

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 системи комбінованого енергопостачання на базі
сонячних і дизельних установок»**
КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Електротехніка, електроенергетика та
електромеханіка
спеціальності 141 Електротехніка,
електроенергетика та електромеханіка
ступеня вищої освіти бакалавр
групи 141ЕЕбд_41
Шумейко Максим Михайлович
Керівник: канд. техн. наук, доцент
Басова Юлія Олександрівна

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** ШУМЕЙКО Максим Михайлович

1 Тема роботи: «Розробка системи комбінованого енергопостачання на базі сонячних і дизельних установок»,

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. *Застосування системи комбінованого енергопостачання*

Розділ 4. *Економіка та охорона праці*

5 Перелік графічного матеріалу: *схема об'єкта; схема генерації, електрична схема 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 _____ Максим ШУМЕЙКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Юлія БАСОВА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 2 додатки, 16 таблиць, 7 рисунків, 43 використаних джерел, 56 сторінок.

Об'єкт дослідження – система автономного енергозабезпечення віддаленого житлового будинку.

Предмет дослідження – технічні рішення та методика розрахунку параметрів комбінованої сонячно-дизельної енергоустановки.

Мета роботи – розробка системи автономного енергопостачання на базі сонячних і дизельних установок для забезпечення безперебійного живлення побутових споживачів.

Практична значимість та реалізація досліджень полягає у підборі обладнання для гібридних систем живлення. У роботі виконано розрахунок добового споживання, визначено необхідну кількість сонячних панелей та ємність акумуляторного блоку, обґрунтовано вибір дизель-генератора як резервного джерела, що дозволяє впровадити дану систему для приватних домогосподарств.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд ринку відновлюваної енергетики, розглянуто особливості побудови сонячно-дизельних систем, наведено класифікацію фотоелектричних модулів, дизельних генераторів та сучасних типів акумуляторних батарей.

У **другому розділі** виконано практичні розрахунки: обрано об'єкт, розраховано пікове навантаження, визначено параметри сонячного масиву та ємність накопичувачів. Обґрунтовано методику вибору інвертора та контролера.

У **третьому розділі** розглянуто питання застосування обладнання, описано принципову електричну схему системи, особливості роботи двоспрямованого інвертора та інтеграцію дизельного генератора через випрямляч.

У **четвертому розділі** подано техніко-економічний розрахунок та приділено увагу заходам з охорони праці та техніки безпеки при монтажі й експлуатації установки.

Практичні результати роботи – розроблені технічні специфікації та схеми з'єднань, що можуть бути використані при проєктуванні автономних систем енергозабезпечення для приватних та малих сільськогосподарських об'єктів.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – для практичного впровадження при створенні систем енергонезалежності в умовах нестабільної роботи централізованих мереж або повної автономії.

Сфера застосування результатів роботи – проєктування автономних джерел живлення для віддалених домогосподарств малих сільськогосподарських об'єктів.

Текст роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень за допомогою системи "StrikePlagiarism" та є оригінальним на 98,57 %.

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті розглянуто питання проектування комбінованої системи енергопостачання на базі сонячної та дизельної установок. Проведено аналіз кліматичних умов Полтавської області, виконано розрахунок балансу споживання та генерації електричної енергії. Здійснено вибір фотоелектричних модулів, розраховано блок акумуляторних батарей для забезпечення автономності в нічний час та підібрано потужність дизель-генератора для покриття дефіциту енергії в зимовий період. Окрема увага приділена підвищенню надійності системи та безпеці її експлуатації. Результати роботи мають практичне значення для підвищення енергетичної незалежності приватних об'єктів

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР, ГІБРИДНА СИСТЕМА, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ІНВЕРТОР, АВТОНОМНЕ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ МОДУЛЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ABSTRACT

The graduation project deals with the design of a combined power supply system based on solar and diesel units. An analysis of the climatic conditions of the Poltava region was conducted, and the balance of electrical energy consumption and generation was calculated. The selection of photovoltaic modules was carried out, the storage battery unit was calculated to ensure autonomy at night, and the capacity of the diesel generator was selected to cover the energy deficit during the winter period. Special attention is paid to increasing the system reliability and the safety of its operation. The results of the work have practical significance for increasing the energy independence of private facilities

SOLAR ENERGY, DIESEL GENERATOR, HYBRID SYSTEM, STORAGE BATTERY, INVERTER, STAND-ALONE POWER SUPPLY, PHOTOVOLTAIC MODULE, OCCUPATIONAL SAFETY.

7ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1 Особливості сонячно-дизельних систем	9
1.2 Види сонячних фотоелектроустановок, їх характеристика	10
1.3 Види дизельних генераторів та їх характеристики	12
1.4 Види акумуляторів та їх характеристики	15
Висновок до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ	18
2.1 Вибір об'єкта енергозабезпечення	18
2.2 Розрахунок пікової потужності	19
2.3 Розрахунок споживаної енергії	20
2.4 Розрахунок сонячного модуля	21
2.5 Методика вибору інвертора	24
2.6 Розрахунок ємності та вибір акумуляторних батарей	25
2.7 Вибір контролера заряду	28
Висновки до розділі 2	30
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ З ДИЗЕЛЬНИМ ГЕНЕРАТОРОМ	31
3.1 Методика вибору дизельного генератора	31
3.2 Схеми сонячно-дизельної системи	33
3.3 Характеристики обладнання сонячно-дизельної системи	34
3.4 Електрична схема сонячно-дизельної системи	40
Висновки до розділі 3	41

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Шумейко М.М.			Кваліфікаційна робота	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Басова Ю.О.				н	5	68
Керівник		Басова Ю.О.				ПДАУ, 2026 р.		
Н. контр.		Басова Ю.О.						
Затверд.		Попов С.В.						

РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ	42
4.1 Економічна частина	42
4.2 Охорона праці	45
Висновки до розділі 4	46
ВИСНОВКИ	47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	48
ДОДАТКИ	55

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Сучасна енергетична криза, спричинена зростанням цін на паливно-енергетичні ресурси, зношеністю електричних мереж, а також воєнними та техногенними ризиками, зумовлює необхідність пошуку надійних та автономних джерел енергозабезпечення. Особливо гостро проблема стоїть для об'єктів критичної інфраструктури, сільськогосподарських підприємств, віддалених споживачів та промислових установок, де перерви в електропостачанні призводять до значних економічних втрат.

У цих умовах незалежні (автономні) системи електропостачання стають важливим елементом енергетичної безпеки та стабільності функціонування споживачів. У порівнянні з іншими варіантами автономного енергопостачання, сонячно-дизельні установки є оптимальним рішенням для забезпечення надійного та економічно доцільного електропостачання в умовах енергетичної кризи. Їх застосування сприяє підвищенню енергетичної безпеки, зниженню залежності від традиційних паливних ресурсів та впровадженню сучасних енергоефективних технологій.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – розробка системи автономного енергопостачання на базі сонячних і дизельних установок для забезпечення безперебійного живлення побутових споживачів.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі **завдання**:

- проаналізовано сучасні автономні системи енергопостачання;
- здійснено вибір типу фотоелектричних модулів та резервного джерела живлення;
- проведено розрахунок пікового навантаження та добового споживання електроенергії;
- визначено необхідну кількість сонячних модулів;
- проведено розрахунок ємності акумуляторного блоку;

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– здійснено вибір інвертора, контролера заряду та дизельного генератора та розроблено електричну схему системи;

– проведено оцінку економічної ефективності запропонованого рішення.

Об'єкт і предмет дослідження. **Об'єкт дослідження** – система автономного енергозабезпечення віддаленого житлового будинку. **Предмет дослідження** – технічні рішення та методика розрахунку параметрів комбінованої сонячно-дизельної енергоустановки.

Методи дослідження. Використано методи електротехнічного та енергетичного розрахунку, аналізу нормативної документації.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проектування автономних систем електропостачання для приватних будинків та малих сільськогосподарських об'єктів.

Апробація результатів. Результати роботи оприлюднено у тезах доповідей: Басова Ю. О., Шумейко М. М. «Обґрунтування вибору схем підключення фотоелектричних модулів у сонячних енергетичних системах» (м. Полтава, ПДАУ, 2026 р.).

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить таблиці і рисунки.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Особливості сонячно-дизельних систем

До найбільш поширених варіантів автономного енергозабезпечення належать: дизельні електростанції, сонячні фотоелектричні установки, газопоршневі та газотурбінні установки, акумуляторні системи зберігання енергії [1-4].

Найбільш ефективним рішенням в умовах енергетичної кризи є комплексне використання сонячних фотоелектричних установок у поєднанні з дизельними генераторами [5, 6]. Такий підхід поєднує переваги відновлюваних і традиційних джерел енергії та дозволяє мінімізувати їхні недоліки .

