

**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: «**Проектування системи електропостачання з використанням сонячних  
електростанцій**»

КРБ.141ЕЕбд\_31[3].15.00.00.000 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\_31[3] (3 р.)  
Рудницький Григорій Юрійович  
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**  
**РУДНИЦЬКИЙ Григорій Юрійович**

1 Тема роботи: *Проектування системи електропостачання з використанням сонячних електростанцій»,*

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 *опис об'єкт; електричне навантаження; джерела енергії:*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Огляд стану питання*

Розділ 2. *Система електропостачання об'єкта*

Розділ 3. *Розрахунок і вибір основних елементів системи*

Розділ 4. *Економіка та охорона праці*

5 Перелік графічного матеріалу: *схема об'єкта; електрична схема сонячної установки, 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 \_\_\_\_\_ Григорій РУДНИЦЬКИЙ  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Юлія БАСОВА  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 1 додаток, 10 таблиць, 7 рисунків, 26 використаних джерел, 59 сторінки.

**Мета роботи** – розробка системи електропостачання бази відпочинку «Ворсклянські плавні» із використанням сонячної електростанції для підвищення енергонезалежності та забезпечення резервного електроживлення об'єкта.

**Об'єкт дослідження** – система електропостачання.

**Предмет дослідження** – методика розрахунку автономної системи електропостачання з використанням сонячної електростанції.

**Практичне значення роботи** полягає у розробці технічних рішень щодо впровадження сонячної електростанції для електропостачання бази відпочинку. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні автономних та резервних систем електропостачання для рекреаційних об'єктів, приватних господарств та інших віддалених споживачів електричної енергії.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану відновлюваної енергетики та розглянуто найбільш поширені нетрадиційні й відновлювані джерела енергії. Наведено особливості роботи сонячних електростанцій, принцип дії фотоелектричних модулів, типи інверторів, контролерів заряду та акумуляторних батарей.

У **другому розділі** виконано аналіз системи електропостачання об'єкту, проведено розрахунок електричних навантажень, визначено структуру споживання електричної енергії та виконано розподіл навантаження за групами електроприймачів.

У **третьому розділі** проведено розрахунок параметрів сонячної електростанції. Визначено режим роботи фотоелектричних модулів, виконано розрахунок сонячної інсоляції, обґрунтовано вибір сонячних панелей, акумуляторних батарей, МРРТ-контролерів та гібридного інвертора. Також розглянуто принципову схему роботи автономної 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 сонячної електростанції.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – для практичного впровадження автономних та резервних систем електропостачання на базі сонячних електростанцій для баз відпочинку, рекреаційних комплексів та інших віддалених об'єктів.

**Сфера застосування результатів роботи** – проєктування автономних систем електропостачання для різних об'єктів.

Текст роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень за допомогою системи "StrikePlagiarism" та є оригінальним на 84,29 %.

## **АНОТАЦІЯ**

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки системи електропостачання із використанням сонячної електростанції. Виконано розрахунок електричних навантажень та визначено структуру споживання електричної енергії об'єкта. Здійснено вибір фотоелектричних модулів, розраховано ємність акумуляторної батареї для забезпечення автономної роботи системи та підібрано гібридний інвертор і MPPT-контролер. Особливу увагу приділено питанням енергонезалежності об'єкта, підвищенню надійності електропостачання та безпеці експлуатації сонячної електростанції. Результати роботи мають практичне значення для впровадження автономних систем електропостачання рекреаційних та віддалених об'єктів.

**СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ МОДУЛЬ, АВТОНОМНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ОХОРОНА ПРАЦІ.**

## **ABSTRACT**

The qualification work considers the development of a power supply system for the recreation center “Vorsklyanski Plavni” using a solar power plant. An analysis of the climatic conditions of the Poltava region was carried out, electrical loads were calculated, and the structure of electricity consumption of the facility was determined. The selection of photovoltaic modules was performed, the battery capacity for autonomous system operation was calculated, and a hybrid inverter together with an MPPT controller was selected. Special attention is paid to the issues of energy independence of the facility, improving the reliability of power supply, and operational safety of the solar power plant. The results of the work have practical significance for the implementation of autonomous power supply systems for recreational and remote facilities.

**SOLAR POWER PLANT, PHOTOVOLTAIC MODULE, STORAGE BATTERY, RENEWABLE ENERGY SOURCES, OCCUPATIONAL SAFETY.**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 .....	9
ВИВЧЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ.....	9
1.1 Роль енергозбереження та відновлюваних джерел енергії в сталому розвитку.....	9
1.2. Енергетичні виклики сучасності .....	9
1.3 Огляд сучасних відновлюваних джерел енергії для автономного електропостачання .....	11
Висновок по розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2 .....	14
СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ’ЄКТА .....	14
2.1 Загальні відомості про об’єкт дослідження.....	14
2.2 Загальна характеристика будівель та споруд об’єкта .....	15
2.3 Система електропостачання об’єктів інфраструктури.....	16
2.4 Аналіз електричних навантажень об’єкта .....	19
Висновок по розділу 2 .....	21
РОЗДІЛ 3 .....	22
РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ з ВИКОРИСТАННЯМ СЕС .....	22
3.1 Розрахунок електричних навантажень .....	22
3.2 Розрахунок сонячної електростанції.....	24
Висновок по розділу 3 .....	40

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота	Літера	Аркуш	Аркушів	
Виконав	Рудницький Г.					н	5	52	
Перевірив	Басова Ю.О.					ПДАУ, 2026 р.			
Керівник	Басова Ю.О.								
Н. контр.	Басова Ю.О.								
Затверд.	Попов С.В.								

РОЗДІЛ 4 .....	41
ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ .....	41
4.1 Розрахунок витрат на спожиту електричну енергію .....	41
4.2 Вартість встановлення сонячної електростанції.....	42
4.3 Охорона праці при встановленні сонячних панелей .....	43
Висновок по розділу 4 .....	48
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	50

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 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 резервних джерел живлення.

Особливо актуальним це питання є для віддалених об'єктів, баз відпочинку та рекреаційних комплексів, які часто розташовані на значній відстані від потужних центрів живлення та мають обмежені можливості резервування електропостачання. У таких умовах використання сонячних електростанцій дозволяє підвищити надійність електропостачання, зменшити навантаження на існуючі електричні мережі та скоротити витрати на споживання електричної енергії.

Сонячна енергетика є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики. Використання фотоелектричних модулів, сучасних інверторів та акумуляторних батарей дає можливість створювати автономні або гібридні системи електропостачання, які можуть ефективно працювати в умовах змінного навантаження та забезпечувати резервне живлення споживачів.

Об'єкт проектування характеризується значним рівнем електроспоживання, особливо у зимовий період, що пов'язано з використанням електричного опалення, освітлення та побутового обладнання. У зв'язку з цим актуальним є розроблення проекту системи електропостачання із використанням сонячної електростанції для часткового покриття електричних навантажень об'єкта.

*Мета і завдання дослідження.* Метою роботи є розробка системи електропостачання із використанням сонячної електростанції.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- виконати аналіз сучасних відновлюваних джерел енергії;
- дослідити систему електропостачання бази відпочинку;
- виконати розрахунок електричних навантажень об'єкта;
- провести розрахунок параметрів сонячної електростанції;
- здійснити вибір фотоелектричних модулів, інвертора, контролера та акумуляторних батарей;
- виконати техніко-економічне обґрунтування проєкту;
- розглянути питання охорони праці та техніки безпеки під час монтажу й експлуатації сонячної електростанції.

*Об'єкт і предмет дослідження.* Об'єктом дослідження є система електропостачання. Предметом дослідження є методика розрахунку автономної системи електропостачання з використанням сонячної електростанції.

*Методи дослідження.* У роботі використано методи електротехнічного та світлотехнічного розрахунку, методи аналізу електричних навантажень, техніко-економічного аналізу, а також методи аналізу нормативної та довідкової документації.

*Практичне значення роботи.* Практичне значення роботи полягає у розробці технічних рішень щодо впровадження сонячної електростанції для електропостачання бази відпочинку. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні автономних та резервних систем електропостачання для рекреаційних об'єктів, приватних господарств та інших віддалених споживачів електричної 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_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1

## ВИВЧЕННЯ СТАНУ ПИТАННЯ

### 1.1 Роль енергозбереження та відновлюваних джерел енергії в сталому розвитку

Енергозбереження – це впровадження правових, організаційних, наукових, виробничих, технічних та економічних заходів, спрямованих на зменшення споживання електричної енергії та на збільшення частки енергії, що споживається від відновлювальних джерел.

Відновлювальні джерела енергії – це потоки енергії, що постійно або періодично діють у навколишньому середовищі.

В цілому всі енергетичні потоки відновлюваних джерел енергії розділяються на дві основні групи:

- пряма енергія сонячного випромінювання;
- вторинні прояви енергії сонячного випромінювання у вигляді енергії вітру, гідроенергії, теплової енергії навколишнього середовища, енергії біомаси та ін, тобто це джерела енергії природного походження, запаси яких з часом поновлюються.

Загалом відновлювальні джерела енергії класифікують наступним чином промениста енергія Сонця; енергія вітру; гідроенергія течій води, хвиль, припливів; тепла енергія оточуючого середовища (Землі, повітря, морів та океанів); енергія біомаси; геотермальна енергія [1, 2].

### 1.2. Енергетичні виклики сучасності

Сьогоднішня енергетична ситуація в Україні - це важлива тема, яку мають розуміти не лише фахівці, а й суспільство. Сучасні енергетичні виклики включають зростання споживання енергії, вичерпання природних ресурсів, забруднення

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довкілля від викопного палива, а також забезпечення енергетичної безпеки [3, 4].

Однією з головних тенденцій розвитку енергетики України є перехід до відновлюваних джерел енергії. Останніми роками в Україні активно розвиваються сонячні та вітрові електростанції. Також важливу роль відіграють біоенергетика та гідроенергетика. Використання відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити залежність від традиційних видів палива та знизити негативний вплив на довкілля.

