot B \cdot H \quad (3.14)$$

Максимальний об'єм водойми $V_{max}=30 \cdot 35 \cdot 4=4200 \text{ м}^3$

Мінімальний об'єм водойми $V_{min}=30 \cdot 35 \cdot 3=3150 \text{ м}^3$

Для визначення параметрів водного потоку розрахуємо площу поперечного перерізу русла річки.

Площа потоку визначається за (3.15)

$$S_{nom}=0,5 \cdot (B_{дна}+B_{нов}) \cdot H_{нов} \quad (3.15)$$

Де $B_{дна}$ – ширина дна русла;

$B_{нов}$ – ширина водної поверхні;

$H_{нов}$ – середня глибина потоку.

Приймаємо ширина дна русла – 2,5 м; ширина поверхні води – 3,5 м; середня глибина потоку – 0,4 м.

$$\text{Тоді } S_{nom}=0,5 \cdot (2,5+3,5) \cdot 0,4=1,2 \text{ м}^2$$

Витрата води у руслі визначається за (3.16):

$$Q=S_{nom} \cdot V_{nom} \quad (3.16)$$

Де Q – витрата води, м³/с;

$V_{пот}$ – швидкість течії води, м/с.

При середній швидкості течії води 1,5 м/с отримаємо $Q=1,2 \cdot 1,5=1,8 \text{ м}^3/\text{с}$

Отримане значення витрати води дозволяє забезпечити роботу мікрогідроелектростанції малої потужності. Для запобігання переповненню водойми у періоди максимального притоку води необхідно передбачити встановлення аварійного водоскиду. Пропускна здатність водоскиду повинна перевищувати максимальну витрату води у руслі річки.

Мікрогідроелектростанція у складі гібридної системи електропостачання розглядається як додаткове джерело генерації електричної енергії. Її використання є доцільним завдяки наявності поблизу адміністративно-рекреаційного комплексу парку річки Ворскла та можливості використання енергії водного потоку.

Потужність мікрогідроелектростанції визначається за (3.17)

$$P=9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad (3.17)$$

де P – потужність мікроГЕС, кВт;

Q – витрата води, м³/с;

H – напір води, м;

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η – ККД гідроустановки.

Отримана залежність дозволяє виконати попередню оцінку потужності мікрогідроелектростанції залежно від гідрологічних параметрів водного потоку. Із формули видно, що потужність мікроГЕС прямо пропорційно залежить від витрати води та величини напору. При збільшенні витрати води або перепаду висот виробіток електричної енергії зростає.

Для адміністративно-рекреаційного комплексу парку використання мікроГЕС розглядається як додатковий елемент гібридної системи електропостачання, який дозволяє забезпечити часткове покриття електричних навантажень об'єкта та підвищити стабільність роботи системи. Особливо ефективним використання мікроГЕС є у весняний та осінній періоди, коли спостерігається підвищення рівня води та збільшення витрати водного потоку.

Для визначення потужності мікрогідроелектростанції використовується залежність між витратою води, напором, коефіцієнтом корисної дії установки та прискоренням вільного падіння. Даний метод розрахунку є одним із основних при попередньому визначенні потужності мікроГЕС та широко застосовується при проектуванні малих гідроенергетичних установок. Потужність мікроГЕС безпосередньо залежить від об'єму води, що проходить через гідротурбіну за одиницю часу, а також від величини напору води. Чим більшими є витрата води та перепад висот, тим більшою буде потужність гідроелектростанції. При цьому важливим параметром є коефіцієнт корисної дії гідротурбіни та генератора, який враховує втрати енергії під час перетворення енергії водного потоку в електричну енергію. у таблиці 3.4 наведено фактичні вихідні дані, прийняті для розрахунку мікрогідроелектростанції адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Значення витрати води та можливого напору визначені на основі гідрологічних особливостей річки Ворскла, характеристик місцевості та орієнтовних природних параметрів водного потоку в районі розташування об'єкта.

Таблиця 3.4 – Розрахункові параметри мікроГЕС

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметр	Значення
Розрахункова витрата води	0,40 м³/с
Розрахунковий напір	2 м
ККД мікроГЕС	0,65
Прискорення вільного падіння	9,81 м/с²

Тоді розрахункова потужність мікроГЕС становитиме

$$P = 9,81 \cdot 0,40 \cdot 2 \cdot 0,65 = 5,1 \text{ кВт}$$

За результатами виконаного розрахунку потужність мікрогідроелектростанції становить близько 5 кВт. Отримане значення не забезпечує повного покриття навантаження адміністративно-рекреаційного комплексу парку, однак є достатнім для часткового живлення систем освітлення, допоміжного обладнання та заряджання акумуляторних батарей у складі гібридної системи електропостачання.