Основні переваги сонячно-дизельних установок полягають у наступному:

- підвищення надійності електропостачання, оскільки дизельний генератор виконує функцію резервного джерела в періоди недостатньої сонячної генерації;
- зниження споживання дизельного палива, що особливо важливо в умовах дефіциту та високої вартості паливних ресурсів;
- зменшення експлуатаційних витрат та подовження ресурсу дизельного генератора за рахунок його роботи лише в пікові або аварійні періоди;
- покращення екологічних показників завдяки частковому переходу на відновлювану енергію та зниженню викидів CO₂;
- гнучкість та масштабованість системи, що дозволяє адаптувати її до потреб конкретного споживача;
- підвищення енергетичної незалежності від централізованих мереж та зовнішніх постачальників енергоносіїв.

Однією з основних властивостей сонячного випромінювання є його непостійність, яка обумовлюється зміною пори року і доби, а також погодними

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовами. Тому, що сонячна система енергозабезпечення має бути обладнана додатковим джерелом енергії. Для сонячних систем, що застосовуються для забезпечення електропостачання віддалених споживачів, застосовують дизельну установку, яка виступає в ролі резервного джерела енергії.

В умовах відсутності централізованої системи електрозабезпечення для забезпечення енергією віддалених споживачів дизельний генератор особливо добре підходить.

Слід зазначити, що в системах, де використовуються сонячні батареї і дизельний генератор, велика частка електричної енергії надходить від фотоелектричних модулів. Дизельна установка здійснює покриття відсутніх піків енергії в ті періоди, коли від фотоелектричних модулів електричної енергії, що надходить, недостатньо. Такі періоди можуть спостерігатися в похмуру або хмарну погоду, а також у вечірні години. Надлишок електричної енергії, отриманої від дизельної установки, накопичується в акумуляторах.

1.2 Види сонячних фотоелектроустановок, їх характеристика

Сонячні фотоелектричні установки (СЕС) – це системи, що перетворюють сонячне світло на електроенергію за допомогою сонячних панелей (фото елементів) та іншого обладнання (інвертор, кріплення), працюючи за принципом фотоефекту для живлення будинків, бізнесів, чи для продажу за "зеленим" тарифом, буваючи автономними, мережевими (підключеними до загальної мережі) або гібридними, що поєднують функції обох типів. [5, 6, 7]

Ефективність фотоелектричної системи характеризує скільки енергії сонця буде перетворено на електрику. Середній ККД фотоелектричних батарей по галузі знаходиться в межах 19%. Насамперед цей показник залежить від їхнього типу - монокристалічні батареї забезпечують ККД 21-23%, полікристалічні -18-19% [8].

Сонячна фотоелектрична технологія, також відома як сонячні панелі, є технологією відновлюваної енергії, яка перетворює сонячне світло в

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроенергію. Технологія складається з двох ключових компонентів: сонячних фотоелектричних панелей та інвертора. Сонячні фотоелектричні панелі виробляють електроенергію під дією сонячного світла. Роль сонячної фотоелектричної панелі полягає в тому, щоб уловлювати сонячне світло та перетворювати його на постійний струм. Зазвичай панелі встановлюють на дахах або в інших прийнятних місцях, куди потрапляє максимальна кількість сонячного світла. Інвертор є надзвичайно важливим компонентом сонячної фотоелектричної системи. Його основна функція полягає в тому, щоб перетворювати електроенергію постійного струму, що виробляється панелями, в електроенергію змінного струму – саме цей тип електроенергії використовується в більшості домогосподарств і на підприємствах. Види сонячних панелей наведена у таблиці 1.1. [5, 8].

Таблиця 1.1 – Види сонячних панелей та їх характеристика

Тип сонячних панелей	Коротка характеристика	Переваги	Недоліки
Монокристалічні (Mono-Si)	Виготовляються з монокристалічного кремнію; мають однорідний темний (чорний) колір.	Висока ефективність перетворення; стабільна робота при слабкому освітленні; тривалий термін експлуатації.	Вища вартість порівняно з іншими типами; чутливість до затінення.
Полікристалічні (Poly-Si)	Складаються з кількох кристалів кремнію; мають характерний блакитний плямистий вигляд.	Нижча вартість; простота виробництва; широке застосування у побутових та комерційних СЕС.	Нижча ефективність порівняно з монокристалічними панелями; більша площа для отримання тієї ж потужності.

Продовження табл. 1.1

Тонкоплівкові	Виготовляються шляхом нанесення тонкого шару напівпровідникового матеріалу на скло, метал або пластик.	Низька маса; гнучкість; краща робота при розсіяному світлі та високих температурах.	Нижча ефективність; потребують більшої площі; обмежене поширення на ринку України.
Двосторонні (bifacial)	Здатні поглинати сонячне випромінювання з лицьової та зворотної сторін завдяки прозорому задньому шару.	Підвищена генерація електроенергії; ефективні при установці на світлих або відбивних поверхнях.	Вища вартість; вимогливість до умов монтажу та альbedo поверхні.
Сонячні панелі з концентратором (CPV)	Використовують лінзи або дзеркала для концентрації сонячного світла на невеликій площі фотоелементів.	Дуже висока ефективність за оптимальних умов; зменшення кількості напівпровідникового матеріалу.	Складна конструкція; потребують системи точного стеження за Сонцем; застосовуються переважно на великих СЕС.
Інтегровані фотоелектричні системи (BIPV)	Фотоелектричні елементи інтегруються безпосередньо в конструктивні елементи будівель (дахи, фасади, вікна).	Поєднання енергогенерації та будівельних функцій; естетичний вигляд; економія простору.	Вища вартість; складність проектування та монтажу; обмежена стандартизація.

1.3 Види дизельних генераторів та їх характеристики

В основі роботи дизельного генератора використовують дизельний двигун. Цей двигун надає руху асинхронний чи синхронний генератор. З'єднання генератора і двигуна виконано безпосередньо фланцем або через сполучну муфту. Здійснити запуск двигуна можна в автоматичному режимі або вручну за допомогою електростартера [9-11].

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У системах енергозабезпечення дизельні установки можуть застосовуватися як основного джерела електричної енергії, так і як резервного. Дизельні установки мають великий ресурс роботи.

Усі дизельні установки ділять на асинхронні та синхронні. Синхронні дизельні генератори характеризуються високою стабільністю вихідної напруги, що є основною перевагою дизельних установок такого типу. Слід зазначити, що синхронні дизельні генератори мають недоліки, з яких основним є можливість перевантаження по струму. Виникнення перевантаження по струму можливе при підвищеному навантаженні, це веде до того, що регулятор може підвищити струм в обмотці ротора. Так само важливим недоліком дизельних установок синхронного типу є наявність щіткового вузла. Наявність такого вузла потребує постійного обслуговування. Синхронні дизельні генератори мають високу стабільність вихідної напруги, яка не залежить від зміни оборотів двигуна або струму навантаження, і коливається в межах 1% [9].

В основі дизельного асинхронного генератора лежить робота асинхронного двигуна в режимі гальмування. У такому асинхронному дизельному генераторі обертання ротора йде з випередженням, але в тому ж напрямку, що магнітне поле статора. Асинхронний генератор простий у виконанні, має нижчу вартість порівняно із синхронними дизельними генераторами та характеризується меншою чутливістю до коротких замикань, проте через певні особливості експлуатації такі установки застосовуються менш широко. Це обумовлено насамперед тим, що асинхронні дизельні генератори споживають струм, що намагнічує, значної сили, крім цього вони показують погану надійність у різних складних і екстремальних ситуаціях [9].

По фазам усі дизельні генератори можна розділити на дві групи: однофазні та трифазні генератори змінного струму. Як правило, однофазні дизельні генератори застосовують у тих системах енергозабезпечення, де є лише однофазні споживачі електроенергії. У тих випадках, коли в системі енергозабезпечення є трифазним

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачем електричної енергії, то найбільш оптимальним буде встановлення трифазного дизельного генератора [9, 12, 13].

Класифікація дизельних генераторів наведено у таблиці 1.2 [12, 13].

Таблиця 1.2 – Класифікація видів електрогенераторів

Класифікаційна ознака	Вид генератора	Характеристика та сфера застосування
За типом палива	Бензинові	Легкі та компактні, зручні для короткочасного використання; широко застосовуються в побуті та для резервного живлення малопотужних споживачів.
	Дизельні	Відрізняються високою надійністю та витривалістю; придатні для тривалої безперервної роботи як основне або резервне джерело електропостачання.
	Газові (пропан/природний газ)	Екологічно безпечніші та економічніші порівняно з дизельними; доцільні для стаціонарних систем електропостачання.
За принципом роботи	Сонячні	Працюють на основі фотоелектричних панелей; забезпечують екологічно чисте виробництво електроенергії, але залежать від погодних умов.
	Інверторні	Компактні, формують стабільну синусоїдальну напругу; рекомендовані для живлення чутливої електроніки (комп'ютери, сервери, медичне обладнання).
	Синхронні	Мають обмотки збудження на роторі; складніші за конструкцією, але здатні витримувати значні пускові навантаження.
	Асинхронні	Простішої конструкції та дешевші; часто безщіткові, стійкі до перевантажень і складних умов експлуатації.