Особливу увагу сьогодні приділяють розвитку сонячної енергетики. Сонячні електростанції можуть використовуватися як для великих енергетичних систем, так і для автономного електропостачання окремих об'єктів. Для баз відпочинку, рекреаційних комплексів та віддалених територій використання сонячних панелей є перспективним рішенням, оскільки це дозволяє зменшити навантаження на електромережу та скоротити витрати на електроенергію.

Ще одним важливим напрямом є підвищення енергоефективності. Зменшення споживання електроенергії досягається шляхом використання сучасного енергоощадного обладнання, LED-освітлення, автоматизованих систем керування та енергоефективних електроприладів. Це дозволяє не тільки економити електроенергію, а й знижувати витрати на експлуатацію об'єктів.

Україна також прагне інтегруватися до європейської енергетичної системи. Це сприяє модернізації енергетичної галузі, підвищенню надійності електропостачання та впровадженню сучасних технологій.

Важливою тенденцією є і децентралізація енергетики. Розвиток невеликих електростанцій та автономних джерел живлення дозволяє підвищити стійкість енергосистеми та забезпечити більш надійне електропостачання віддалених об'єктів.

Разом із цим енергетика України стикається з рядом серйозних проблем. Найбільшою з них є руйнування енергетичної інфраструктури внаслідок військової агресії росії проти України. Пошкодження електростанцій, підстанцій та ліній електропередач негативно впливають на стабільність електропостачання та потребують значних витрат на відновлення.

					КРБ.141ЕЕБд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також на енергетику впливають кліматичні зміни. Екстремальні погодні явища, такі як посухи, сильні зливи та шквальні вітри, можуть ускладнювати роботу енергетичних об'єктів і впливати на ефективність роботи сонячних та вітрових електростанцій.

Для подальшого розвитку енергетичної галузі необхідні значні інвестиції та впровадження сучасних технологій. Швидкий розвиток техніки вимагає постійного оновлення обладнання та модернізації електричних мереж.

Таким чином, сучасна енергетика України потребує розвитку відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності та модернізації електричних систем. Особливо актуальним є використання автономних сонячних електростанцій для віддалених об'єктів, зокрема баз відпочинку та рекреаційних комплексів [3,4].

### **1.3 Огляд сучасних відновлюваних джерел енергії для автономного електропостачання**

Сонячна енергетика - це використання сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому вигляді. Сонячна енергетика використовує відновлюване джерело енергії та в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не створює шкідливих відходів. Нижче наведено основні способи перетворення енергії Сонця [5, 6].

Отримання електричної енергії за допомогою фотоелементів (сонячних батарей).

Перетворення енергії у фотоелементах ґрунтується на фотовольтаїчному ефекті, який виникає у неоднорідних напівпровідникових структурах під впливом на них сонячного випромінювання. Ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей фотоелементів, серед яких найважливішу роль відіграє фотопровідність. Вона зумовлена явищами внутрішнього фотоефекту в

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напівпровідниках при їх опроміненні сонячним світлом.

До складу будь-якої сонячної електростанції (СЕС), у тому числі й мікро-СЕС, входять однакові основні елементи. Вони наведені нижче [4]:

1. Сонячні батареї. Вони необхідні для перетворення сонячної енергії в електричний струм. Сонячні батареї складаються з фотоелектричних елементів. Змінюючи кількість фотоелементів, можна змінювати потужність і напругу батареї;

2. Акумуляторні батареї. Один або декілька акумуляторів необхідні для накопичення електричної енергії, оскільки вироблення струму сонячними батареями є нерівномірним у часі. Акумулятори віддають накопичену енергію в нічний час та за хмарної погоди. Ємність акумуляторних батарей визначає тривалість роботи побутових приладів та освітлення за відсутності генерації електроенергії сонячними батареями;

3. Інвертор. Пристрій, який перетворює постійний струм, отриманий від фотоелементів, у змінний струм, що споживається електричним навантаженням;

4. Допоміжне обладнання. До нього належать різноманітні з'єднання, контролери заряду та розряду акумуляторних батарей, електричні проводи, елементи кріплення та інші складові системи.

Отримання енергії за допомогою сонячної теплової енергії. Даний вид енергії утворюється в результаті нагрівання поверхні, що поглинає сонячне випромінювання, з подальшим розподілом та використанням отриманого тепла (наприклад, фокусування сонячного випромінювання на ємності з водою для подальшого використання нагрітої води в системах опалення або у парових електрогенераторах).

Сонячний водонагрівач складається з короба зі змішувиком, бака для холодної води, бака-акумулятора та трубопроводів. Короб стаціонарно встановлюється під кутом 30–50° з орієнтацією на південну сторону. Холодна, більш важка, вода постійно надходить у нижню частину короба, де нагрівається і, витісняючись холодною водою, надходить у бак-акумулятор. Надалі вона може використовуватися для опалення, душу або інших побутових потреб.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Переваги електростанцій [5-7]:

- загальнодоступність та невичерпність джерела енергії;
- теоретично повна безпечність для навколишнього середовища (хоча наразі під час виробництва фотоелементів та у їх складі використовуються певні шкідливі речовини).

### Недоліки [5-7]:

- сонячна електростанція не працює вночі та недостатньо ефективно працює у ранкові та вечірні сутінки;
- висока вартість сонячних фотоелементів. Імовірно, з розвитком технологій цей недолік буде усунено;
- недостатній коефіцієнт корисної дії сонячних елементів (у перспективі очікується його підвищення);
- поверхню фотопанелей необхідно очищати від пилу та інших забруднень. При площі панелей у декілька квадратних кілометрів це може створювати певні труднощі;
- ефективність фотоелектричних елементів помітно знижується при їх нагріванні, тому виникає необхідність встановлення систем охолодження, зазвичай водяних;
- через 30 років експлуатації ефективність фотоелектричних елементів починає знижуватися.

### Висновок по розділу 1

У розділі було розглянуто сучасні тенденції розвитку відновлюваної енергетики та основні види нетрадиційних джерел енергії. Розглянуто принцип роботи сонячних електростанцій, їх основні елементи, переваги та недоліки.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2

### СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТА

#### 2.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження

База відпочинку розташована на території Полтавської області, поблизу річки Ворскла, у межах лісостепової природної зони України. Територія характеризується рівнинним рельєфом із незначними перепадами висот, наявністю прибережних терас, луків та лісових масивів. Об'єкт знаходиться на відстані близько 20–30 км від обласного центру – міста Полтава, що забезпечує зручну транспортну доступність. Найближчими населеними пунктами є села та дачні масиви, розташовані вздовж річки.

Територія бази відпочинку поділяється на декілька функціональних зон:

- адміністративно-господарська зона (адміністративна будівля, господарські приміщення);
- житлова зона (котеджі, будиночки для відпочиваючих);
- рекреаційна зона (пляж, спортивні майданчики, зони відпочинку);
- природоохоронна зона (лісові та прибережні ділянки).

Загальна площа території становить орієнтовно 15–25 га.

Однією з ключових функцій Об'єкта є організація відпочинку населення із одночасним збереженням природного середовища. Особлива увага приділяється збереженню біологічного різноманіття, що включає типові для лісостепової зони види рослин і тварин.

Клімат території помірно континентальний. Він характеризується теплим літом і помірно холодною зимою. Середня температура повітря у січні становить  $-5...-7$  °С, у липні –  $+20...+22$  °С. Абсолютний мінімум температури може досягати  $-30$  °С, а максимум – до  $+38$  °С. 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

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 та може бути використана для впровадження енергоефективних технологій. Тривалість сонячного сьйва становить близько 1800–2000 годин на рік.

Гідрографічна мережа представлена річкою Ворскла та її заплавами водоймами. Річка має рівнинний характер течії, ширина русла становить 10–30 м, глибина – до 2–3 м.

Живлення річки змішане, з переважанням снігового. Весняна повінь спостерігається у березні–квітні внаслідок танення снігу. У літній період можливі короткочасні підйоми рівня води через дощові паводки. У зимовий період річка замерзає, льодостав триває з грудня до кінця лютого.

## 2.2 Загальна характеристика будівель та споруд об'єкта

На території бази відпочинку розташовано декілька будівель і споруд, які доцільно поділити на два основні типи:

- будівлі, призначені для відпочинку та проживання відвідувачів (котеджі, будиночки для відпочиваючих),
- адміністративна будівля та господарські приміщення.

До першого типу належать будівлі та споруди, що використовуються для тимчасового проживання та відпочинку відвідувачів. До їх складу входять декілька одноповерхових будиночків котеджного типу, виконаних із дерев'яного бруса, стилізований гостьовий будинок (у вигляді етнічної споруди), лазня (сауна), а також елементи садово-паркової інфраструктури - альтанки, навіси, зони барбекю, відкриті майданчики для відпочинку тощо.

До другого типу належать господарсько-побутові та допоміжні будівлі, що забезпечують функціонування бази відпочинку. До них відносяться приміщення для проживання обслуговуючого персоналу, складські приміщення для зберігання

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інвентарю та обладнання, господарські сараї, навіси для зберігання матеріалів, а також дров'ятні для зберігання паливної деревини.

Усі основні будівлі споруджені з дерев'яного бруса та додатково обшиті дерев'яними дошками, що забезпечує належні теплоізоляційні властивості та гармонійне поєднання з природним ландшафтом. Господарські споруди, як правило, не мають зовнішнього декоративного оздоблення. Віконні та дверні конструкції виконані з деревини.

Система водопостачання об'єкта організована з використанням автономних джерел. Забір води здійснюється за допомогою насосного обладнання з природних та штучних джерел, зокрема з річки Ворскла, а також із неглибокої свердловини.

Система опалення будівель має комбінований характер. У більшості будівель використовується пічне опалення на твердому паливі (дровах), що є традиційним і економічно доцільним для даного типу об'єктів. Водночас у адміністративній будівлі застосовується електричне опалення на основі сучасних електричних конвекторів, що забезпечує стабільний температурний режим і підвищений рівень комфорту.

### **2.3 Система електропостачання об'єктів інфраструктури**

Електрична енергія на територію бази відпочинку надходить від комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ (КТП-10/0,4 кВ), що підключена до повітряної лінії електропередачі напругою 10 кВ. Інших незалежних джерел живлення об'єкт не має у зв'язку з його відносною віддаленістю від населених пунктів та економічною недоцільністю резервування.