Використання мікроГЕС у поєднанні з вітроенергетичною установкою дозволяє підвищити надійність електропостачання об'єкта, зменшити навантаження на акумуляторні батареї та забезпечити більш стабільний режим роботи гібридної системи електропостачання протягом року

У періоди зменшення рівня води та швидкості течії фактична потужність мікроГЕС може знижуватися. Наприклад, при витраті води $Q=0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ та напорі $H=1,5 \text{ м}$ потужність становитиме $P = 9,81 \cdot 0,20 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 1,9 \text{ кВт}$

Таким чином, мікроГЕС не розглядається як єдине основне джерело живлення, але може ефективно працювати як додатковий технічний блок гібридної системи електропостачання. Її використання дозволяє зменшити навантаження на акумуляторні батареї, підвищити стабільність електропостачання та забезпечити додатковий виробіток електричної енергії у періоди достатнього водного стоку.

Найбільший виробіток електричної енергії мікроГЕС спостерігається у весняний період, що пов'язано зі збільшенням водності річки під час танення снігу та сезонного підвищення рівня води. У літній період виробіток дещо знижується через зменшення витрати води, однак мікроГЕС продовжує забезпечувати стабільну

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткову генерацію електричної енергії у складі гібридної системи електропостачання.

До складу гібридної системи електропостачання входять вітроенергетична установка, мікрогідроелектростанція, акумуляторні батареї, гібридний інвертор, система електричних навантажень та централізована електрична мережа. Вітроенергетична установка та мікроГЕС забезпечують генерацію електричної енергії, яка через систему контролерів та гібридний інвертор подається до електроприймачів об'єкта та акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї забезпечують накопичення електричної енергії та резервне живлення електроприймачів у періоди недостатньої генерації або аварійного відключення мережі. Гібридний інвертор виконує перетворення постійного струму у змінний струм промислової частоти та забезпечує автоматичний розподіл потоків електричної енергії між джерелами генерації, акумуляторними батареями та навантаженням.

Використання гібридної системи електропостачання дозволяє підвищити надійність електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку, зменшити споживання електричної енергії з централізованої мережі та забезпечити ефективне використання відновлюваних джерел енергії.

Висновок по розділу 3

У розділі виконано розрахунок параметрів гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку.

Виконано оцінку вітрового потенціалу території та обґрунтовано доцільність використання вітроенергетичної установки як основного джерела генерації електричної енергії у складі гібридної системи. На основі розрахунків здійснено вибір типу вітроенергетичної установки та вітрового контролера.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Розрахунок витрат на спожиту електричну енергію та вартість встановлення гібридної системи

Для оцінки економічної доцільності впровадження гібридної системи електропостачання виконаємо розрахунок річних витрат на споживання електричної енергії адміністративно-рекреаційного комплексу парку [29, 30].

Розрахунок проведено на основі річного електроспоживання об'єкта та діючого тарифу на електричну енергію для непобутових споживачів, які отримують електроенергію через мережі АТ «Полтаваобленерго» [31]. Станом на 2026 рік тариф для споживачів другого класу напруги становить 14,17098 грн/кВт·год з урахуванням ПДВ.

Результати розрахунку витрат на електричну енергію до впровадження гібридної системи електропостачання наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на електричну енергію парку за 2025 рік

Місяць	Споживання електроенергії, кВт·год	Вартість електроенергії, грн	Місяць	Споживання електроенергії, кВт·год	Вартість електроенергії, грн
Січень	13500	191308,23	Липень	2080	29475,64
Лютий	10900	154463,68	Серпень	3010	42654,65
Березень	8900	126121,72	Вересень	3460	49031,59
Квітень	3940	55833,66	Жовтень	6840	96929,50
Травень	4160	58951,28	Листопад	10340	146928,93
Червень	1860	26358,02	Грудень	10980	155998,16
Разом за рік				79970	1133055,06

Відповідно до проведених розрахунків, річні витрати на споживання електричної енергії адміністративно-рекреаційного комплексу парку становлять понад 1,13 млн грн.