Продовження табл. 1.2

За типом напруги	Однофазні (220–230 В)	Призначені для побутових споживачів та малопотужного обладнання; зазвичай портативні.
	Трифазні (380–400 В)	Використовуються для промислових установок та потужного електрообладнання; переважно дизельні.
За мобільністю	Портативні	Призначені для тимчасового використання та транспортування; застосовуються в побуті та на виїзних роботах.
	Стаціонарні	Встановлюються на постійній основі; забезпечують електроживлення будівель і промислових об'єктів.
За функціональним призначенням	Комбіновані	Працюють на декількох видах палива, що підвищує гнучкість та надійність енергопостачання.
	Зварювальні	Поєднують функції генератора та зварювального апарата; застосовуються на будівельних і ремонтних роботах.

1.4 Види акумуляторів та їх характеристики

Способи накопичення енергії дуже різноманітні. Так, запаси енергію можна в механічних пристроях, які являють собою маховики. Можливе накопичення у водневих накопичувачах за допомогою запасання та окислення водню в паливних елементах. Запас енергії в гідравлічних системах можливий за допомогою закачування та спуску води через гідротурбіну. Так само енергію запасують і в різних видах хімічних акумуляторів, наприклад, лужних, літій-іонних, кислотних [9, 14].

Акумулятором називають багаторазове хімічне джерело струму, що використовується багаторазово [14]. Акумулятор здійснює накопичення електричної енергії для її подальшого використання у системах енергопостачання. Акумуляторною батареєю називається кілька послідовно-з'єднаних в один ланцюг акумуляторів. Система, що складається з декількох акумуляторних батарей,

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з'єднаних паралельно в один ланцюг називається блоком акумуляторних батарей [14].

В основі роботи акумулятора лежать окислювально-відновлювальні реакції, або оборотні хімічні процеси. При розряді акумулятора, відновлення його заряду можливе при пропусканні струму в напрямку протилежному напрямку процесу розряду. Хімічний акумулятор складається з двох електродів, один з них позитивний і називається катодом, інший є негативним і називається анодом. Вони виконуються з різних металів і поміщені розчин електроліту чи кислоти.

Ємність є основною величиною акумулятора. Ємність - це така величина заряду, який повністю віддається зарядженим акумулятором під час процесу розряду до моменту появи найменшої допустимої напруги.

Основні типи акумуляторів та області їх застосування наведені у таблиці 1.3 [14, 15].

Таблиця 1.3 – Основні типи акумуляторів та області їх призначення

Тип акумулятора	Призначення	Ключові особливості
Свинцево-кислотні (Pb-acid)	Автомобілі (стартерні), системи безперебійного живлення (ДБЖ), електронавантажувачі.	Потужні, але важкі. Варіанти AGM та GEL є герметичними, не потребують обслуговування та стійкі до екстремальних температур.
Літій-іонні (Li-ion)	Смартфони, ноутбуки, електромобілі, дрони, електроінструменти.	Висока енергоємність, легкі. Підходять для інтенсивної експлуатації та частих циклів.
Літій-полімерні (Li-Po)	Смартфони, ноутбуки, дрони, специфічні гаджети.	Варіант Li-ion з гнучкою формою (пастоподібний/твердий електроліт). Мають вищі розрядні струми.

Продовження табл. 1.3

Літій-залізо-фосфатні (LiFePO ₄)	Спеціалізовані системи живлення, що вимагають високої безпеки та тривалого терміну служби.	Довговічні, безпечніші за інші Li-ion (не спалахують), стійкі до критичних температур.
Нікель-метал-гідридні (Ni-MH)	Побутові пристрої (фотоапарати, іграшки), електромобілі (як екологічна альтернатива Ni-Cd).	Висока ємність, відсутність токсичних металів (кадмію).
Нікель-кадмієві (Ni-Cd)	Медичне обладнання, аварійне освітлення, будівельні інструменти.	Стабільна напруга, можуть функціонувати у широкому діапазоні температур, але містять кадмій (токсичний).

Висновок до розділу 1

У розділі розглянуто основні варіанти автономного енергозабезпечення, зокрема дизельні електростанції, сонячні фотоелектричні установки, газопоршневі та газотурбінні установки, а також акумуляторні системи зберігання енергії.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 2
РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

2.1 Вибір об'єкта енергозабезпечення

Об'єктом енергозабезпечення було обрано житловий одноповерховий будинок який знаходиться в м. Миргород Полтавської області, географічна широта якого становить близько 49° пн.ш. Цей регіон характеризується достатнім рівнем сонячної інсоляції. В роботі розглянуте енергозабезпечення житлового будинку з допомогою використання установок сонячної енергетики. Проект будинку представлений у додатку А. В таблиці 2.1. наведено найменування кімнат та їх площа, а також площа будинку.

Таблиця 2.1 – Найменування кімнат та їх площа

№	Найменування приміщення	Площа, м ²
1	Ганок	3,64
2	Тамбур	3,00
3	Передпокій	7,62
4	Технічні приміщення	5,33
5	Вітальня	29,00
6	Кухня їдальня	21,00
7	Хол	1,71
8	Комора	2,66
9	Туалет	1,77
10	Тераса	24,90
	Загальна площа будинку	80,29

Об'єкт обрано як типовий приватний житловий будинок, що є характерним для сільських і малих міських населених пунктів Полтавської області.

2.2 Розрахунок пікової потужності

Пікове споживання електричної енергії можна визначити, якщо відомо номінальну потужність, а також графіки роботи кожного електричного приладу. Розрахунок пікової потужності та графіка добового споживання може проводитися з обов'язковим урахуванням частки ймовірності або прогнозування, що пов'язано насамперед з непередбачуваністю графіка споживання електроенергії.

При розрахунку пікової потужності потрібно визначити потужність кожного електричного приладу, а також його час роботи. Електроприлад може використовуватися в той чи інший період доби: вранці, удень, увечері та вночі.

У таблиці 2.1 представлені найменування кімнат та їх площа, а також загальна площа будинку. Дані заносяться до таблиці 2.2, дані наводяться з певними припущеннями про ймовірний час роботи кожного електроприладу.

Таблиця 2.2 – Потужність електроприладів та миттєва споживана потужність

Електроприлад	Встановлена потужність P_i , Вт	Ранок	День	Вечір	Ніч
Телевізор	200	200	0	200	0
Ноутбук	80	0	0	80	0
Пральна машина	700	0	0	0	700
Мікрохвильова піч	1000	0	0	1000	0
Пилосос	1000	0	1000	0	0
Лампи люмінесцентні	60	60	0	60	0
Електричний чайник	800	800	0	800	0
Праска	800	800	0	0	0
Разом в пікове споживання	4640	1860	1000	2140	700
		P_p	P_d	P_v	P_n

Слід зазначити, що зазвичай значення реальної пікової потужності більшості об'єктів споживання у той чи інший час дня менше повної суми потужностей усіх приладів, що є на об'єкті. Це обумовлено тим, що, як правило, одночасно всі електричні прилади не включаються, проте слід взяти до уваги, що можливі винятки, які не слід забувати.

У розрахунку допускається формальне збільшення значення пікової потужності на різний час доби, що робиться з метою створення запасу за потужністю, а також через можливе збільшення електричного споживання у майбутньому

Пік споживання електричної енергії вранці, вдень, увечері та вночі знаходимо як суму потужностей електроприладів: ранок (P_p) – 1860 Вт; день (P_d) – 1000 Вт; вечір (P_v) – 2140 Вт; ніч (P_n) – 700 Вт.