Потужність силового трансформатора становить 100 кВА. Від трансформаторної підстанції електрична енергія подається до головного розподільчого щита (ГРЩ) бази відпочинку кабельною лінією напругою 0,4 кВ, прокладеною в траншеї (в ґрунті).

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Від головного розподільчого щита електрична енергія розподіляється до окремих споживачів за допомогою кабельних ліній або повітряних ліній напругою 0,4 кВ по території об'єкта. Електропроводка в житлових будиночках, адміністративній будівлі та господарських спорудах виконана із застосуванням сучасних матеріалів – у пластикових кабель-каналах, гофрованих трубах або прихованим способом. У кожній будівлі передбачено індивідуальний розподільчий щит.

Дані щодо електрозабезпечення об'єкта відповідно до договору на постачання електричної енергії з оператором системи розподілу (обленерго) наведені у таблиці 2.1. За надійністю електропостачання об'єкт відноситься до III категорії.

Таблиця 2.1 – Дані щодо 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
КЛ-0,4 кВ від РУ-0,4 кВ КТП-10/0,4 кВ до ГРЩ-0,4 кВ	КТП-10/0,4 кВ, 100 кВА	НН (0,4 кВ)	III	електролічильник типу ЦЕ 6803В	30 кВт	Цілодобово, без вихідних	Інші споживачі	1

Відповідно до технічних умов електропостачання максимальна дозволена потужність об'єкта становить 30 кВт, що забезпечує можливість роботи всіх електроприймачів бази відпочинку без перевантаження мережі.

Споживання електричної енергії за три роки в помісячному розрізі наведено в таблиці 2.2.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Споживання електричної енергії на об'єкті по місяцях

Місяць	2025 рік	2024 рік	2023 рік
Січень	2500	2650	2700
Лютий	1800	2100	2200
Березень	1200	1400	1300
Квітень	700	900	1000
Травень	500	650	600
Червень	350	400	420
Липень	420	410	430
Серпень	450	380	400
Вересень	500	650	550
Жовтень	1400	1100	1200
Листопад	1600	1500	1550
Грудень	1700	1400	1600
<b>Разом</b>	<b>13120</b>	<b>13540</b>	<b>13950</b>

Максимальне споживання електричної енергії припадає на зимовий період, а мінімальне - на літній. Це пояснюється використанням електричної енергії для опалення приміщень (зокрема в адміністративній будівлі), а також збільшенням тривалості роботи освітлення у темний період доби.

Також спостерігається певне зниження рівня енергоспоживання у динаміці років, що пов'язано із впровадженням енергоефективних заходів, зокрема використанням світлодіодних джерел світла та застосуванням сучасних систем енергозбереження.

Аналіз даних рис. 2.1 показує, що загальна встановлена потужність електроприймачів бази відпочинку становить 26038 Вт (26,0 кВт), що відповідає малопотужним об'єктам рекреаційного призначення з переважно побутовим навантаженням. Найбільша частка електроспоживання припадає на будинок персоналу та майстерню - 11286 Вт (близько 43 % від загальної потужності). Це пояснюється наявністю енергоємного обладнання, зокрема електроплити, верстатів та ручного електроінструменту.

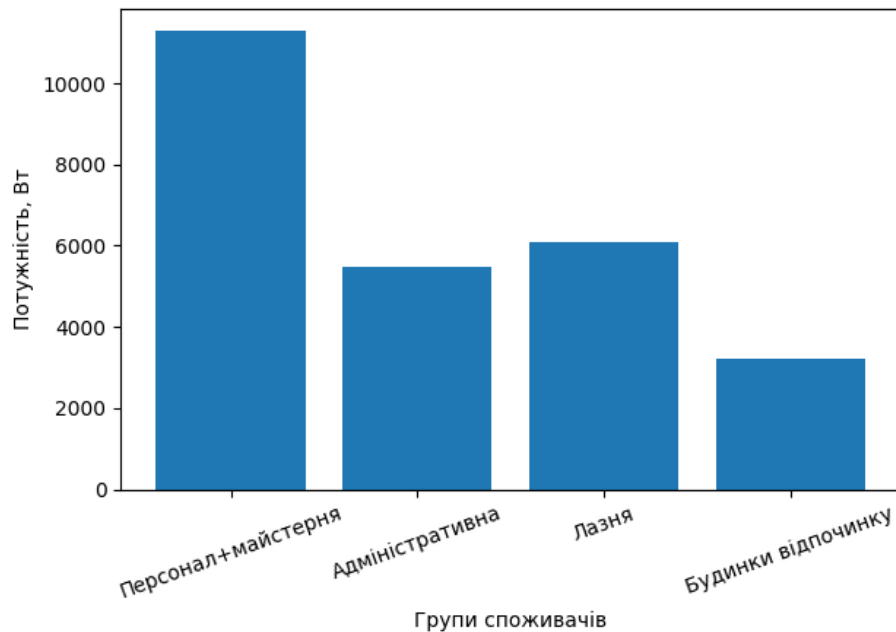


Рисунок 2.1 – Розподіл встановленої потужності по об’єктах

Друге місце за рівнем споживання займає лазня (сауна) – 6090 Вт (23 %), що пов’язано з використанням електричних водонагрівачів та опалювальних приладів. Адміністративна будівля має встановлену потужність 5460 Вт (21 %), основне навантаження якої формують електричні конвектори та офісна техніка.

Найменше електроспоживання характерне для будинків відпочиваючих – 3202 Вт (13 %), що обумовлено використанням переважно освітлення та малопотужних побутових приладів.

#### 2.4 Аналіз електричних навантажень об’єкта

Виходячи з таблиці 2.1, розподіл споживання електричної енергії по об’єкту за типами електроприймачів наведено на рисунку 2.2. Основну частину електроприймачів об’єкта доцільно поділити на такі групи: електричне освітлення; електричні обігрівачі; побутові електроприлади (кухонне обладнання, електроплити, водонагрівачі, холодильники, чайники тощо); технологічне обладнання (верстати, ручний електроінструмент, насосне обладнання).

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

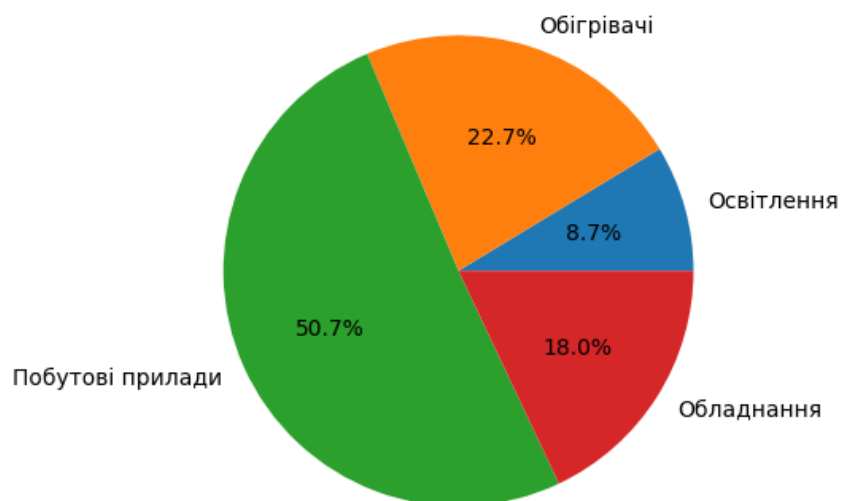


Рисунок 2.2 – Розподіл навантаження об’єкта за групами електроприймачів

На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

Основною проблемою в енергетичному забезпеченні бази відпочинку є відносно значне споживання електричної енергії та, відповідно, витрати на її оплату, особливо у періоди пікового навантаження.

Найбільшу частку встановленої потужності становлять побутові електроприлади (понад 50 %), а також електричні обігрівачі (близько 23 %), що свідчить про значну залежність об’єкта від електричної енергії у забезпеченні комфортних умов перебування відвідувачів та персоналу.

Об’єкт є віддаленим від основних центрів живлення та має живлення від однієї трансформаторної підстанції через одну лінію електропередачі, що знижує надійність електропостачання. У зв’язку з цим база відпочинку відноситься до III категорії за надійністю електропостачання. Для споживачів III категорії допускається перерва в електропостачанні тривалістю до 24 годин поспіль та не більше 72 годин на рік.

З урахуванням зазначених особливостей доцільним є розгляд можливості застосування відновлюваних джерел енергії для часткового покриття електричних навантажень об’єкта. Це особливо актуально для рекреаційних об’єктів, розташованих у природному середовищі, де важливими є екологічність та енергоефективність. У зв’язку з цим у даній роботі доцільно вирішити наступні

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдання:

- обґрунтування можливості використання відновлюваних джерел енергії для електропостачання бази відпочинку;
- розробка технічних рішень щодо впровадження таких джерел та виконання відповідних розрахунків;
- обґрунтування економічної доцільності їх застосування.

## Висновок по розділу 2

У розділі було розглянуто систему електропостачання бази відпочинку, а також виконано аналіз її електричних навантажень. Загальна встановлена потужність електроприймачів становить 26,0 кВт, при цьому найбільша частка навантаження припадає на побутові електроприлади та електричні обігрівачі.

Визначено, що електропостачання об'єкта здійснюється від однієї трансформаторної підстанції, що знижує надійність живлення та обумовлює необхідність пошуку додаткових джерел енергозабезпечення. У зв'язку з цим доцільним є використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної електростанції, для часткового покриття електричних навантажень бази відпочинку та підвищення надійності електропостачання об'єкта.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ 3**  
**РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ з**  
**ВИКОРИСТАННЯМ СЕС**

**3.1 Розрахунок електричних навантажень**

Електричне навантаження об'єктів бази відпочинку має переважно однофазний характер. Потужність окремих електроприймачів є незначною (як правило, не перевищує 2 кВт), у зв'язку з чим при правильному групуванні електроприймачів у мережі можливо забезпечити достатньо рівномірний розподіл навантаження по фазах (із несиметрією не більше 5–10 %).