Вартість гібридної системи електропостачання складається із вартості основного обладнання (вітроенергетична установка, сонячні панелі, мікрогідрогенератор, інвертор, акумуляторні батареї, контролери заряду), вартості допоміжного обладнання (кабельна продукція, металоконструкції, щогла вітрогенератора, кріплення, комутаційне обладнання, запірні арматури мікроГЕС тощо), а також витрат на проєктно-вишукувальні, будівельно-монтажні та електромонтажні роботи.

Вартість основного обладнання гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку наведена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вартість основного обладнання вітрової установки

Найменування обладнання	Кількість, шт	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Вітроенергетична установка 3 кВт	1	364320	364320
Щогла для вітрогенератора	1	49500	49500
MPPT-контролер для ВЕУ	1	69900	69900
Кабельно-провідникова продукція	1 комплект	18500	18500
Комутаційне обладнання та захист	1 комплект	22400	22400
Металоконструкції та кріплення	1 комплект	16300	16300
Акумуляторні батареї LiFePO4	8	14200	113600
Гібридний інвертор 48 В	1	427500	427500
Разом			1081020

Згідно з виконаними розрахунками, орієнтовна вартість впровадження вітроенергетичної установки для адміністративно-рекреаційного комплексу парку становить приблизно 1,4 млн грн з урахуванням вартості основного обладнання, монтажних та пусканалагоджувальних робіт.

Окрім вартості основного обладнання, при впровадженні гібридної системи електропостачання необхідно враховувати витрати на монтажні та пусканалагоджувальні роботи, транспортування обладнання, підготовку

фундаменту для встановлення щогли вітроенергетичної установки, а також витрати на проектно-вишукувальні роботи.

Для вітроенергетичних установок значну частину витрат становлять будівельно-монтажні роботи, пов'язані зі встановленням щогли, підготовкою фундаменту та прокладанням кабельних ліній. Також необхідно враховувати витрати на систему заземлення, блискавкозахисту та засоби автоматичного захисту електрообладнання.

Укрупнений розрахунок показує, що вартість монтажних та супутніх робіт для вітроенергетичних установок може становити від 20 до 35 % від вартості основного обладнання залежно від складності рельєфу місцевості, віддаленості об'єкта та умов виконання будівельно-монтажних робіт.

Для адміністративно-рекреаційного комплексу парку додаткові витрати пов'язані також із необхідністю транспортування обладнання до віддаленого об'єкта та виконанням робіт у складних природних умовах.

Приймаємо витрати на монтажні, будівельно-монтажні та пусконаладжувальні роботи у розмірі 30 % від вартості основного обладнання $C_{\text{мон}}=1081020 \cdot 0,3=324306$ грн.

Тоді загальна вартість впровадження вітроенергетичної установки становитиме $C_{\text{заг}}=1081020+324306=1405326$ грн

Оскільки до складу гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку входить також мікрогідроелектростанція, необхідно врахувати витрати на її основне та допоміжне обладнання. До складу мікроГЕС входять гідрогенератор, турбінний блок, система керування, запірна арматура, кабельно-провідникова продукція та елементи кріплення.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 – Вартість основного обладнання мікрогідроелектростанції

Найменування обладнання	Кількість, шт	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Мікрогідрогенератор потужністю 5 кВт	1	356000	356000
Турбінний блок	1	85000	85000
Контролер керування мікроГЕС	1	42000	42000
Запірна арматура та водовідвідні елементи	1 комплект	58000	58000
Кабельно-провідникова продукція	1 комплект	24000	24000
Комутаційне обладнання та захист	1 комплект	26500	26500
Кріплення та металоконструкції	1 комплект	31500	31500
Разом			623000

Окрім вартості основного обладнання мікроГЕС, необхідно врахувати витрати на будівельно-монтажні, електромонтажні та пусконаладжувальні роботи. До них належать підготовка місця встановлення, монтаж гідрогенератора, облаштування водозабірної вузла, прокладання кабельних ліній, встановлення захисної апаратури та перевірка роботи системи.

Приймаємо витрати на монтажні та пусконаладжувальні роботи у розмірі 30 % від вартості основного обладнання $C_{мон.мГЕС}=623000 \cdot 0,3=186900$ грн

Тоді загальна вартість впровадження мікрогідроелектростанції становитиме $C_{заг.мГЕС}=623000+186900=809900$ грн

Отже, орієнтовна вартість впровадження мікрогідроелектростанції для адміністративно-рекреаційного комплексу парку становить 809 900 грн.