Ці дані використовуються для розрахунку номінальної потужності інвертора P_i . Максимальна потужність за добу спостерігається у вечірній час $P_v = 2140$ Вт, отже, потужність обраного інвертора має бути $P_v > 2140$ Вт. З урахуванням запасу за потужністю приймаємо номінальну потужність інвертора P_i 3000 Вт

2.3 Розрахунок споживаної енергії

Значення споживаної електричної енергії протягом доби можна вирахувати, якщо скласти час використання того чи іншого електроприладу в ранку, денні, вечірні та нічні години, помножити значення, що вийшло, на величину номінальної потужності приладу [16-18]. Таким чином, будуть отримані дані про енергоспоживання того чи іншого електроприладу протягом доби. Дані про енергоспоживання приладів наведено у таблиці 2.3. Розрахунок виконано з урахуванням імовірного використання приладів.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Енергоспоживання приладів

Електроприлад	Встановлена потужність P_i , Вт	Час використання T_i , год				Споживання, Вт·год
		Ранок – 1 година	День – 10 годин	Вечір – 4 години	Ніч – 8 годин	
Телевізор	200	0,5	0	2	0	500
Ноутбук	80	0	0	2	0	160
Пральна машина	700	0	0	0	1	700
Мікрохвильова піч	1000	0,3	0	0,5	0	800
Пилосос	1000	0	0,5	0	0	500
Лампи люмінесцентні	60	1	0	2	0	180
Електричний чайник	800	0,2	0	0,2	0	320
Праска	800	0,2	0	0,2	0	320
Разом	4640	2,1	0,5	5,8	2	3480

Добове споживання об'єкта становить 3480 Вт·год.

Отримані дані використовуються при розрахунку значення номінальної потужності фотоелектричних модулів, дизельної установки та необхідної ємності акумуляторних батарей.

2.4 Розрахунок сонячного модуля

Вибраний сонячний модуль SoLarPanel 250W монокристал THL-250W [19], на монокристалічних сонячних елементах. Сонячний модуль буде встановлено під кутом, рівним географічній широті місцевості, що забезпечить найбільше ефективне надходження сонячної енергії. І кут нахилу сонячних модулів $49^\circ \pm$ сезонна поправка. Габарити сонячного модуля $1640 \times 770 \times 35$.

Необхідна кількість модулів n розраховується за (2.1)

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = E_{\text{доб}} / W_{\text{доб}} \quad (2.1)$$

де n - необхідна кількість модулів;

$E_{\text{доб}}$ – максимальна потреба електроенергії протягом доби

$W_{\text{доб}}$ – добове вироблення електроенергії модулем, Вт·год;

Максимальна потреба в електроенергії на добу $E_{\text{доб}} = 3480$ Вт·год. Отже, потреба на місяць складатиме (2.2)

$$E_{\text{міс}} = E_{\text{доб}} \cdot 30 \quad (2.2)$$

Де $E_{\text{міс}}$ – потреба в електроенергії за місяць, Вт·год.

Добове вироблення електроенергії модулем розраховується (2.3)

$$W_{\text{доб}} = P_{\text{мод}} \cdot S \quad (2.3)$$

$P_{\text{мод}}$ – потужність одного сонячного модуля, Вт;

S – тривалість сонячного сяйва, год.

В результаті розрахунків видно, що в січні та грудні добове вироблення електроенергії сонячним модулем мале, що обумовлено малим значенням тривалості сонячного сяйва. Здійснення електропостачання в дані місяці за допомогою сонячних модулів буде не вигідно, оскільки в такому випадку знадобиться значно більша кількість сонячних модулів, ніж потрібно об'єкту забезпечення в решту місяців. Це, у свою чергу, призведе до того, що вартість проекту буде високою, терміни окупності збільшаться і його економічна ефективність впаде.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, в ці місяці електрозабезпечення обраного об'єкта раціональніше здійснювати за допомогою іншого джерела енергії, наприклад, дизельного генератора або вітроустановки, в інші місяці сонячні модулі будуть давати необхідну кількість електроенергії.

Таким чином, розрахунок необхідної кількості сонячних модулів проводиться для місяця, в якому добове вироблення електричної енергії є мінімальним за умови стабільної експлуатації сонячної електростанції. У даному випадку таким місяцем є листопад. Грудень не приймається до розрахунку, оскільки для цього місяця характерні екстремально несприятливі кліматичні умови, а саме: мінімальна тривалість світлового дня; значна хмарність; часті опади у вигляді снігу; можливе обмерзання та засніження поверхні фотоелектричних модулів.

У зазначених умовах сонячна електростанція працює нестабільно або з нульовою ефективністю протягом тривалих періодів, що робить використання середньостатистичних значень тривалості сонячного сьйва для грудня некоректним для інженерних розрахунків.

Тому грудень розглядається як період з аварійно-резервним режимом електроживлення, у якому покриття дефіциту електроенергії здійснюється за рахунок: акумуляторних батарей; резервного джерела живлення (за наявності); електромережі (у гібридних системах).

Враховуючи наведене, листопад прийнято як розрахунковий місяць, що забезпечує компроміс між мінімальним добовим виробленням електроенергії та можливістю стабільної роботи сонячної електростанції.

Необхідна кількість сонячних модулів за (2.10) $n = 3480 / 500 = 6,96$

Таким чином, для забезпечення електроенергією побутових приладів зазначеного об'єкта потрібно 7 сонячних модулів.

Сонячні модулі з'єднуються паралельно, що дозволяє отримати на виході напругу 24 В. Схема з'єднання модулів представлена на рис 2.3.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Методика вибору інвертора

Інвертор використовується для здійснення перетворення постійної напруги, яка надходить від сонячних панелей у змінну. Змінна напруга потрібна для живлення побутових приладів.

Інвертори можуть формувати на виході чисту синусоїду або квазі-синусоїду. Основна відмінність квазі-синусоїдального інвертора полягає в тому, що форма вихідної напруги є наближеною до синусоїди та містить гармонічні спотворення. Це призводить до збільшення теплових втрат у навантаженні порівняно з інверторами, що формують чисту синусоїду.

Слід зазначити, що хоча наявність паразитних гармонік веде до теплових втрат, вони не впливають на більшість електричних приладів, наприклад, на нагрівачі та освітлювальні лампи. Однак вони можуть надавати непередбачувану дію на ті електроприлади, в яких використовується електродвигун. До таких приладів відносяться пилосос, пральна машина, холодильник. Така непередбачувана дія обумовлена, насамперед, наявністю паразитних гармонік, які призводять до того, що обмотка електродвигуна починає нагріватися, що в свою чергу негативно позначається на режимі його роботи і може призвести до появи пробою [4-6]. Інвертор із чистою синусоїдою коштує значно дорожче, ніж інвертор із квазі-синусоїдою. У середньому, інвертор із чистою синусоїдою може коштувати в 3-6 разів дорожче, ніж із квазі-синусоїдою.

У системі обраного об'єкта енергопостачання є електричні прилади, в яких присутній електродвигун – це пилосос і пральна машина. Звідси випливає, що застосовувати в даній системі електропостачання необхідно використовувати інвертор із чистою синусоїдою.

Потужність інвертора синусоїдального інвертора слід вибирати, виходячи з даних про максимальну потужність протягом доби. В даному випадку максимальна потужність протягом доби спостерігається у вечірні години і становить 2140 Вт. Звідси випливає, що потужність інвертора має становити понад 2140 Вт.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Розрахунок ємності та вибір акумуляторних батарей

При експлуатації систем, в основі яких використовуються відновлювані джерела енергії, має місце проблема накопичення електричної енергії. Насамперед, накопичувачі електричної енергії виступають в якості резервного джерела живлення, і дозволяють здійснювати живлення об'єкта в періоди, коли надходження енергії від установок альтернативної енергетики відсутнє. Крім того, в накопичувачі енергії запасатимуться надлишки електроенергії, яка не була спожита [9].

Накопичувачі також можуть застосовуватися з метою покриття пікового споживання енергії, в результаті використання тієї електроенергії, яка була запасена в періоди мінімального споживання. Як правило, в автономних системах електропостачання, у тому числі в таких, де використовуються установки відновлювальної енергетики, використовуються свинцево-кислотні акумулятори (див у розділі 1.3). У свинцево-кислотному акумуляторі анод виконується зі свинцю, а катод збільшення контактної площі з електролітом зроблений пористим. Конструкція і виконання електродів залежить від призначення і ємності акумулятора.

Слід зазначити, що для зменшення витрат на обладнання системи автономного електропостачання та збільшення економічної ефективності можливе так само використання автомобільних акумуляторів. Такі акумулятори мають схожі параметри, але ціна їх менша.

В основі роботи свинцево-кислотного акумулятора лежить окислювально-відновна реакція свинцю з діоксидом свинцю, які знаходяться в кислотному середовищі [9, 15]. Номінальний струм акумуляторної батареї визначається (2.4)

$$I_{ном} = P_{ном} / U_{вх} \quad (2.4)$$

$I_{ном}$ – номінальний струм, А;

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_{ном}$ – пікова потужність об'єкта, Вт;

$U_{вх}$ - напруга на виході блока акумуляторної батареї, В.

Найбільша потужність спостерігається у вечірній час доби $P_e = 2140$ Вт; $U_{вх}$ – напруга на виході блоку акумуляторних батарей, дорівнює 24 В. Номінальний струм акумуляторної батареї за (2.4) $I_{ном} = 2140 / 24 = 89,16$ А.