Характер навантаження є відносно рівномірним, без різких пускових струмів та перевантажень, проте його величина змінюється залежно від часу доби, пори року та особливостей експлуатації об'єкта. Частота електричного струму є загальнопромисловою і становить 50 Гц. Напруга електричної мережі - 380/230 В.

За надійністю електропостачання об'єкт відноситься до III категорії [8].

Електроприймачі за режимом роботи поділяються на три основні режими: тривалий, короткочасний та повторно-короткочасний. Для даного об'єкта більшість електроприймачів працює у тривалому або короткочасному режимах. З точки зору електробезпеки всі електроустановки працюють із глухозаземленою нейтраллю.

Перелік електроприймачів наведений у табл. 2.3 та табл А.1 додатку А. Для подальших розрахунків приймається сумарна активна потужність для кожного типу електроприймачів.

Встановлена потужність  $P_{вст}$  наведена для одного електроприймача. Значення коефіцієнтів потужності  $\cos \varphi$  та коефіцієнтів використання  $K_i$  приймаються відповідно до довідкових таблиць.

Розрахунок електричних навантажень виконується окремо для кожного приміщення та для кожної групи електроприймачів [9-12]. За вихідними даними

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначається номінальна активна потужність електроприймача.

Для установок, що працюють у тривалому режимі (оскільки тривалість вмикання (ТВ) = 100 % для більшості електроприймачів), встановлена потужність визначається за формулою (3.1):

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

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

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

Розрахункова активна потужність визначається за формулою (3.2):

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

де  $K_i$  – коефіцієнт використання електроприймача;

$K_{с,i}$  – коефіцієнт попиту.

Реактивна потужність визначається за формулою (3.3):

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

Повна потужність визначається за формулою (3.4):

$$S_{р,i} = \sqrt{P_{р,i}^2 + Q_{р,i}^2} \quad (3.4)$$

Розрахунковий струм електроприймача визначається за формулою (3.5)

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

де  $U_{ном}=230$  В – номінальна напруга, оскільки навантаження є однофазним.

Розглянемо освітлювальні прилади (світильники з лампою типу E27) для одного з будинків бази відпочинку. Наприклад, кількість світильників  $n=5$ ; потужність одного світильника  $P_{ном}=20$  Вт = 0,02 кВт. Коефіцієнт використання  $K_i=0,9$ ; коефіцієнт попиту  $K_c=0,8$ ;  $\cos\varphi=0,95$ . За формулами (3.1)–(3.5) визначаємо:

Тоді встановлена потужність  $P_{вст} = 0,02 \cdot 5 = 0,1$  кВт

Розрахункова активна потужність:  $P_p = 0,1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,072$  кВт

Реактивна потужність:  $Q_p = 0,072 \cdot 0,33 = 0,024$  квар

Повна потужність:  $S_p = 0,076$  кВА

Розрахунковий струм:  $I_p = 0,35$  А

Для інших приймачів були проведені аналогічні розрахунки, результати наведені у додатку А

За результатами розрахунків встановлена активна потужність усіх електроприймачів становить 26,04 кВт. Повна потужність, що споживається об'єктом з урахуванням коефіцієнтів використання та попиту, становить 10,069 кВА (додаток А, табл. А.1) [9-12].

## 3.2 Розрахунок сонячної електростанції

### 3.2.1 Розрахунок режиму роботи сонячної електростанції

Як зазначалося вище, сонячна електростанція отримує енергію від сонця, тому перед вибором кількості та виду сонячних батарей необхідно розрахувати цілорічний або сезонний режим роботи фотоелектричних модулів (ФЕМ) [1, 10].

Для цього нам знадобляться значення сонячної інсоляції (радіації) [13].

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У табл. 3.1 наведено питомі місячні та сумарні річні значення сонячної радіації ( $E_{тит}$ ) для місцевості, де буде встановлено СЕС. Розрахунок на даному етапі виконується загальним для всіх об'єктів, оскільки вони розташовані в радіусі 5 км один від одного. Відмінності полягають лише в навколишньому ландшафті.

Таблиця 3.1 – Значення питомої сонячної радіації

Показник / Місяць	Січ	Лют	Бер	Квіт	Трав	Черв	Лип	Серп	Вер	Жовт	Лист	Груд	Рік
$E_{тит}$ , кВт·год/м <sup>2</sup> на добу	0,91	1,62	2,95	4,20	5,61	6,15	5,95	5,12	3,64	2,15	1,02	0,72	3,35
Сумарна радіація, МДж/м <sup>2</sup>	85	145	285	410	580	630	615	510	350	205	90	65	3970
Сонячне саяво, годин	52	74	132	185	260	282	295	268	194	125	48	36	1951
п.дм, дні	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
$E_{міс}$ , кВт·год / м <sup>2</sup>	28,21	45,36	91,45	126,00	173,91	184,50	184,45	158,72	109,20	66,65	30,60	22,32	<b>1221,37</b>

Як видно з таблиці 3.1, оптимальний період використання сонячної електростанції (СЕС) припадає на проміжок з березня по вересень. У цей час спостерігаються максимальні значення питомої сонячної радіації (від 2,95 до 6,15 кВт·год/м<sup>2</sup> на добу), що забезпечує найвищу ефективність генерації енергії. Мінімальні значення виробленої енергії СЕС очікуються в період з жовтня по лютий. Зокрема, у грудні спостерігається «енергетичний мінімум» (0,72 кВт·год/м<sup>2</sup>), що зумовлено як низькою висотою сонця над горизонтом, так і значною часткою розсіяної радіації.

Тривалість сонячного саява для Полтавської області, згідно з проведеним аналізом, становить 1951 годину на рік [13]. Цей показник безпосередньо залежить від метеорологічних умов та особливостей рельєфу місцевості (наявності природних перешкод або затінення в радіусі 5 км від об'єктів).

На основі отриманих даних проведемо розрахунок місячних та сумарних річних значень сонячної радіації за (3.6) та занесемо результати до табл. 3.2

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E = E_{\text{пит}} \cdot n_{\text{дм}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \quad (3.6)$$

де  $n_{\text{дм}}$  – кількість днів у заданому місяці.

Для розрахунку було використано уточнені дані питомої сонячної інсоляції для Полтавської області. Сумарне річне значення склало 1222,41 кВт·год/м<sup>2</sup>, що є характерним показником для нашого регіону і майже збігається з типовими кліматичними показниками для Полтавської області, і базується на актуальних метеоданих Полтавщини. Розрахунок сонячної радіації у січні ( $n_{\text{дм}} = 31$  день у січні)

$$E = 0,91 \cdot 31 = 28,21 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Решта значень наведена у таблиці 3.1

Критерій для визначення раціонального режиму роботи ФЕМ знаходиться за формулою (3.7)

$$k_{\text{рад}} = E_{\text{рік}} / E_{\text{міс}}, \quad (3.7)$$

де  $E_{\text{рік}}$  – середньорічні суми сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кВт·год/м<sup>2</sup>;

$E_{\text{міс}}$  – середньомісячна сума сумарної радіації на горизонтальну поверхню, мінімальна протягом року, кВт·год/м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт  $k_{\text{рад}}$  характеризує відношення сонячної радіації протягом найменш сонячного місяця до радіації за весь рік. Таким чином, якщо це відношення перевищує 50 (за відповідною методикою розрахунку), то для ФЕМ необхідно обрати сезонний режим роботи, якщо воно менше 50 - цілорічний [13].

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{рад} = 1221,37 / 22,32 = 54,7.$$

Оскільки отримане значення  $k_{рад} = 54,7$ , найефективніша робота СЕС припадає на сезон березень–вересень, однак за умови використання АКБ система може застосовуватися протягом року.

### 3.2.2 Вибір типу, кількості та розташування ФЕМ СЕС

**Вибір типу ФЕМ.** Сонячні елементи поділяються на три основні типи: монокристалічні, полікристалічні та аморфні (або мікроморфні). Різниця між цими елементами полягає у матеріалі виготовлення, формі та ефективності перетворення сонячної енергії.

Зважаючи на низький рівень інсоляції в період з жовтня по лютий (згідно з даними таблиці 3.1), для забезпечення максимальної генерації в умовах обмеженого сонячного випромінювання та хмарності, зупинимо свій вибір на монокристалічних ФЕМ.

**Вибір кількості ФЕМ.** Розрахунок потужності сонячних батарей є необхідним для їх правильного підбору та забезпечення СЕС необхідною кількістю електроенергії.

Розрахунок площі сонячної батареї ( $S_{ФЕМ}$ ), м<sup>2</sup>, виконується за формулою (3.8):

$$S_{СЕС} = P_{нагр} / P_{ФЕМ} \quad (3.8)$$

де  $P_{нагр}$  – загальне навантаження кВт, що розраховується, з таблиці А.2 для кожного об'єкта.

Збільшимо розрахункову потужність навантаження ( $P_{розр.нагр}$ ) з таблиць Додатка А на 20%. Це необхідно для компенсації неминучих втрат у провідниках, сонячному контролері та інверторі, а також враховує можливе збільшення навантаження та поступове незначне зниження ефективності ФЕМ

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(деградацію) під час експлуатації.

Тоді для об'єкта  $P_{нагр} = P_{розр.нагр} 1,2 = 9644 1,2 = 11573$  Вт.

Розрахуємо середню питому потужність ФЕМ ( $P_{ФЕМ.сер}$ ), Вт/м<sup>2</sup>, за (3.9)

$$P_{ФЕМ сер} = P_{ФЕМ} \cdot \eta \quad (3.9)$$

де  $P_{ФЕМ}$  – максимальна питома потужність, яку віддає ФЕМ при номінальних умовах освітлення (STC), згідно з [14] становить 1000 Вт/м<sup>2</sup>;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) монокристалічних ФЕМ.