Загальна орієнтовна вартість впровадження вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції становитиме $C_{заг}=1405326+809900=2215226$ грн

Отже, загальні капітальні витрати на впровадження додаткових джерел генерації у складі гібридної системи електропостачання становлять приблизно 2,22 млн грн. Отримані результати свідчать про значні початкові капітальні витрати на впровадження вітроенергетичної установки. Однак використання відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на електропостачання

об'єкта, підвищити енергетичну незалежність адміністративно-рекреаційного комплексу парку та забезпечити більш надійне електропостачання у довгостроковій перспективі.

4.2 Охорона праці при встановленні гібридної системи

Під час встановлення гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку необхідно забезпечити дотримання вимог охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та безпеки виконання монтажних робіт. До складу гібридної системи входять вітроенергетична установка, сонячна електростанція, мікрогідроелектростанція, акумуляторні батареї, інверторне обладнання та система керування, монтаж яких пов'язаний із підвищеною небезпекою.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами при виконанні монтажних робіт є:

- ураження електричним струмом;
- виконання робіт на висоті під час встановлення щогли вітроенергетичної установки;
- можливість механічних травм при монтажі металоконструкцій;
- підвищене фізичне навантаження при транспортуванні обладнання;
- вплив несприятливих погодних умов;
- небезпека виникнення пожежі при коротких замиканнях або пошкодженні електрообладнання.

Монтаж електрообладнання повинен виконуватись відповідно до вимог:

- Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [32];
- Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів [33];
- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [34];
- ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цивільного призначення» [35].

До виконання робіт із монтажу та налагодження гібридної системи електропостачання допускаються лише працівники, які пройшли відповідний інструктаж з охорони праці, навчання та перевірку знань з електробезпеки, медичний огляд, а також мають необхідну кваліфікацію та групу допуску до роботи в електроустановках. Організація робіт повинна здійснюватися відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів, правил електробезпеки та пожежної безпеки.

Монтаж гібридної системи електропостачання пов'язаний із виконанням робіт підвищеної небезпеки, оскільки до складу системи входять вітроенергетична установка, акумуляторні батареї, інверторне обладнання, система автоматичного керування та мікрогідроелектростанція. Особливу небезпеку становлять електромонтажні роботи, висотні роботи при встановленні щогли вітрогенератора, а також роботи поблизу водних об'єктів під час монтажу елементів мікроГЕС.

Під час монтажу вітроенергетичної установки необхідно забезпечити безпечне виконання висотних робіт. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні каски; запобіжні пояси; страхувальні канати; спеціальне взуття з нековзкою підошвою; захисні рукавиці; сигнальні жилети.

Встановлення щогли вітроенергетичної установки повинно виконуватись лише за сприятливих погодних умов. Забороняється проведення монтажних робіт при сильному вітрі, грозі, ожеледиці або недостатній видимості. Під час підйому металоконструкцій необхідно використовувати сертифіковані вантажопідіймальні механізми та справні стропувальні пристрої.

Під час виконання електромонтажних робіт особлива увага приділяється захисту персоналу від ураження електричним струмом. Перед початком робіт необхідно перевіряти відсутність напруги на струмовідних частинах, виконувати заземлення обладнання та використовувати інструмент з ізольованими ручками.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Небезпечні зони повинні бути огорожені, а на місцях виконання робіт встановлені попереджувальні знаки та плакати безпеки.

Під час монтажу кабельних ліній необхідно дотримуватись вимог щодо механічного захисту кабелів, недопущення пошкодження ізоляції та забезпечення надійного кріплення кабельної продукції. Прокладання кабелів у вологих приміщеннях або поблизу водних об'єктів повинно здійснюватися із використанням додаткових засобів герметизації та захисту від вологи.

Акумуляторні батареї повинні встановлюватися у спеціально обладнаному приміщенні або технічному контейнері з достатньою вентиляцією, контролем температурного режиму та захистом від прямих сонячних променів. Особливу увагу необхідно приділяти запобіганню перегріву акумуляторних батарей, коротким замиканням та механічним пошкодженням. Приміщення акумуляторної повинно бути обладнане системою аварійного відключення живлення, автоматичними засобами пожежогасіння та комплектом первинних засобів пожежогасіння.