Енергія, що споживається від блоку акумуляторів, у період відключення живлення автономного енергокомплексу розраховується за (2.5):

$$E_{АКБ} = P_{макс} \cdot T_{відк} \quad (2.5)$$

де $E_{АКБ}$ – споживана енергія, Вт·год;

$P_{макс}$ - максимальна потужність, Вт;

$T_{відк}$ - час споживання в період відключення живлення автономного енергокомплексу, що дорівнює 4 годин.

Таким чином, енергія, що споживається від блоку акумуляторів у період відключення за (2.5) дорівнює $E_{АКБ} = 2140 \cdot 4 = 8540$ Вт·год.

Місткість блоку акумуляторних батарей розраховується (2.6)

$$C_{блок} = C_{блок.ном} \cdot \frac{100}{Q} \quad (2.6)$$

де $C_{блока}$ - ємність блоку, А·год;

$C_{блок.ном}$ – номінальна ємність блоку, А·год;

Q – допустимий відсоток розрядки акумуляторної батареї, що приймається рівним 50% [22].

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір глибини розряду акумуляторної батареї (DoD) є визначальним фактором для терміну експлуатації автономної системи. Для свинцево-кислотних акумуляторів (типу AGM або GEL) встановлено допустиму межу розряду на рівні 50%. Подальше збільшення глибини розряду призводить до експоненціального скорочення циклічного ресурсу батареї через механічне руйнування активного шару електродів [22].

Номінальна ємність блоку $C_{\text{блоку.ном}}$ розраховується (2.7)

$$C_{\text{блоку.ном}} = I_{\text{ном}} \cdot T_{\text{авт}} \quad (2.7)$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм, А;

$T_{\text{авт}}$ – тривалість автономної роботи системи електропостачання, год.

Номінальна ємність блоку $C_{\text{блоку.ном}} = 356,64$ А·год. Таким чином, ємність блоку акумуляторних батарей дорівнює $C_{\text{блоку}} = 356,64 \cdot (100/50) = 713,28$ А·год.

Напруга одиничної батареї дорівнює $U_{\text{од}} = 12$ В.

Ємність одиничної батареї дорівнює $C_{\text{од}} = 140$ А·год.

Кількість одиничних батарей $N_{\text{батар.посл.}}$, підключених послідовно розраховується (2.8)

$$N_{\text{батар.посл.}} = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{од}}} \quad (2.8)$$

Кількість одиничних батарей, які послідовно підключених $N_{\text{батар.посл.}} = 2$.

Таким чином, ємність каскаду $C_{\text{каск}}$ з 2-х акумуляторів дорівнюватиме (2.9)

$$C_{\text{каск}} = 2 \cdot C_{\text{од}} \quad (2.9)$$

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $C_{каск}$ – місткість каскаду з двох акумуляторів, А·год.

Місткість каскаду з 2-х акумуляторів $C_{каск} = 280$ А·год. Так як ємність $C_{од}$ менше необхідної ємності блоку $C_{блоку}$, то необхідно підключити аналогічно до обчисленого каскад послідовно підключених акумуляторних батарей.

Кількість каскадів, підключених паралельно $N_{батар.парал.}$ визначаємо за (2.10)

$$N_{батар.парал.} = \frac{C_{блок}}{C_{од}} \quad (2.10)$$

Кількість каскадів, підключених паралельно $N_{батар.парал.} = 5,09$. Таким чином, потрібно 6 каскадів, підключених паралельно.

Загальна кількість батарей $N_{батар}$ у блоці визначаємо (2.11)

$$N_{батар} = N_{батар.посл.} \cdot \frac{N_{каск}}{пар} \quad (2.11)$$

Загальна кількість батарей у блоці =12.

Отримане значення кількості акумуляторних батарей округлюється у більшу сторону, оскільки зменшення кількості АКБ може призвести до недостатньої ємності системи накопичення енергії та скорочення часу автономної роботи.

2.7 Вибір контролера заряду

Для забезпечення взаємодії між фотоелектричними перетворювачами, генератором і навантаженням застосовується контролер заряду. Контролер також захищає акумулятори від глибокого розряду під час експлуатації.

У тих системах автономного електропостачання, де використовуються два або більше джерела енергії, наприклад, сонячно-вітрові або сонячно-дизельні,

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролер заряду може виконувати автоматичний пуск резервного джерела енергії якщо рівень заряду акумуляторів опускається нижче певної величини.

Слід зазначити, що ті системи, в яких застосовується контролер заряду, мають більшу ефективність у порівнянні з системами без контролера. Контролер заряду може виступати як самостійного пристрою, і може бути вбудований в інвертор чи блок безперебійного живлення [6, 9, 11, 14].

У фотоелектричних системах електропостачання можуть застосовуватися два види контролерів заряду – MPPT контролери (від англ. Maximum Power Point Tracking – відстеження точки максимальної потужності) та ШІМ контролери (англ. pulse-width modulation (PWM широтно-імпульсна модуляція) .

Контролери MPPT типи забезпечують максимальне використання електроенергії, що надходить від фотоелектричних модулів у навантаженні. Основною перевагою MPPT контролера є можливість пошуку точки максимальної потужності, в якій значення напруги і сили струму залежать від таких факторів як температура поверхні фотоелектричного модуля, яскравість світла і кут падіння променів на сонячний модуль. Дані фактори залежать від різних факторів, що робить їх непостійними та мінливими, що в свою чергу веде до того, що точка максимальної потужності так само не постійна і змінюватиметься з часом [6, 7].

Для того, щоб робота системи автономного електропостачання була найефективніша, потрібна наявність акумулятора, який міг би реагувати на зміну параметрів і підлаштовуватися під них, але це не гарантує максимально можливих результатів, що обумовлено його меншою точністю визначення точки максимальної потужності в порівнянні з MPPT контролером. Застосування в системі автономного енергопостачання MPPT контролера забезпечує покращення ефективності системи на 25% [23 , 24, 25].

На відміну від контролерів MPPT типу, ШІМ контролери забезпечують постійне значення величини напруги акумуляторного заряду, що досягається за допомогою комутації фотоелектричного модуля. Контролер ШІМ типу забезпечує зниження струму заряду при досягненні заданого значення напруги акумуляторів.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таке зниження струму заряду дозволяє уникнути можливий перегрів акумулятора. Також слід зауважити, що ШІМ контролери забезпечують облік стану акумуляторів, підвищують здатність акумулятора приймати заряд, сприяють вирівнюванню якості окремих елементів, а так само знижують ступінь вироблення газу [23].

Провівши порівняння контролерів МРРТ і ШІМ типу можна зробити висновок, що найбільша ефективність досягається за допомогою МРРТ контролерів, але слід враховувати їх вартість, яка вдвічі дорожча за ШІМ контролерів. Звідси можна зробити висновок, що якщо в обраній системі енергозабезпечення потужність невелика і кількість сонячних модулів не перевищує двох штук, то в такій системі більш раціонально застосовуватиме контролер ШІМ типу, оскільки на невеликих потужностях, ефективність МРРТ контролера буде практично такою ж, як і ефективність системи з ШІМ контролером [23].

Висновки у розділі 2

Виконано розрахунок основних параметрів автономної сонячно-дизельної системи електропостачання. Проведено аналіз побутових споживачів електричної енергії та визначено сумарне навантаження системи, а також добове енергоспоживання об'єкта.

Виконано розрахунок ємності акумуляторного блоку та визначено необхідну кількість акумуляторних батарей для забезпечення автономної роботи системи.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ З ДИЗЕЛЬНИМ
ГЕНЕРАТОРОМ

3.1 Методика вибору дизельного генератора

У системах енергозабезпечення, де використовується кілька джерел енергії, серед яких є дизельний генератор, зазвичай застосовують дизельні установки з генераторами змінного струму синхронного типу. У таких дизельних генераторах здійснення контролю частоти обертання виконується за допомогою настановного потоку палива в двигун генератора. Двигун визначається частотою вихідної напруги змінного струму.

Щоб визначити необхідну потужність дизельної установки, потрібно знати значення потужності обраного споживача [26, 27, 28]. Потужність споживача дорівнює сумі потужностей усіх споживачів електричної енергії у будинку.

Основною характеристикою дизельного генератора є електрична потужність. Вона може виражатися в кіловатах (кВт) або кіловольт-амперах (кВА).

Електрична потужність однофазної дизельної установки, виражена в кіловатах і кіловольт-амперах повинна бути однаковою. У тому випадку, коли значення різні, при виборі генератора перш за все потрібно дивитися на потужність, виражену в кіловатах. У такому випадку потужність генератора, виражена в кіловольт-амперах, є теоретичною потужністю і вибирати по ній дизельний генератор не бажано [27].