Для сучасних панелей цей показник у середньому становить від 17% до 22% [1, 14]. Приймаємо значення 17% (або 0,17). Отже, середня питома потужність складе  $P_{ФЕМ сер} = 1000 \cdot 0,17 = 170$  Вт

Розрахунок потужності сонячних батарей є необхідним для забезпечення об'єкта потрібною кількістю електроенергії. Площа забудови СЕС розраховується на основі розрахункового навантаження з урахуванням 20% запасу на втрати в провідниках, інверторі та сонячному контролері

$$S_{СЕС} = P_{нагр} / P_{ФЕМ.сер} = 11573 / 170 = 68,1 \text{ м}^2$$

Згідно з технічними характеристиками обраної монокристалічної панелі Altek ALM-200M, площа одного модуля становить

$$S_{ФЕМ} = 0,808 1,580 = 1,277 \text{ м}^2$$

Відповідно, кількість панелей СЕС для об'єкта складе

$$N_{СЕС} = S_{СЕС} / S_{ФЕМ} = 68,1 / 1,277 = 53,33 \text{ шт} = 54 \text{ шт}$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, номінальна встановлена потужність всієї фотоелектричної системи об'єкта складе:

$$P_{CEC} = N_{CEC} P_{ФЕМ} = 54 \cdot 200 = 10,8 \text{ кВт}$$

Кількість виробленої електроенергії сонячною батареєю залежить від погодних умов та рельєфу місцевості [14, 15]. Енергія, яку генерує СЕС за обраний період ( $W_i$ , кВт·год), розраховується за формулою (3.10)

$$W_i = k_i E_{num.i} P_{CEC} \quad (3.10)$$

де  $E_{num.i}$  – значення інсоляції для Полтавської області (з табл. 3.1);

$k_i$  - поправочний коефіцієнт (0,5 - літо; 0,7 - зима). Він враховує втрати при нагріванні елементів та нахил падіння променів.

Таблиця 3.2 – Прогноз виробітку енергії СЕС за місяцями

Місяць	$E_{пит}$ , кВт·год/(м <sup>2</sup> ·день)	$k_i$	Виробіток $W_{доб}$ , кВт·год/добу	Виробіток $W_{міс}$ , кВт·год/міс
Січень	0,91	0,7	6,88	213,28
Лютий	1,62	0,7	12,25	343,00
Березень	2,95	0,7	22,30	691,30
Квітень	4,20	0,5	22,68	680,40
Травень	5,61	0,5	30,29	938,99
Червень	6,15	0,5	33,21	996,30
Липень	5,95	0,5	32,13	996,03
Серпень	5,12	0,5	27,65	857,15
Вересень	3,64	0,5	19,66	589,80
Жовтень	2,15	0,5	11,61	359,91
Листопад	1,02	0,7	7,71	231,30
Грудень	0,72	0,7	5,44	168,64

Як видно з розрахунків, мінімальний виробіток СЕС об'єкта припадає на зимові місяці (листопад–січень). У цей період генерація енергії не покриває потреби об'єкта в повному обсязі. Для забезпечення безперебійного

енергопостачання інфраструктури плавнів необхідно використовувати СЕС у поєднанні з акумуляторними системами великої ємності або іншими джерелами живлення.

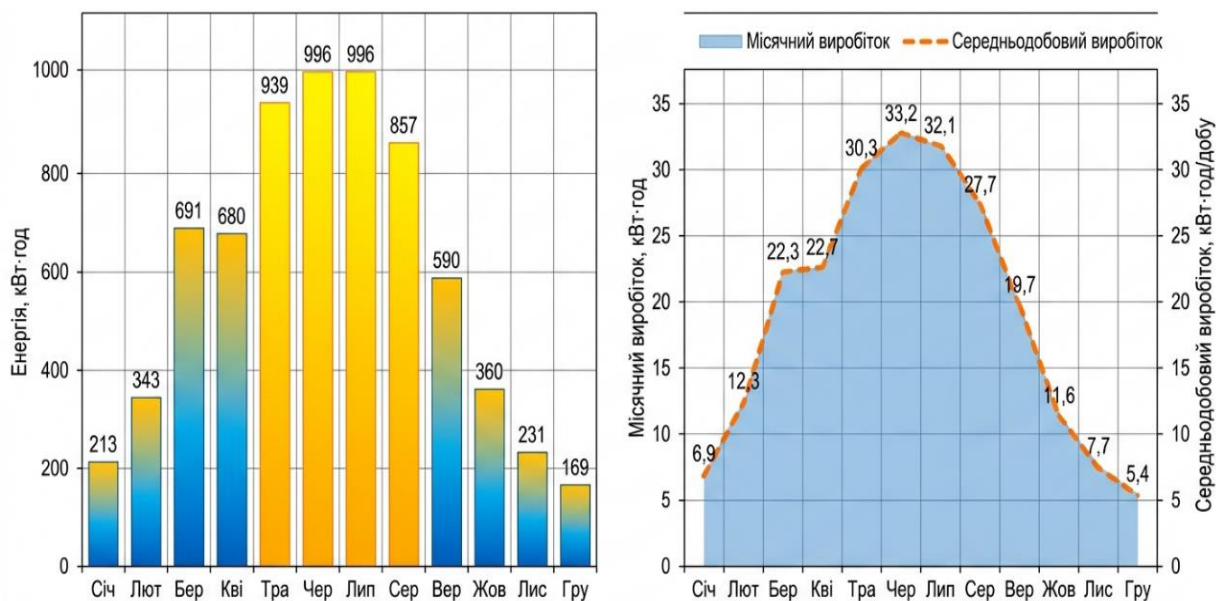


Рисунок 3.1 - Графіки

- а) прогнозу місячного виробітку електроенергії СЕС
- б) сезонної динаміки та середньодобової генерації СЕС

Як видно з рис. 3.1 а), мінімальний виробіток СЕС об'єкта припадає на зимові місяці - листопад, грудень та січень. Даний рівень генерації не забезпечує повного покриття енергетичних потреб обраного об'єкта в цей період. Зокрема, найнижчі показники спостерігаються у грудні (168,64 кВт·год/міс), що зумовлено як малою тривалістю сонячного сьйва, так і низькою висотою сонця над горизонтом, характерною для географічних умов Полтавської області. З огляду на це, для забезпечення безперебійного функціонування об'єкта необхідно передбачити використання додаткових джерел енергії або накопичувальних систем для компенсації дефіциту в зимовий період.

**Вибір типу та кількості акумуляторних батарей.** У нічний час доби, а також у разі затяжного снігопаду, туману тощо. накопичена в акумуляторній батареї автономної сонячної електростанції енергія споживається навантаженням [1, 14, 15].

Для забезпечення автономності об'єкта проведено аналіз основних типів акумуляторних батарей (АКБ), представлених на ринку:

1. Свинцево-кислотні акумулятори. Це найбільш поширений тип накопичувачів, що поділяється за технологіями виготовлення електроліту:

GEL (гелеві): Використовують електроліт у стані желе. Вони герметичні, необслуговувані та стабільно працюють у будь-якому положенні. Стійкі до глибоких розрядів.

AGM (абсорбований електроліт) - електроліт міститься у пористому скловолокні. Мають низький внутрішній опір, забезпечують ефективну рекомбінацію газів та не потребують обслуговування.

Flooded (рідинні) - традиційні акумулятори з рідким електролітом. Сучасні малообслуговувані моделі з рециркуляційними клапанами мають нижчу вартість за А·год, але потребують перевірки рівня електроліту та вентиляції приміщення.

Панцирні (OpzS та OpzV) - використовують трубчасті позитивні пластини, що дозволяє витримувати до 1500-2000 циклів при глибині розряду 80%. Це найнадійніші свинцеві АКБ для СЕС, проте їхня ціна є найвищою у класі [14, 15].

2. Лужні акумулятори, головною перевагою яких є здатність переносити глибокі розряди струмами різної величини без руйнування пластин. Однак для СЕС вони менш придатні через значні габарити та «ефект пам'яті» (втрата ємності при неповних циклах заряду-розряду), що критично для систем, де рівень інсоляції постійно змінюється [14, 15].

3. Літієві акумулятори (LiFePO<sub>4</sub> та інші) забезпечують найвищу щільність енергії, компактність та швидкість заряду. Вони витримують понад 3000-5000 циклів глибокого розряду. Основним обмеженням для їх масового застосування в бюджетних проектах залишається висока початкова вартість, що впливає на термін окупності системи, хоча за експлуатаційними характеристиками вони значно перевершують конкурентів [14, 15].

Враховуючи вищезазначений аналіз, для встановлення на об'єкті приймаємо акумуляторні батареї типу OPzV (панцирні, гелеві) моделі Sunlight 7

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

OPzV 960 [16]. Для забезпечення номінальної напруги системи СЕС 48 В необхідно з'єднати послідовно 24 одиниці таких АКБ.

Вибір даної моделі обумовлений терміном служби до 18-20 років у буферному режимі та здатністю витримувати до 1500–2000 циклів при глибокому розряді (80%), що є критичним для стабільної роботи СЕС в осінньо-зимовий період (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики АКБ [16].

Параметр	Значення
Номінальна напруга одного елемента, В	2
Тип електроліту	GEL (Thixotropic silica gel)
Тип пластин	Панцирні (трубчасті)
Номінальна ємність $C_{10}$ (1,80 В/ел., 20 °С), ·год	960
Максимальна ємність $C_{120}$ (1,85 В/ел., 20 °С), А·год	1025
Кількість циклів (при 80 % розряді)	1500
Струм короткого замикання, А	5650
Внутрішній опір, мОм	0,35
Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм	191×210×681
Вага, кг	49,5

Енергоємність акумуляторної батареї (АКБ) визначається як добуток її ємності на номінальну напругу. Ємність відображає потенціал АКБ, тобто час, протягом якого вона зможе жити навантаження при повному заряді. У міру розряду напруга та енергоємність батареї знижуються.

Витрата ємності  $\square C$  акумуляторної батареї СЕС за час живлення навантаження в темний час доби  $\square t_{нг}$  визначається за формулою (3.11)

$$C = (P_n t_{нг}) / U_n \quad (3.11)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність навантаження об'єкта (з урахуванням 20% запасу з додатку А - 11573 Вт);

$U_n$  – номінальна напруга системи (48 В);

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{нв}$  – інтервал нічного часу. Для найбільш важкого зимового режиму приймаємо 16 год.