Для забезпечення безпечної експлуатації гібридної системи електропостачання необхідно передбачити систему захисного заземлення та блискавкозахисту. Усі металеві конструкції, корпуси електрообладнання, щогла вітроенергетичної установки та елементи електричних мереж повинні бути надійно заземлені. Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам чинних нормативних документів та забезпечувати безпечні умови експлуатації обладнання.

Під час встановлення та експлуатації мікрогідроелектростанції необхідно забезпечити безпечний доступ до гідротехнічних споруд та рухомих частин обладнання. Турбіна, генератор та елементи приводу повинні бути оснащені захисними кожухами та огороженнями. Роботи поблизу води необхідно виконувати із дотриманням вимог безпеки для запобігання падінню персоналу у воду та ураженню електричним струмом у вологому середовищі.

Важливим заходом охорони праці є проведення регулярних технічних оглядів обладнання, перевірка стану електричних з'єднань, заземлення, ізоляції кабельних ліній та працездатності систем автоматичного захисту. Усі роботи з технічного

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обслуговування та ремонту обладнання повинні виконуватись лише після повного знеструмлення системи та вивішування попереджувальних плакатів.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці при монтажі та експлуатації гібридної системи електропостачання дозволяє забезпечити безпечні умови праці персоналу, підвищити надійність роботи обладнання, запобігти виникненню аварійних ситуацій та забезпечити стабільне функціонування системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку.

Висновок по розділу 4

У розділі виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу парку із використанням вітроенергетичної установки та мікрогідроелектростанції. Проведено розрахунок витрат на спожиту електричну енергію та визначено орієнтовну вартість основного обладнання системи.

У результаті розрахунків встановлено, що найбільшу частину капітальних витрат становить вартість вітроенергетичної установки, акумуляторних батарей та гібридного інверторного обладнання.

Також у розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки під час монтажу й експлуатації гібридної системи електропостачання. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані з виконанням електромонтажних, висотних та гідротехнічних робіт.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку гібридної системи електропостачання адміністративно-рекреаційного комплексу Регіонального ландшафтного парку «Нижньоворсклянський» із використанням відновлюваних джерел енергії. Основною метою роботи було підвищення енергетичної незалежності об'єкта, забезпечення більш надійного електропостачання та зменшення споживання електричної енергії із централізованої мережі.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану розвитку відновлюваної енергетики та розглянуто особливості використання вітроенергетичних установок, сонячних електростанцій і мікрогідроелектростанцій у складі автономних та гібридних систем електропостачання. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку відновлюваної енергетики у Полтавському регіоні та обґрунтовано доцільність використання гібридної системи електропостачання для адміністративно-рекреаційного комплексу парку.

У другому розділі досліджено існуючу систему електропостачання об'єкта, виконано аналіз структури електроспоживання та визначено основні групи електроприймачів. Встановлено, що найбільшу частину навантаження формують системи електричного опалення та побутові електроприлади. Аналіз річного електроспоживання показав виражений сезонний характер навантаження із максимальними показниками у зимовий період.

У третьому розділі виконано розрахунок параметрів гібридної системи електропостачання. Проведено розрахунок електричних навантажень адміністративно-рекреаційного комплексу, визначено параметри вітроенергетичної установки та обґрунтовано вибір вітрогенератора потужністю 3 кВт. Також розглянуто можливість використання мікрогідроелектростанції у складі системи електропостачання та визначено її роль як додаткового джерела генерації електричної енергії. Використання гібридної системи дозволяє забезпечити більш стабільний режим електропостачання об'єкта протягом року.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту та визначено орієнтовну вартість впровадження гібридної системи електропостачання. Встановлено, що використання відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на електропостачання та підвищити енергетичну автономність об'єкта. Крім того, розглянуто питання охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки під час монтажу й експлуатації обладнання.