У трифазного дизельного генератора значення потужності виражені в кіловатах і кіловольт-амперах будуть різні. Зазвичай потужність, виражена в кіловатах, перевищує на 20% потужність у кіловольт-амперах [12, 27].

Дизельна установка може характеризуватись кількома видами потужностей.

1 Максимальна електрична потужність у кВА. Даний вид потужності виражається в кіловольт-амперах і позначає той максимум потужності, який може

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видавати дизельний генератор у проміжок часу до однієї години. Варто зазначити, що суворо заборонено перевищувати величину максимальної електричної потужності, оскільки у разі, якщо автомат захисту не спрацює, то це призведе до виходу з ладу всієї дизельної установки або призвести до перевантаження двигуна.

2 Максимальна електрична потужність у кВт. Ця потужність виявляється у кіловатах і є аналогом значенню максимальної потужності, вираженої в кіловольт-амперах. Значення даної потужності для дизельних установок з однією фазою і напругою на виході 230 В має збігатися з величиною їх максимальної потужності. Для трифазних дизельних установок в яких напруга на виході 330 В значення величини потужності, вираженої в кВА потрібно помножити на величину коефіцієнта 0,8. Так, при значенні потужності дизельної установки дорівнює 10 кВА значення потужності, вираженої в кВт дорівнюватиме 8 кВт.

3 Потужність основного застосування установки. Ця потужність виявляється у кВт чи кВА і є номінальною потужністю дизельного генератора. На основі значення величини основної потужності здійснюється вибір дизельної установки для системи енергозабезпечення [12, 13, 25-27].

Максимальна потужність системи складає 2140 Вт. Виходячи з цього можна зробити висновок, що для обраної системи енергозабезпечення потужність дизельного генератора повинна бути більше 2140 Вт.

При виборі дизельної установки для автономної системи енергозабезпечення потрібно визначити який тип дизельного генератора найбільш оптимально підійде до обраної системи. Це може бути однофазна установка з напругою на виході рівним 230 В, або трифазна дизельна установка з вихідною напругою 380 В. Необхідно врахувати, що в тому випадку, якщо в системі енергозабезпечення відсутні будь-які споживачі з напругою 380 В, а до об'єкта підведено однофазна напруга величиною 230 В, то для постачання такої системи найбільш оптимально підходить дизельна установка з однією фазою.

Крім того, у тому випадку, коли необхідна потужність дизельного генератора становить менше 10 кВт, то найбільш раціональним так само буде застосування

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

однофазної дизельної установки. Це пов'язано з тим, що трифазна дизельна установка потребує рівномірного навантаження за всіма фазами, що вкрай важко виконати у випадку, коли навантаження на одну фазу становить менше 3 кВт.

У випадку, коли в систему потрібен дизельний генератор потужністю вище 20 кВт, а так само є трифазне введення на об'єкт, то найбільш оптимально буде застосувати в таких умовах трифазний дизельний генератор. Це буде надійніше і дешевше, проте в такому випадку потрібно рівномірно розподілити навантаження за всіма трьома фазами дизельної установки. Ще однією перевагою використання трифазного дизельного генератора в таких умовах є те, що знайти однофазну дизельну установку з потужністю понад 20 кВт дуже проблематично. Так само вартість однофазних дизельних генераторів зазвичай вища за трифазні, що викликано тим, що при виробництві однофазних установок потрібно використовувати генератори змінного струму з більшою потужністю, ніж при виробництві трифазних дизельних генераторів такої ж потужності [25-27].

Виходячи з того, що необхідна потужність генератора більше 2140 Вт, а трифазні споживачі на об'єкті енергозабезпечення відсутні, то в даній системі електропостачання застосовуватиметься однофазний дизельний генератор.

3.2 Схеми сонячно-дизельної системи

Основу будь-якої гібридної системи електропостачання складають установки відновлювальної енергетики та допоміжне джерело живлення [5, 6, 10, 11]. У цій системі здійснюється комбінування сонячних модулів і дизельного генератора.

Дизельний генератор можна підключити до шини постійного струму за допомогою використання випрямляча струму, або підключити безпосередньо до шини перемінного струму. Принципова схема підключення дизель-генератора з використанням випрямляча струму наведена на рис. Б.1 додатку Б.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У схемі фотоелектричні модулі, блок акумуляторних батарей і дизельний генератор, які є джерелами струму, з'єднані через одну шину постійного струму з напругою 24 В. За допомогою інвертора постійний струм з напругою 24 В перетворюється на змінний струм з напругою 230 В.

Слід зазначити, що дизельна установка виробляє змінний струм, напруга якого дорівнює 230 В, проте при такому типі підключення з дизельним генератором необхідно використовувати випрямляч струму.

При низькому споживанні електроенергії дизельний генератор не використовується, і все навантаження забезпечуватиметься за рахунок фотоелектричних модулів і акумуляторів. Принципова схема підключення дизель-генератора без використання випрямляча струму наведена рис Б.2 додатку Б.

У цій схемі сонячний модулі і блок акумуляторних батарей з'єднані через одну шину постійного струму напругою 24 В. Дизельний генератор в такій схемі приєднаний безпосередньо до шини 230 В, яка йде до споживача. У цій схемі відсутня необхідність використання випрямляча, оскільки дизельний генератор, приєднаний до шини змінного 230 В, виробляє потрібний змінний струм з такою ж напругою.

Однак для того, щоб запасати надлишки енергії, отримані під час роботи дизельного генератора в акумуляторних батареях необхідно використовувати двоспрямований інвертор. Двоспрямований (бідирекційний) інвертор - це ключовий елемент сучасних гібридних систем, особливо сонячно-дизельних установок. Його головна особливість полягає в здатності працювати в двох режимах, змінюючи напрям перетворення енергії залежно від потреб системи.

3.3 Характеристики обладнання сонячно-дизельної системи

Гібридна сонячно-дизельна система для автономного електропостачання житлового будинку включає наступні елементи: сонячні модулі, контролери заряду, інвертор, акумуляторні батареї, дизель-генератор і випрямляч.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У даній системі автономного енергопостачання використовується сонячний модуль SoLarPanel 250W монокристалл THL-250W [19], який має потужністю 250 Вт, напругу 24 В і складається з монокристалічних елементів. Фотоелектричний модуль, що використовує кремній з одного кристала для високої ефективності, добре працює в похмуру погоду, з характерними розмірами та вагою (наприклад, близько 195x113 см та 27.3 кг для аналогічних потужностей). Характеристики модуля наведено у таблиці 3.1 [19].

Таблиця 3.1 – Характеристики сонячного модуля

Характеристики	Значення
Максимальна потужність	250 Вт
Напруга холостого ходу	39,68 В
Напруга при максимальній потужності	34,13 В
Струм при максимальній потужності	7,33 А
Струм короткого замикання	8,38 А
Допустиме відхилення потужності	±3 %
Кількість комірок	68 (4×17)
Габаритні розміри	1640 × 770 × 35 мм
Клас захисту	II
Максимальна системна напруга	1000 В
Допустимий струм запобіжника	до 20 А
Робочий температурний діапазон	від -40 °С до +85 °С
Відповідність стандартам	IEC 61215-1-1:2016; IEC 61730-1:2016

Контролер заряду Victron SmartSolar MPPT 250/100 [29] - це потужний MPPT контролер з максимальним струмом 100 А і входом до 250 В PV. Він є один з найвищих в класі для побутових СЕС. Підходить для великих масивів панелей і систем 24 В / 48 В.

Контролер заряду Victron Energy SmartSolar MPPT 250/100-MS4 VE.Can застосовується для ефективного та адаптивного керування зарядом акумуляторних батарей від сонячних панелей із підтримкою широкого діапазону напруг (12/24/48 В) і здатен працювати з різними типами батарей. У цій моделі використовується

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сучасний алгоритм відстеження максимальної потужності (MPPT), який дуже швидко адаптується до зміни інсоляції та умов освітлення, що дозволяє витягнути максимум енергії із сонячних панелей навіть у частковій тіні чи при хмарності, підвищуючи загальний коефіцієнт використання енергії.

Контролер підтримує функцію автоматичного визначення вихідної напруги 12 В, 24 В або 48 В та має максимальний зарядний струм 100 А, що робить його придатним для потужних автономних систем живлення. Завдяки вбудованій Bluetooth-підтримці та можливості налаштування через мобільний додаток VictronConnect, оператор має прямий доступ до параметрів зарядки, моніторингу стану акумуляторів, напруги панелей і інших показників у реальному часі, що сприяє простому керуванню та оперативному контролю.

У разі потреби кілька контролерів можуть працювати синхронно в одній мережі завдяки інтерфейсу VE.Can, що дозволяє масштабувати систему для більших масивів сонячних панелей. [29, 30] Контролер має можливість регульованої зарядної характеристики, включно з трьома стадіями зарядки (bulk, absorption, float) і адаптивними алгоритмами для різних типів акумуляторів (гелеві, АГМ, свинцево-кислотні, LiFePO₄).