Енергія (енергоємність) акумуляторної батареї визначається як добуток її ємності  $C_n$  на напругу  $U_n$ . (3.12)

$$W = C_n \cdot U_n \quad (3.12)$$

Глибокий розряд може вивести акумулятор з ладу. Тому виробники акумуляторних батарей встановлюють граничне значення напруги розряду, при досягненні якого акумулятор необхідно відключати від навантаження та заряджати. Для забезпечення тривалого терміну служби акумулятора його не рекомендується розряджати більш ніж на 70–80 % [14, 15].

Ступінь розрядженості акумуляторної батареї сонячної електростанції визначається за формулою (3.13)

$$S = \frac{C_n - C_{\text{мін}}}{C_n} \cdot 100 \% \quad (3.13)$$

Виразивши з формули (3.12) ємність акумуляторної батареї  $C_{\text{абн}}$  та з урахуванням формули (3.13), отримаємо вираз для визначення необхідної ємності акумуляторної батареї сонячної електростанції:

$$C_{\text{абн}} = \frac{100 \cdot P_{\text{наг}} \cdot \Delta t}{S_p \cdot U_n} \quad (3.14)$$

Найбільш важким режимом експлуатації акумуляторних батарей сонячної електростанції є зимовий період, тому при розрахунках за формулою (3.14) приймають  $\Delta t = 16$  год, а ступінь розрядженості акумуляторної батареї –  $S_p = 70\%$ .

Розрахуємо ємність акумуляторної батареї для об'єкта

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{абн2} = \frac{100 \cdot 11573 \cdot 16}{70 \cdot 48} = 5510 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Для стаціонарних (промислових) свинцевих акумуляторів максимальний струм розряду обмежується значенням, яке чисельно в амперах становить від 5 до 25 ємностей акумулятора. Чим менший струм сонячної електростанції, тим меншими є омичні втрати потужності, вищим коефіцієнт корисної дії та, відповідно, нижчою вартість сонячної електростанції. Тому доцільно використовувати електричні системи з підвищеною напругою. При цьому, чим більшою є потужність електростанції, тим більшими є переваги високовольтної системи порівняно з низьковольтною.

Акумуляторна батарея сонячної електростанції з ємністю  $C_n$  формується з окремих серійно виготовлених акумуляторних батарей меншої ємності шляхом їх послідовного та паралельного з'єднання. Послідовне з'єднання окремих акумуляторних батарей використовується для збільшення напруги, при цьому ємність гілки акумуляторної батареї відповідає ємності окремої батареї. При паралельному з'єднанні акумуляторна батарея має ту саму напругу, що й окрема батарея, а її загальна ємність дорівнює сумі ємностей усіх батарей, що входять до її складу.

Чим більшою є енергоємність або ємність акумулятора при заданій напрузі, тим менша кількість окремих акумуляторних батарей необхідна для формування акумуляторної батареї сонячної електростанції.

Кількість послідовно з'єднаних окремих акумуляторних батарей у гілці визначається за (3.15)

$$n = U_n / U_{аб} \quad (3.15)$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $U_{аб}$  – напруга окремої акумуляторної батареї. Для обраної батареї  $U_{аб}=2$   
В.

Кількість паралельних гілок в акумуляторній батареї СЕС визначається за  
(3.16)

$$m = C_n / C_{аб} \quad (3.16) ,$$

де  $C_{аб}$  – ємність окремої акумуляторної батареї. Згідно з характеристиками  
обраної батареї  $C_{аб} = 960 \text{ А} \cdot \text{год}$ .

Тоді загальна кількість окремих акумуляторних батарей у складі  
акумуляторної батареї СЕС визначається за формулою (3.17)

$$N = n \cdot m, \text{ шт} \quad (3.17)$$

Розрахуємо кількість акумуляторних батарей для об'єкта:

$$n = 48 / 2 = 24 \text{ шт.}$$

$$m = 5510 / 960 = 5,7 = 6 \text{ шт.}$$

$$N = 24 \cdot 6 = 144 \text{ шт.}$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті розрахунків отримано, що для об'єкта необхідна кількість акумуляторних батарей становить 144 шт.

Слід зазначити, що наведений розрахунок може давати дещо завищене значення необхідної ємності акумуляторної батареї. Для більш точного визначення ємності АКБ необхідно враховувати реальний добовий графік навантаження, особливо зміну споживання електроенергії у нічний період доби.

### **3.2.3 Вибір типу сонячного контролера**

Сонячний контролер – це електронний пристрій, який відповідає за контроль та регулювання процесу заряджання акумуляторної батареї.

Існує три основні типи контролерів для сонячних батарей, які відрізняються принципом роботи та функціональними можливостями [27].

Умови вибору сонячного контролера[14, 15].:

- $U_{\text{контр}} \geq U_{\text{ФЕМ}}$  – вхідна напруга сонячного контролера повинна бути рівною або більшою за максимальну напругу, яку видає сонячна батарея (у тому числі напругу холостого ходу);
- $U_{\text{контр}} \geq U_{\text{аб}}$  – вихідна напруга сонячного контролера повинна бути рівною або більшою за максимальну напругу акумуляторної батареї, що заряджається;
- $I_{\text{контр}} \geq I_{\text{зар.аб}}$  – струм заряджання, який забезпечує сонячний контролер, повинен бути більшим або рівним максимальному струму заряджання акумуляторної батареї;
- Сонячний контролер повинен відповідати типу акумуляторної батареї, тобто підтримувати режим заряджання обраного типу АКБ.

Максимальний струм заряджання акумуляторної батареї визначається за формулою (3.18) [14, 15]:

$$I_{\text{зар. АКБ}} = 0,1 \cdot C_{\text{аб}} \quad (3.18)$$

Відповідно, зарядний струм акумуляторної батареї об'єкта становить:

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{зар.АКБ} = 0,1 \cdot 960 = 96 \text{ А}$$

Враховуючи кількість паралельно з'єднаних гілок акумуляторної батареї, для об'єкта доцільно встановити 6 MPPT-контролерів із зарядним струмом 100 А.

На основі наведених розрахунків для встановлення обрано MPPT-контролер типу Victron SmartSolar MPPT 250/100 [17], який широко застосовується в сучасних автономних сонячних електростанціях в Україні.

Основні характеристики контролера наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики контролера [17]

Характеристика контролера	Значення
Максимальна напруга сонячних панелей	250 В
Максимальний струм заряджання	100 А
Тип акумуляторних батарей	AGM, GEL, Li-іон, свинцево-кислотні
Напруга акумуляторної батареї	12 В, 24 В, 48 В

### 3.2.4. Вибір типу інвертора

Інвертор – це пристрій, призначений для перетворення постійного струму в змінний із необхідною величиною напруги. Для сонячних електростанцій використовують декілька основних типів інверторів [1, 14, 15].

Мережеві інвертори застосовуються у випадках, коли сонячна електростанція працює спільно із централізованою електричною мережею. Такі інвертори забезпечують синхронізацію з мережею та можуть використовуватися для передачі надлишкової електроенергії.

Автономні інвертори використовуються в системах незалежного електропостачання, які не потребують зовнішньої електромережі. Вони забезпечують живлення навантаження від сонячних панелей та акумуляторних батарей.

Гібридні інвертори можуть працювати одночасно із сонячними панелями, акумуляторними батареями та централізованою мережею. Вони мають вбудовані

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролери заряду та забезпечують більш ефективну роботу автономної системи електропостачання [14, 15].

Для проєктованої сонячної електростанції найбільш доцільним є використання саме гібридного інвертора.

При виборі інвертора необхідно враховувати сумарну потужність усіх електроприймачів із запасом не менше 30 % [14, 15]. Це дозволяє забезпечити стабільний запуск електроприладів із високими пусковими струмами, зокрема насосів та холодильного обладнання.

Інвертори можуть бути однофазними; трифазними; однофазними з можливістю об'єднання у трифазну систему.

Існують дві основні схеми підключення інверторів:

- схема з центральним інвертором;
- схема з паралельним підключенням інверторів.

Схема з центральним інвертором застосовується для багатьох середніх і великих сонячних електростанцій. Значна кількість фотоелектричних модулів з'єднується послідовно для формування високої напруги. Центральний інвертор забезпечує простоту встановлення та достатню надійність роботи системи. Однак така схема має і недоліки: у разі виходу інвертора з ладу вся система припиняє роботу. Крім того, можуть виникати труднощі при узгодженні великої кількості фотоелектричних модулів.

Схема з паралельними інверторами передбачає незалежну роботу окремих груп фотоелектричних модулів. Така схема є ефективною у випадках, коли модулі мають різну орієнтацію, різні характеристики або частково затінюються.

Паралельне підключення інверторів має ряд переваг. У разі виходу одного інвертора з ладу система продовжує працювати. Також відсутня необхідність у резервному інверторі. Недоліками є складніше налаштування системи та вища вартість обладнання.

Враховуючи особливості об'єкта, для проєктованої сонячної електростанції приймається схема з центральним інвертором.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерії вибору інвертора:

- 1)  $U_{\text{інв}} \geq U_{\text{ФЕМ}} (U_{\text{АБ}})$  – вхідна напруга інвертора повинна бути більшою або рівною максимальній напрузі сонячних панелей або акумуляторної батареї;
- 2)  $U_{\text{інв}} = U_{\text{мережі}}$  – вихідна напруга інвертора повинна відповідати напрузі мережі живлення споживачів;
- 3)  $P_{\text{інв}} \geq P_{\text{заг.мережі}}$  – потужність інвертора повинна бути більшою або рівною сумарній потужності навантаження із запасом не менше 30 % [31];
- 4) Пікова потужність інвертора повинна бути не меншою за пускову потужність найбільш потужного електроприймача;
- 5) Інвертор повинен відповідати параметрам мережі за напругою та частотою.

Розрахуємо потужність інвертора із запасом 30 % (3.19) [14, 15]:

$$P_{\text{інв}} = P_{\text{розр.нагр1}} \cdot 1,3 \quad (3.19)$$

Тоді для об'єкта потужність інвертора за (3.19) становитиме

$$P_{\text{інв}} = 9644 \cdot 1,3 = 12537 \text{ Вт}$$

Провівши аналіз сучасних інверторів, що використовуються в автономних сонячних електростанціях в Україні, для об'єкта обрано гібридний трифазний інвертор Deye SUN-12K-SG04LP3-EU потужністю 12 кВт. Даний інвертор підтримує роботу з акумуляторними батареями 48 В, має високий коефіцієнт корисної дії та широко застосовується в системах резервного та автономного електропостачання [18].