Отримані результати підтверджують технічну можливість та перспективність впровадження гібридної системи електропостачання для адміністративно-рекреаційного комплексу парку. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при проєктуванні автономних систем електропостачання для рекреаційних, природоохоронних та інших віддалених об'єктів.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вітроенергетика // Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : офіц. сайт. URL: [Держенергоефективності України](#) (дата звернення: 26.05.2026).
2. Сонячна енергетика // Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : офіц. сайт. URL: [Держенергоефективності України](#) (дата звернення: 26.05.2026).
3. Приходько І., Ігнатишин В., Приходько Ю. Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі. Економіка та суспільство. 2024. № 62. URL: [DOI статті](#) (дата звернення: 26.05.2026).
4. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 392 с.
5. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання : підручник / В. В. Клименко, В. П. Солдатенко, С. П. Плешков та ін. ; за ред. В. В. Клименка. Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2023. 432 с.
6. Ткаченко В. І. Основи гідроенергетики : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2016. 129 с.
7. Малі гідроелектростанції: принцип роботи та особливості застосування : навч.-метод. посіб. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2020. 98 с.
8. Басова Ю. О., Супрович О. П. Переваги та недоліки використання відходів рослинництва в енергетичних цілях. Ефективне використання енергії: стан і перспективи : зб. наук. праць III Всеукр. студ. наук.-практ. конф., 09 листоп. 2023 р., м. Кам'янець-Подільський. Кам'янець-Подільський, 2023. С. 258–261. URL: [Матеріали конференції](#) (дата звернення: 26.05.2026).
9. Basova Y. O., Levchenko Y. V., Suprovych O. S. Prospects of the use and analysis of biomass types of the Poltava region as sources of electrical energy. Global Science and Education in the Modern Realities. 2023. No. 18. P. 3–6. URL: [Матеріали конференції](#) (дата звернення: 26.05.2026).
10. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

України. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.

11. Полтавська обласна військова адміністрація. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики у Полтавській області. Полтава, 2024. 56 с.

12. Геотермальна енергетика України: стан та перспективи розвитку / Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Київ, 2021. 168 с.

13. Бойко В. С., Гаврилко М. І. Нафтогазоносні басейни України : навч. посіб. Київ : НАК «Нафтогаз України», 2004. 280 с.

14. Геотермальні ресурси Дніпровсько-Донецької западини та перспективи їх використання. Відновлювана енергетика. 2022. № 3. С. 45–53.

15. Вітроенергетичний кадастр України / Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Київ, 2021. 74 с.

16. Вітроенергетика / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2023. 135 с.

17. Основи вітроенергетики : навч. посіб. Дніпро : НГУ, 2015. 154 с.

18. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер О., Ципленков Д. Основи вітроенергетики : підручник. Дніпро : НГУ, 2015. 335 с.

19. Сидоров В. І. Технології гідро- та вітроенергетики. Черкаси : Вертикаль, 2016. 166 с.

20. Правила улаштування електроустановок. Харків : Форт, 2017. 760 с.

21. Кудрін Б. І. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Київ : Вища школа, 2006. 447 с.

22. Міліх В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.

23. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання : підручник. Київ : Компрінт, 2021. 527 с.

24. Український гідрометеорологічний центр : офіц. сайт. URL: Український гідрометеорологічний центр (дата звернення: 26.05.2026).

25. Кліматичні дані Полтавської області / Полтавський обласний центр з гідрометеорології. Полтава, 2025. 48 с.

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Гібридизація систем електропостачання / Є. В. Крикавський та ін. ; за ред. Є. В. Крикавського, О. А. Похильченко. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 640 с.
27. Вітрова турбіна з горизонтальною віссю потужністю 3 кВт, 48–240 В. URL: Inverter.com (дата звернення: 26.05.2026).
28. Контролери заряду для гібридних систем. URL: Smaraad.net (дата звернення: 26.05.2026).
29. Ткаченко Н. М., Кулінченко В. Р. Економіка підприємств енергетичного комплексу : підручник. Київ : Алерта, 2017. 336 с.
30. Економіка енергетики : підручник / О. В. Кириленко, С. П. Денисюк та ін. ; за ред. О. В. Кириленка. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 608 с.
31. АТ «Полтаваобленерго» : офіц. сайт. URL: [АТ «Полтаваобленерго»](http://AT_Poltavaoblenergo.com) (дата звернення: 26.05.2026).
32. Правила улаштування електроустановок. 5-те вид., переробл. і допов. Харків : Форт, 2017. 760 с.
33. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2012. 308 с.
34. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Держнаглядохоронпраці України, 1998. 164 с.
35. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 83 с.
36. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» / Попов С., Басова Ю., Семенов А., Бичков Я. Полтава: ПДАУ, 2025. 32 с. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/19981> (дата звернення: 02.01.2026).