Основні технічні характеристики контролера наведено у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Основні технічні характеристики контролера заряду

Характеристики	Значення
Тип контролера	MPPT
Максимальний струм заряду	100 А
Номінальна напруга акумуляторної батареї	12 / 24 / 48 В (автовибір)
Максимальна напруга сонячної батареї (PV)	до 250 В
Максимальна потужність PV (для 12 В)	до 1450 Вт
Максимальна потужність PV (для 24 В)	до 2900 Вт
Максимальна потужність PV (для 48 В)	до 5800 Вт

Продовження табл. 3.2

Алгоритм зарядження	багатостадійний: bulk / absorption / float
ККД контролера	до 99 %
Інтерфейси зв'язку	VE.Can, VE.Direct, Bluetooth
Підтримка моніторингу	VictronConnect (смартфон/ПК)
Підтримувані типи АКБ	AGM, GEL, свинцево-кислотні, LiFePO ₄
Захисти	від короткого замикання, перегріву, зворотної полярності
Робочий температурний діапазон	від -30 °C до +60 °C
Охолодження	автоматичне зниження струму при перегріві
Можливість паралельної роботи	є (через VE.Can)
Роз'єми для підключення панелей	МС4
Ступінь захисту корпусу	IP43 (електроніка), IP22 (клеми)
Габаритні розміри	орієнтовно 295 × 216 × 103 мм
Маса	близько 4,5 кг

Інвертор EP3200 5000-24 видає чистий синус, що підходить для чутливого обладнання. Хороший універсальний варіант для домогосподарства. Призначений для перетворення електрики з 12 В на 230 В. Можна під'єднати навантаження до 5 кВт: електроніку, освітлення, мотори, насоси, холодильники та інших обертових пристроїв. Корпус виготовлений з алюмінію [31]. Основні характеристики інвертора наведено у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики інвертора

Характеристики	Значення
Модель	EP3200 5000-24
Тип інвертора	Перетворювач DC → AC (автономний)
Номінальна потужність	5000 Вт
Пікова потужність	(зазвичай 10000 Вт – залежить від моделі)

Продовження табл. 3.3

Вхідна напруга постійного струму	24 В
Номінальна вихідна напруга змінного струму	230 В АС
Частота вихідної напруги	50 Гц
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
КПД перетворення	~ 90–95 % (типове для чистих інверторів)
Захисти	від перевантаження / короткого замикання / перегріву / низької напруги
Режими роботи	Автономний / UPS (за моделлю)
Індикатори	LED-індикація стану
Вентиляція	Вбудований вентилятор
Рекомендована робоча температура	~ -10...+40 °С
Габарити	орієнтовно 450 × 200 × 100 мм
Вага	~ 15–18 кг

Акумулятори Varta 6 СТ-140-L ProMotive Super Heavy Duty (640400080). Дані акумулятори мають напругу 12 В, ємність 140 А·год. [32] Основні характеристики акумулятора наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні характеристики акумулятора

Характеристики	Значення
Тип акумулятора	Свинцево-кислотний
Серія	ProMotive Super Heavy Duty
Ємність	140 А·год
Номінальна напруга	12 В
Пусковий струм	800 А
Призначення	Для вантажних автомобілів
Обслуговування	Необслуговуваний
Тип клем	Стандартні
Полярність	Плюсова клемма зліва
Днищева планка	З виступом
Габарити (Д×Ш×В)	513 × 189 × 223 мм
Гарантія	24 місяці
Країна виробництва	Чехія
Вид	Стартерний акумулятор

Генератор оснащений двигуном 178F потужністю 6 л. та здатний видавати номінальну потужність 2,8 кВт та максимальну потужність 3,3 кВт. Генератор ТАТА JM12000TD запускається за допомогою ручного стартера. Об'єм паливного бака становить 13,5 л. Основні характеристики дизельного генератора наведено у таблиці 3.5 [33].

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики дизельного генератора

Характеристика	Значення
Номінальна потужність	2,8 кВт
Максимальна потужність	3,3 кВт
Напруга	230 В
Модель двигуна	178F
Потужність двигуна	6 к.с.
Об'єм двигуна	211 см ³
Система запуску	Ручний стартер
Об'єм паливного бака	13,5 л
Витрата пального	280 г/кВт·год
Розміри (Д×Ш×В)	655 × 480 × 530 мм

Випрямляч Flatpack2 24/2000 є випрямляючим модулем, призначеним як для самостійної роботи, так і для роботи при паралельному підключенні в стійкових системах електроживлення постійного струму разом з блоком контролю та управління «Smartpack». Flatpack2 оптимальний для систем електроживлення середньої та великої потужності. Flatpack2 - модуль із цифровим керуванням, що у поєднанні з блоком керування Smartpack дозволяє спростити проектування різних режимів роботи систем електроживлення, збільшуючи їх можливості. Системи, оснащені модулем Flatpack2, мають конфігурацію – 4 випрямлячі в 19" кабінетах. Даний випрямляч використовується для перетворення змінної напруги 230 В у постійну напругу 24 В. Основні характеристики випрямляча наведено у таблиці 3.6 [34].

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6 - Основні характеристики випрямляча

Характеристики	Значення
Модель	Flatpack2 24/2000
Номер виробу (Part Number)	241115.200
Тип пристрою	Випрямляч / DC-модуль постійної напруги
Діапазон вхідної напруги АС	85–290 VAC
Номінальна вхідна напруга	176–275 VAC
Частота живлення	45–66 Hz
Максимальний вхідний струм	13 А
Номінальна вихідна напруга	~26.7 VDC
Регульований діапазон виходу	21,0–29,0 VDC
Номінальна вихідна потужність	2000 W
Макс. потужність при низькій напрузі АС	650 В @ 85 VAC
Максимальний вихідний струм	84 А
Статична регуляція вихідної напруги	±0,5 %
Динамічна регуляція	±5 %
Рівень пульсацій та шумів	<100 mVpp
Коефіцієнт потужності	>0.99 при навантаженні ≥50 %
Захист	Запобіжники, варистори, відключення при перенапрузі
Клас захисту корпусу	IP20
Охолодження	Вентилятор + теплообмін
Ефективність	~89 %
Робоча температура	-40 °C до +75 °C
Габарити (Ш×В×Г)	109 × 41,5 × 327 мм
Вага	1,9 кг
Сертифікація	Морський DNV, телеком стандарти

3.4 Електрична схема сонячно-дизельної системи

Електрична схема системи з включенням до неї дизельного генератора наведена на рис. Б.3 додатку Б.

Основним джерелом електроенергії є сонячна панель (фотоелектричний модуль), яка перетворює сонячну енергію на електричну енергію постійного струму. Вироблена електроенергія надходить до контролера заряду, який здійснює

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування процесом заряджання акумуляторної батареї та контролює режими роботи системи.

До контролера підключена акумуляторна батарея напругою 24 В, яка призначена для накопичення електроенергії та забезпечення живлення навантаження за відсутності сонячного випромінювання або в нічний час.

Постійна напруга 24 В подається на інвертор, який перетворює постійний струм у змінний струм напругою 230 В для живлення побутових електроприладів та інших споживачів.

Для резервного електроживлення в системі передбачено дизельний генератор (ДГУ), який виробляє змінний струм напругою 230 В. Напруга від генератора подається на перетворювач (випрямляч), де здійснюється перетворення змінного струму у постійний струм 24 В. Після цього енергія може використовуватися для заряджання акумуляторної батареї та живлення системи.

Таким чином, запропонована схема забезпечує безперервне електропостачання споживачів за рахунок комбінованого використання сонячної енергії, акумуляторного накопичення та резервного дизельного генератора.

Висновки у розділі 3

У третьому розділі виконано вибір основного обладнання для реалізації комбінованої сонячно-дизельної системи електропостачання. На основі проведених розрахунків обрано фотоелектричні модулі, контролер заряду, інвертор, акумуляторні батареї, дизельний генератор та випрямляч. Розроблено структурну схему сонячно-дизельної системи електропостачання, яка забезпечує взаємодію між фотоелектричними модулями, акумуляторним блоком, інвертором та резервним дизельним генератором.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ

4.1 Економічна частина

На сьогоднішній день сонячні модулі мають дуже високу вартість, а їх ККД невеликий і знаходиться в межах 12-17%, тому питання окупності таких модулів дуже актуальне [36]. В середньому термін служби сонячних модулів становить близько 25 років [36, 37]. Сонячні батареї не мають у своєму складі будь-яких рухомих частин, що робить їх довговічними. Безперечним плюсом сонячних батарей є те, що протягом великого терміну служби відсутні великі поломки точно проводити очищення поверхні модулів, щоб уникнути забруднення, яке негативно позначається на виробленні електроенергії [36]. При придбанні сонячних батарей важливим критерієм є їх великий термін служби, оскільки після того, як система окупиться, вся електроенергія буде відносно безкоштовною [27].