Основні технічні характеристики інвертора наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики інвертора

Характеристика	Значення
----------------	----------

Номінальна потужність	15 кВт
Тип інвертора	Гібридний
Кількість фаз	3
Напруга акумуляторної батареї	48 В
Максимальна вхідна напруга PV	1000 В
ККД	до 97,6 %
Частота мережі	50 Гц
Тип акумуляторів	AGM, GEL, Li-ion
Можливість паралельної роботи	Так

### Висновок по розділу 3

Проведено аналіз сонячної інсоляції для умов Полтавської області. На основі виконаних розрахунків обрано монокристалічні фотоелектричні модулі, визначено їх необхідну кількість та розраховано прогнозований виробіток електричної енергії за місяцями року.

Також у розділі було виконано вибір акумуляторних батарей, сонячного контролера та гібридного інвертора для забезпечення стабільної роботи системи електропостачання.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Розрахунок витрат на спожиту електричну енергію

Для оцінки економічної доцільності впровадження сонячної електростанції виконаємо розрахунок річних витрат на спожиту електричну енергію для бази відпочинку [19, 20].

Розрахунок проведено на основі річного електроспоживання об'єкта та діючого тарифу на електричну енергію для непобутових споживачів через мережі АТ «Полтаваобленерго» [21]. Станом на 2026 рік тариф для споживачів другого класу напруги становить 14,17098 грн/кВт·год з ПДВ. Результати розрахунку наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Місяць	Споживання електроенергії, кВт·год	Вартість електроенергії, грн	Місяць	Споживання електроенергії, кВт·год	Вартість електроенергії, грн
Січень	2672	37 867,26	Липень	431	6107,69
Лютий	1849	26 201,14	Серпень	460	6518,65
Березень	1194	16 919,55	Вересень	504	7141,17
Квітень	670	9 494,56	Жовтень	1559	22089,86
Травень	486	6 887,10	Листопад	1678	23776,50
Червень	339	4 803,96	Грудень	1760	24941,92
Разом за рік				<b>13120</b>	<b>192749,36</b>

Відповідно до проведених розрахунків, річна вартість спожитої електричної енергії для бази відпочинку становить приблизно 192,7 тис. грн.

Отримані результати свідчать про значні експлуатаційні витрати на електропостачання об'єкта, що підтверджує доцільність використання сонячної електростанції для часткового покриття електричних навантажень та зменшення витрат на електроенергію.

					КРБ.141ЕЕБд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2 Вартість встановлення сонячної електростанції

Вартість сонячної електростанції складається з вартості основного та допоміжного обладнання, вартості монтажних та пусконаладжувальних робіт та витрат на проектування системи.

До основного обладнання сонячної електростанції, підбраного у розділі 3, належать фотоелектричні модулі; акумуляторні батареї; МРРТ-контролери; гібридний інвертор. Крім основного обладнання, для забезпечення стабільної та безпечної роботи сонячної електростанції необхідно передбачити встановлення кабельної продукції, автоматичних вимикачів, захисної автоматики, системи заземлення, кріплень для сонячних панелей та інших допоміжних елементів.

Вартість основного обладнання для сонячної електростанції об'єкта наведена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вартість основного обладнання сонячної електростанції

Обладнання	Кількість, шт	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна панель 200 Вт	54	2500	135000
Акумуляторна батарея 2 В 960 А·год	144	18500	2664000
МРРТ-контролер 100 А	6	32000	192000
Гібридний інвертор Deye 15 кВт	1	185000	185000
Кабельна продукція, автоматика, кріплення	–	–	160000
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	–	–	280000
Проектні роботи	–	–	85000
<b>Разом</b>			<b>3701000</b>

Згідно з виконаними розрахунками, орієнтовна вартість встановлення автономної сонячної електростанції для бази відпочинку становить приблизно 3,7 млн грн.

Найбільшу частку витрат складають акумуляторні батареї, що пояснюється необхідністю забезпечення автономної роботи системи у нічний час та в періоди

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недостатньої сонячної активності. Значні витрати також припадають на інверторне обладнання та системи керування зарядом акумуляторних батарей.

Слід зазначити, що початкові капітальні витрати на встановлення сонячної електростанції є досить високими, однак у процесі експлуатації система дозволяє суттєво зменшити витрати на споживання електричної енергії та підвищити енергетичну незалежність об'єкта.

Основними перевагами впровадження сонячної електростанції є:

- зменшення витрат на електроенергію;
- підвищення енергонезалежності об'єкта;
- забезпечення резервного електроживлення;
- можливість автономної роботи при аварійних відключеннях електроенергії;
- зниження негативного впливу на навколишнє середовище;
- підвищення надійності системи електропостачання бази відпочинку.

Крім економічного ефекту, використання сонячної електростанції має важливе екологічне значення, оскільки дозволяє скоротити споживання електроенергії, виробленої традиційними способами, та зменшити викиди парникових газів у атмосферу.

Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність впровадження сонячної електростанції для електропостачання бази відпочинку.

### **4.3 Охорона праці при встановленні сонячних панелей**

Під час встановлення сонячних панелей необхідно дотримуватись вимог охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки. Монтаж фотоелектричних модулів пов'язаний із виконанням робіт на висоті, використанням електроінструменту та роботою з електрообладнанням, що створює потенційну небезпеку для працівників. Організація та виконання монтажних робіт повинні

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюватися відповідно до вимог чинного законодавства України та нормативно-технічної документації, зокрема:

Закону України «Про охорону праці»;

- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [22];
- НПАОП 0.00-1.15-07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті» [23];
- Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [8];
- ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [24];
- ДСТУ EN 62446 щодо вимог до випробувань, документації та технічного обслуговування фотоелектричних систем [25];
- Правил пожежної безпеки в Україні [26].

Відповідно до вимог нормативних документів, до виконання монтажних робіт допускаються лише працівники, які пройшли вступний та первинний інструктаж з охорони праці; навчання та перевірку знань з електробезпеки; медичний огляд; спеціальне навчання для виконання робіт на висоті.

Працівники, які виконують електромонтажні роботи, повинні мати відповідну групу з електробезпеки та бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з вимогами НПАОП та ДСТУ. До виконання монтажних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам виконання робіт, перевірку знань з електробезпеки.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту спецодягом, захисним взуттям, діелектричними рукавицями, захисними окулярами, монтажними поясами та страхувальними канатами при роботі на висоті.

Монтаж сонячних панелей повинен виконуватися лише за сприятливих погодних умов. Забороняється проводити роботи під час дощу, грози, сильного вітру

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або ожеледиці, оскільки це підвищує ризик травмування працівників та пошкодження обладнання.

Під час виконання електромонтажних робіт необхідно:

- використовувати справний інструмент із ізольованими ручками;
- перевіряти відсутність напруги перед підключенням обладнання;
- не допускати пошкодження ізоляції кабелів;
- виконувати заземлення металевих конструкцій та

електрообладнання.

Особливу увагу під час монтажу сонячних панелей необхідно приділяти роботам на висоті, оскільки більшість фотоелектричних модулів встановлюється на покрівлях будівель або спеціальних металевих конструкціях. Виконання таких робіт пов'язане з підвищеним ризиком падіння працівників, інструменту або елементів конструкцій. Саме тому всі монтажні роботи повинні проводитися відповідно до вимог правил охорони праці під час виконання робіт на висоті.

Драбини, риштування та монтажні платформи повинні бути справними, стійкими та надійно закріпленими. Забороняється використовувати пошкоджені або нестійкі конструкції. Працівники зобов'язані застосовувати страхувальні пояси, канати та інші засоби індивідуального захисту, що запобігають падінню з висоти. Під час пересування по покрівлі необхідно дотримуватись безпечної дистанції від краю даху та уникати виконання робіт у місцях із слизькою або пошкодженою поверхнею.

Монтаж фотоелектричних модулів повинен виконуватися щонайменше двома працівниками, що дозволяє підвищити безпеку виконання робіт та забезпечити контроль за дотриманням вимог охорони праці. Інструмент, який використовується під час монтажу, необхідно надійно закріплювати або переносити у спеціальних сумках, щоб уникнути його падіння з висоти.

Важливе значення має також забезпечення пожежної безпеки під час монтажу та експлуатації сонячної електростанції. Для запобігання виникненню пожеж необхідно не допускати коротких замикань у електричних колах; використовувати

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичні вимикачі та плавкі запобіжники відповідного номіналу; забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння; не проводити монтажні роботи поблизу легкозаймистих речовин та матеріалів; контролювати якість контактних з'єднань та стан ізоляції кабелів.

Особливу увагу слід приділяти правильності прокладання кабельних ліній. Кабелі повинні бути захищені від механічних пошкоджень, ультрафіолетового випромінювання та впливу атмосферних опадів. Місця з'єднань необхідно виконувати у герметичних коробках із відповідним ступенем захисту.

Після завершення монтажу сонячної електростанції необхідно провести комплексну перевірку системи. Перевіряється надійність кріплення фотоелектричних модулів; правильність електричних підключень; працездатність інвертора та контролерів заряду; наявність і справність заземлення; відповідність параметрів напруги та струму розрахунковим значенням.

Також проводиться пробний запуск системи та контроль її роботи під навантаженням. Лише після успішного завершення всіх перевірок сонячна електростанція допускається до експлуатації. Дотримання вимог охорони праці під час встановлення сонячних панелей дозволяє знизити ризик виробничого травматизму, забезпечити безпечні умови праці та надійну роботу сонячної електростанції.

Монтаж фотоелектричних модулів (ФЕМ) на покрівельних конструкціях будівель бази відпочинку класифікується як робота з підвищеною небезпекою. Згідно з вимогами нормативного документа НПАОП 0.00-1.15-07, процес встановлення масиву сонячних панелей потребує суворого дотримання комплексних заходів безпеки.