					КРБ.141ЕЕбд_41.04.00.00.000 ПЗ	Арку
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Таблиця А.1. – Розрахунок електричних навантажень парку

Місце встановлення	Електроприймач	К-сть, шт	$P_{ном}, Вт$	$P_{уст}, Вт$	K_c	K_i	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	$I_p, А$	Фаза
Територія візит-центру, причал, освітлення господарських споруд	Вуличний світильник (Е40)	3	85	255	0,8	0,8	0,950	0,329	0,163	0,054	0,172	0,781	А
	Вуличний світильник (лампа ДРЛ)	2	250	500	0,8	0,8	0,600	1,333	0,320	0,427	0,533	2,424	В
	Прожектор	1	500	500	0,8	0,8	0,600	1,333	0,320	0,427	0,533	2,424	А
	Вуличне освітлення (лампа ДРЛ)	2	250	500	0,8	0,8	0,600	1,333	0,320	0,427	0,533	2,424	В
	Вуличне освітлення (світлодіодний світильник)	2	30	60	0,8	0,8	0,950	0,329	0,038	0,013	0,040	0,184	С
	Вуличне освітлення (світлодіодний світильник)	1	50	50	0,8	0,8	0,950	0,329	0,032	0,011	0,034	0,153	А
	Світильники Е27	10	20	200	0,8	0,8	0,950	0,329	0,128	0,042	0,135	0,612	В
	Освітлення зовнішнє ЛБ 40 Вт	2	92	184	0,8	0,8	0,700	1,020	0,118	0,120	0,168	0,765	С
	Насос	1	250	250	1,0	0,5	0,850	0,620	0,125	0,077	0,147	0,668	А
Разом по території візит-центру			2499						1,564	0,077	1,566		
Будинок відпочинку (VIP-притулок)	Світильники з енергозберігаючою лампою Е27	36	20	720	0,8	0,8	0,950	0,329	0,461	0,151	0,485	2,205	А
	Світильники з енергозберігаючою лампою Е27	12	20	240	0,8	0,8	0,950	0,329	0,154	0,050	0,162	0,735	С
	Електричний конвектор Thermor EVIDENCE 2 ELEC 2000	8	2000	16000	0,5	0,7	1,000	0,000	5,600	0,000	5,600	25,455	А, В, С

Місце встановлення	Електроприймач	К-сть, шт	P _{ном} , Вт	P _{уст} , Вт	K _c	K _i	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А	Фаза
	Електричний конвектор Thermor EVIDENCE 2 ELEC 1500	6	1500	9000	0,5	0,7	1,000	0,000	3,150	0,000	3,150	14,318	A, B, C
	Електричний конвектор Thermor EVIDENCE 2 ELEC 1000	1	1000	1000	0,5	0,7	1,000	0,000	0,350	0,000	0,350	1,591	C
	Електричний конвектор Thermor EVIDENCE 2 ELEC 750	2	750	1500	0,5	0,7	1,000	0,000	0,525	0,000	0,525	2,386	B
Будинок відпочинку (VIP-притулок)	Насос водяний	1	780	780	1	0,5	0,850	0,620	0,390	0,242	0,459	2,086	A
	Електричний бойлер	2	3000	6000	0,8	0,2	1,000	0,000	0,960	0,000	0,960	4,364	A
	Холодильник	1	200	200	1	0,8	0,650	1,169	0,160	0,187	0,246	1,119	C
	Електрична плита чотириконфоркова	1	5500	5500	0,25	0,4	1,000	0,000	0,550	0,000	0,550	2,500	B
	Електричний чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,000	0,000	0,720	0,000	0,720	3,273	C
	РК-телевізор	1	150	150	0,7	0,2	0,900	0,484	0,021	0,010	0,023	0,106	B
	Мікрохвильова піч	1	2500	2500	1	0,4	0,850	0,620	1,000	0,620	1,176	5,348	B
	Витяжка	1	150	150	1	0,4	0,650	1,169	0,060	0,070	0,092	0,420	C
	Теплова завіса	1	2000	2000	0,5	0,7	0,950	0,329	0,700	0,230	0,737	3,349	C
	ТВ-приставка та DVD-програвач	1	200	200	0,7	0,2	0,900	0,484	0,028	0,014	0,031	0,141	A
Разом будинок відпочинку (VIP-притулок)			47140						14,828	1,574	14,912		
Баня	Світильники з енергозберігаючою лампою E27	5	20	100	0,8	0,8	0,950	0,329	0,064	0,021	0,067	0,306	A
	Магнітола	1	500	500	0,8	0,2	0,900	0,484	0,080	0,039	0,089	0,404	B
	Електричний чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,000	0,000	0,720	0,000	0,720	3,273	C
	Електричний конвектор	1	2000	2000	0,5	0,7	1,000	0,000	0,700	0,000	0,700	3,182	B