Організація робочого процесу передбачає допуск до монтажних операцій осіб віком від 18 років, які пройшли обов'язковий медичний огляд, спеціалізоване навчання та відповідні інструктажі з питань охорони праці. Весь персонал має бути забезпечений засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), що включають запобіжні

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пояси (страхувальні системи), захисні каски, окуляри та спеціальне взуття з антиковзною підошвою.

Специфіка використання панелей вимагає врахування їхніх конструктивних особливостей, зокрема значної площі одиничного модуля (понад 2 м<sup>2</sup>). Висока парусність виробів робить неможливим проведення монтажних робіт при швидкості вітру понад 10 м/с через критичний ризик падіння працівника разом із обладнанням. Особливу увагу слід приділяти електробезпеці: оскільки ФЕМ починають генерувати постійний струм одразу після потрапляння сонячного випромінювання на фотоелементи, комутація роз'ємів типу MC4 повинна здійснюватися виключно із застосуванням діелектричного інструменту. Категорично забороняється роз'єднувати контактні з'єднання під навантаженням. Крім того, з метою забезпечення власної безпеки та збереження цілісності обладнання, монтажникам забороняється ставати ногами на скляну поверхню модулів, що запобігає ковзанню та виникненню мікротріщин у структурі напівпровідника.

Технічне забезпечення робіт передбачає використання сертифікованих підйомних механізмів або лебідок для транспортування модулів на висоту, оскільки ручне піднімання панелей по приставних драбинах є недопустимим. Перед початком монтажу опорні конструкції та напрямні рейки проходять перевірку на механічну міцність. При виконанні операцій на похилих поверхнях дахів обов'язковим є застосування страхувальних канатів, надійно закріплених до анкерних точок.

Робочий процес підлягає негайній зупинці у разі погіршення погодних умов: наближення грози, виникнення ожеледиці, сильного туману або опадів. Це обумовлено ризиком ураження блискавкою на відкритих ділянках покрівлі, а також критичним зниженням адгезії поверхонь, що створює загрозу травматизму персоналу.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок по розділу 4

У розділі було виконано економічне обґрунтування впровадження сонячної електростанції для бази відпочинку. У розділі також розглянуто питання охорони праці та техніки безпеки під час монтажу й експлуатації сонячної електростанції.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто питання проєктування системи електропостачання із використанням сонячної електростанції. У ході виконання роботи проведено аналіз сучасного стану відновлюваної енергетики та визначено перспективність застосування сонячних електростанцій для автономного та резервного електропостачання віддалених об'єктів.

У роботі виконано аналіз системи електропостачання бази відпочинку, визначено структуру та характер електричних навантажень, а також проведено розрахунок встановленої та розрахункової потужності електроприймачів. Встановлено, що загальна встановлена потужність об'єкта становить 26,04 кВт, а розрахункова повна потужність - 10,069 кВА.

На основі аналізу кліматичних умов Полтавської області та показників сонячної інсоляції виконано розрахунок параметрів сонячної електростанції. У результаті було обґрунтовано вибір монокристалічних фотоелектричних модулів, визначено необхідну кількість сонячних панелей, параметри інвертора, МРРТ-контролера та акумуляторних батарей. Проведені розрахунки показали, що встановлення сонячної електростанції дозволяє забезпечити значну частину потреб об'єкта в електричній енергії та підвищити надійність електропостачання.

Також у роботі виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту та розглянуто питання охорони праці під час монтажу і експлуатації обладнання сонячної електростанції. Визначено, що впровадження системи є доцільним як з технічної, так і з економічної точки зору, особливо в умовах необхідності підвищення енергетичної незалежності та зниження навантаження на централізовані електричні мережі.

Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні автономних або резервних систем електропостачання для баз відпочинку, рекреаційних комплексів та інших віддалених об'єктів.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Відновлювані джерела енергії. За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с..
2. 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.
3. Енергетика України: сучасні тенденції та виклики <https://ranok-portal.com.ua/publikatsii/energetyka-ukrayiny-suchasni-tendencziyi-ta-vyklyky/>
4. Приходько, І., Ігнатишин , В., & Приходько , Ю. (2024). Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі. *Економіка та суспільство*, (62). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-47>
5. Посібник з сонячних фотоелектричних технологій. *Бизнес-дизайн форма*. URL: [https://bdf.gov.ua/wp-content/uploads/2023/09/2023-08-01-Solar-PV-technology-manual\\_UKR-2.pdf](https://bdf.gov.ua/wp-content/uploads/2023/09/2023-08-01-Solar-PV-technology-manual_UKR-2.pdf) (дата звернення: 02.04.2026).
6. Сінчук І. О., Бойко С. М. Системи накопичення електричної енергії : підручник / за ред. О. М. Сінчука. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 312 с. URL: <https://aespt.knu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/Системи-накопичення-електричної-енергії.pdf> (дата звернення: 02.04.2026).
7. Касаткіна І. В., Бойко С. М., Вишневський С. Я. Джерела живлення, накопичення електричної енергії та альтернативні енергоресурси для транспортних засобів : навч. посіб. Варшава : iScience Sp. z.o.o., 2023. 140 с. URL: [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Kasatkina\\_2023\\_140.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Kasatkina_2023_140.pdf) (дата звернення: 02.01.2026).
8. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків : Форт, 2017. 760 с.
9. Кудрін Б. І. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Київ : Вища школа, 2006. 447 с.
10. Мілих В. І., Павленко Т. П. *Електропостачання промислових підприємств* : підручник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Козирський В. В., Волошин С. М. *Основи електропостачання* : підручник. Київ : Компринт, 2021. 527 с.

12. Коліушко Д. Г., Асмолова Л. В. *Проектування систем електропостачання промислових підприємств* : навчально-методичний посібник. Харків : ПромАрт, 2021. 96 с.

13. Photovoltaic Geography Information System (PVGIS). European Commission, Joint Research Centre. URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) (дата звернення: 22.04.2026).

14. Гаєвський О. Ю. *Фотоенергетика. Частина I. Сонячна радіація і фотоелектричні модулі* : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 150 с.

15. *Фотоенергетика* : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.

16. ТОВ «СЛ-ЕНЕРГІЯ». Тягові акумуляторні батареї SUNLIGHT [Електронний ресурс]. Режим доступу: [SL-Energy - офіційний дистриб'ютор SUNLIGHT в Україні](#) (дата звернення: 11.05.2026).

17. Victron Energy. Контролер заряду SmartSolar MPPT 250/100-Tr VE.Can [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://utem.org.ua/ua/products/kontrolery\\_zaryadu\\_Victron\\_Energy\\_SmartSolar\\_MPPT\\_250-100-Tr\\_VE.Can](https://utem.org.ua/ua/products/kontrolery_zaryadu_Victron_Energy_SmartSolar_MPPT_250-100-Tr_VE.Can) (дата звернення: 11.05.2026).

18. Гібридний трифазний інвертор Deye SUN-12K-SG04LP3-EU : техн. характеристики. *Atmosfera* — дистриб'ютор сонячних технологій. URL: <https://atmosfera.ua/uk/product/sun-12k-sg04lp3-eu/> (дата звернення: 11.05.2026).

19. *Економіка енергетики* : підручник / О. В. Кириленко, С. П. Денисюк та ін. ; за ред. О. В. Кириленка. - Київ : НТУУ «КПІ», 2018 (або новіше видання). - 608 с.

20. Ткаченко Н.М., Кулінченко В.Р. *Економіка підприємств енергетичного комплексу*: Підручник/Н.М. Ткаченка, В.Р. Кулінченко. - К.: Алерта, 2017. - 336 с.

21. АТ «Полтаваобленерго» : офіційний сайт. URL: <https://www.poe.pl.ua/> (дата звернення: 11.05.2026)

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4. Київ : Основа, 1998. 384 с.

23. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті : затв. наказом Держгірпромнагляду України від 27.03.2007 № 62. Київ : Форт, 2007. 104 с.

24. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення (Інженерне обладнання будинків і споруд). Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 160 с.

25. ДСТУ EN 62446-1:2019 (EN 62446-1:2016, IDT). Фотоелектричні системи. Вимоги до випробування, документації та технічного обслуговування. Частина 1. Системи, підключені до мережі. Документація, випробування під час приймання та перевіряння. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 42 с.

26. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні : затв. наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. Київ : МВС України, 2014. 145 с.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ	Арку
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Місце встановлення	Електроприймач	К-сть, шт	$P_{ном}$ , Вт	$P_{уст}$ , Вт	$K_c$	$K_i$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
Світильник вуличний (ДРЛ)	1	250	250	1	1	0,55	1,518	0,250	0,380	0,455	2,07	A
Водонагрівач (проточний)	1	2000	2000	0,4	0,2	1,0	0	0,400	0	0,400	1,82	B
Чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,0	0	0,720	0	0,720	3,27	C
Конвектор переносний	1	2000	2000	0,5	0,7	1,0	0	0,700	0	0,700	3,18	A
Світильник (ЛН Е27)	7	20	140	0,8	0,8	0,95	0,329	0,090	0,030	0,095	0,43	B
Трансформатор 220/36	1	250	250	0,7	0,5	0,8	0,750	0,088	0,066	0,110	0,50	C
Насос	1	250	250	1	0,6	0,75	0,882	0,150	0,132	0,200	0,91	B
Разом по Лазні			6090					2,398	0,608	2,474		
Будинки для відпочиваючих												
LED-прожектори	5	30	150	0,8	0,8	0,95	0,329	0,096	0,032	0,101	0,46	A
Світильник (ЛН Е27)	10	20	200	0,8	0,8	0,95	0,329	0,128	0,042	0,135	0,61	B
Водонагрівач (проточний)	1	1000	1000	0,4	0,2	1,0	0	0,200	0	0,200	0,91	C
Холодильник	2	200	400	1	0,8	0,65	1,169	0,320	0,374	0,492	2,24	A
Чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,0	0	0,720	0	0,720	3,27	B
Світильник люмінесцентний	6	42	252	0,8	0,8	0,95	0,329	0,161	0,053	0,170	0,77	C
Разом по Будинках			3202					1,625	0,501	1,700		