Місце встановлення	Електроприймач	К-сть, шт	P _{ном} , Вт	P _{уст} , Вт	K _c	K _i	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А	Фаза
	Трансформатор 220/36 В	1	250	250	0,8	0,8	0,700	1,020	0,160	0,163	0,229	1,039	А
Разом баня			4050						1,724	0,223	1,738		
Туалет	Електричний конвектор Thermor EVIDENCE 2 ELEC 1500	2	1500	3000	0,5	0,7	1,000	0,000	1,050	0,000	1,050	4,773	А, В
	Світильники з енергозберігаючою лампою E27	3	20	60	0,8	0,8	0,950	0,329	0,038	0,013	0,040	0,184	С
Разом туалет			3060						1,088	0,013	1,088		
Будинок відпочинку (двоповерховий)	Світильники з енергозберігаючою лампою E27	8	20	160	0,8	0,8	0,950	0,329	0,102	0,034	0,108	0,490	А
	Електричний конвектор	3	2000	6000	0,5	0,7	1,000	0,000	2,100	0,000	2,100	9,545	А, В, С
	Холодильник	1	200	200	1	0,8	0,650	1,169	0,160	0,187	0,246	1,119	В
	Електрична плита двоконфоркова	1	3500	3500	0,5	0,4	1,000	0,000	0,700	0,000	0,700	3,182	А
	Електричний чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,000	0,000	0,720	0,000	0,720	3,273	С
	РК-телевізор	1	150	150	0,7	0,2	0,900	0,484	0,021	0,010	0,023	0,106	В
	ТВ-приставка та DVD-програвач	1	200	200	0,7	0,2	0,900	0,484	0,028	0,014	0,031	0,141	В
Разом будинок відпочинку (двоповерховий)			11410						3,831	0,244	3,839		
Будинок відпочинку (одноповерховий)	Світильники з енергозберігаючою лампою E27	3	20	60	0,8	0,8	0,950	0,329	0,038	0,013	0,040	0,184	С
	Електрична плита двоконфоркова	1	3500	3500	0,5	0,4	1,000	0,000	0,700	0,000	0,700	3,182	А
	Електричний конвектор	3	2000	6000	0,5	0,7	1,000	0,000	2,100	0,000	2,100	9,545	А, В, С
	Пилосос	1	1800	1800	1	0,4	0,650	1,169	0,720	0,842	1,108	5,035	В
	Разом будинок відпочинку (одноповерховий)		11360						3,558	0,854	3,660		

Місце встановлення	Електроприймач	К-сть, шт	P _{ном} , Вт	P _{уст} , Вт	K _c	K _i	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА	I _p , А	Фаза
Службові будиночки для персоналу та господарські споруди	Світильники E27	8	20	160	0,8	0,8	0,950	0,329	0,102	0,034	0,108	0,490	A
	РК-телевізор	1	150	150	0,7	0,2	0,900	0,484	0,021	0,010	0,023	0,106	B
	ТВ-приставка та DVD-програвач	1	200	200	0,7	0,2	0,900	0,484	0,028	0,014	0,031	0,141	B
	Система відеоспостереження	1	500	500	1	1	0,900	0,484	0,500	0,242	0,556	2,525	C
	Холодильник	1	200	200	1	0,8	0,650	1,169	0,160	0,187	0,246	1,119	C
	Морозильна камера	1	100	100	1	0,8	0,650	1,169	0,080	0,094	0,123	0,559	A
	Електричний чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,000	0,000	0,720	0,000	0,720	3,273	A
	Мікрохвильова піч	1	2000	2000	1	0,4	0,850	0,620	0,800	0,496	0,941	4,278	C
	Електрична плита двоконфоркова	1	3500	3500	0,5	0,4	1,000	0,000	0,700	0,000	0,700	3,182	B
	Люмінесцентний світильник на 2 лампи	1	84	84	0,8	0,8	0,700	1,020	0,054	0,055	0,077	0,349	B
	Точильний верстат	1	500	500	1	0,2	0,650	1,169	0,100	0,117	0,154	0,699	C
	Заточувальний верстат	1	300	300	1	0,2	0,650	1,169	0,060	0,070	0,092	0,420	A
Разом службові та господарські споруди			8894						3,325	1,318	3,577		
Разом по адміністративно-рекреаційному комплексу парку			88413						29,920	4,304	30,228		