Окупність системи розраховується виходячи із загальної вартості обладнання. Вартість обладнання системи наведена у таблиці 4.1 [19, 29-34].

Таблиця 4.1. – Вартість обладнання

Обладнання	Ціна за одиницю, грн	Кількість, шт	Загальна вартість, грн
Сонячна панель, SoLarPanel 250W	4246	7	29722
Контролер заряду Victron SmartSolar MPPT 250/100	34263	1	34263
Інвертор EP3200 5000-24	11401	1	11401
Акумулятор Varta 6 СТ-140-L ProMotive Super Heavy Duty	8701	12	104412
Дизельний генератор ТАТА JM3500X (2.8 кВт / 220 В)	26765	1	26765
Випрямляч Flatpack2 24/2000	10540	1	10540
Разом, грн			217103

Термін окупності обладнання визначається за (4.1)

$$T = \frac{V_{\text{обл}} + V_0 + V_p}{E \cdot V_{\text{ЕЕ}}} \quad (4.1)$$

де T – термін окупності, років;

$V_{\text{обл}}$ – вартість обладнання, грн;

V_0 – витрати на обслуговування установки, грн;

V_p – витрати на ремонт, грн;

E – щорічне річне вироблення електроенергії сонячними модулями та дизельним генератором, кВт·год;

$V_{\text{ЕЕ}}$, – вартість кВт години, грн.

Річне виробництво електроенергії сонячним модулем дорівнює 554,47 кВт·год. Річне виробництво електроенергії дизельним генератором становить 520,8 кВт·год. Сумарне річне вироблення електроенергії: $W = 554,47 + 520,8 = 1075,27$ кВт·год.

Вартість електроенергії (згідно з тарифами для населення на 2026 р.) $C = 4,32$ грн/кВт·год

Витрати на ремонт проявляються з тією чи іншою часткою ймовірності. На практиці під час експлуатації відомих виробників вони практично дорівнюють нулю. Витрати обслуговування установки становлять, зазвичай, трохи більше 20% вартості устаткування за весь термін експлуатації. Витрати на обслуговування ($V_{\text{об}}$) за весь термін експлуатації (25 років) складають 20%:

$$217103 \cdot 0,2 = 43\,420,6 \text{ грн.}$$

Відповідно, щорічні витрати на обслуговування:

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$43\,420,6 / 25 = 1736,8 \text{ грн/рік.}$$

Витрати на ремонт (V_p) приймаємо рівними 0 грн, враховуючи високу надійність обраного обладнання.

Отримаємо річний економічний ефект (заощадження на оплаті електроенергії за вирахуванням витрат на сервіс)

$$\Delta S = (W C) - V_{об} = (1075,27 \cdot 4,32) - 1736,8 = 4645,17 - 1736,8 = 2908,37 \text{ грн/рік}$$

Таким чином, термін окупності дорівнює за формулою (4.1)

$$T_{ок} = K_{обл} / \Delta S = 217\,103 / 2908,37 = 74,6 \text{ років}$$

Проведений економічний розрахунок показує, що при поточних тарифах на електроенергію для побутових споживачів та вартості компонентів (особливо акумуляторного блоку, який складає майже 50% вартості всієї системи), термін окупності перевищує термін служби обладнання.

Проте, доцільність впровадження даної сонячно-дизельної установки обумовлена не лише економічними показниками, а й такими факторами як забезпечення безперебійного живлення в умовах частих відключень або повної відсутності централізованої мережі та можливість функціонування об'єкта незалежно від зовнішніх енергопостачальних компаній.

Таким чином, розроблена система є технічно ефективною та соціально значущою для об'єктів, де стабільність енергопостачання є пріоритетним завданням.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Охорона праці

Охорона праці є важливою складовою проектування, монтажу та експлуатації сонячно-дизельних енергетичних установок. Під час виконання робіт з установлення фотоелектричних модулів, дизельних генераторів, інверторного обладнання та акумуляторних батарей персонал зазнає впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що вимагає впровадження комплексу організаційних і технічних заходів безпеки.

Основними нормативними документами, що регламентують вимоги з охорони праці, є Закон України «Про охорону праці» [38], Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [39], Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [40] та державні будівельні норми.

Під час монтажу сонячно-дизельних установок можливий вплив таких небезпечних і шкідливих факторів:

- ураження електричним струмом під час роботи з електрообладнанням;
- падіння з висоти при монтажі сонячних панелей на дахах і опорах;
- механічні травми під час транспортування та встановлення обладнання;
- підвищений рівень шуму та вібрації від роботи дизельного генератора;
- вплив шкідливих газів і парів палива під час експлуатації дизельних установок;
- пожежна небезпека внаслідок коротких замикань або витоків пального.

Монтаж сонячних панелей повинен виконуватися спеціально навченим персоналом із відповідною групою допуску з електробезпеки. Роботи на висоті дозволяється виконувати лише з використанням страхувальних поясів, касок та засобів індивідуального захисту.

Електромонтажні роботи необхідно проводити при знеструмленому обладнанні з обов'язковою перевіркою відсутності напруги. Кабельні лінії повинні прокладатися відповідно до вимог ПУЕ з урахуванням захисту від механічних

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пошкоджень та атмосферних впливів. Усі металеві конструкції фотоелектричних установок підлягають обов'язковому заземленню.

Дизельні генератори повинні встановлюватися у спеціально відведених приміщеннях або на відкритих майданчиках із твердим негорючим покриттям. Приміщення має бути обладнане системами вентиляції для відведення відпрацьованих газів та зниження концентрації шкідливих речовин.

Під час експлуатації дизельних генераторів необхідно забезпечити дотримання норм допустимого рівня шуму; наявність засобів пожежогасіння; герметичність паливної системи; заземлення корпусу генератора.

Забороняється виконувати заправку паливом при працюючому двигуні та зберігати паливно-мастильні матеріали безпосередньо біля джерел тепла.

Електроустановки сонячно-дизельних систем повинні відповідати вимогам електробезпеки та мати пристрої захисного вимкнення, автоматичні вимикачі та систему заземлення. Персонал, який обслуговує установки, повинен проходити регулярні інструктажі та перевірку знань з охорони праці.

Для запобігання пожежам необхідно використовувати кабелі з негорючою ізоляцією, виконувати правильний вибір захисної апаратури та дотримуватися протипожежних розривів між обладнанням.

Висновки у розділі 4

Термін окупності вийшов досить високим, проте дана система позиціонується не як комерційна, а як система, яка дозволить отримувати стабільну і постійну електроенергію в умовах нестабільного енергопостачання, або навіть при повному його відсутності.

Дотримання вимог охорони праці при встановленні сонячно-дизельних установок забезпечує безпеку персоналу, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій та сприяє надійній і безпечній експлуатації систем автономного енергозабезпечення.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Розглянуто основні варіанти автономного енергозабезпечення, зокрема дизельні електростанції, сонячні фотоелектричні установки, газопоршневі та газотурбінні установки, а також акумуляторні системи зберігання енергії.

Встановлено, що непостійність сонячної генерації зумовлює необхідність застосування резервних джерел електроенергії, роль яких у автономних системах доцільно відводити дизельним генераторам. Проаналізовано основні типи сонячних панелей, дизельних генераторів та акумуляторних батарей, а також визначено їх функціональне призначення в гібридних системах електропостачання.

Для енергозабезпечення обраного об'єкта буде використано 7 фотоелектричних модулів потужністю 250 Вт. Для запасів надлишків енергії та використання її в періоди, коли енергії від сонячних модулів недостатньо будуть застосовуватися акумуляторні батареї. Необхідна кількість акумуляторів становить 12 штук. Таким чином, обрані інвертор та контролер заряду забезпечують надійне перетворення та керування електричною енергією в автономній сонячній електростанції, відповідають розрахунковим навантаженням і гарантують стабільну роботу системи в заданих режимах експлуатації.

Термін окупності вийшов досить високим, проте дана система позиціонується не як комерційна, а як система, яка дозволить отримувати стабільну і постійну електроенергію в умовах нестабільного енергопостачання, або навіть при повному його відсутності.

Дотримання вимог охорони праці при встановленні сонячно-дизельних установок забезпечує безпеку персоналу, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій та сприяє надійній і безпечній експлуатації систем автономного енергозабезпечення.

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Титко Р., Калініченко В. В. Відновлювальні джерела енергії : досвід Польщі для України : навч. посіб. Варшава ; Краків ; Полтава : OWG, 2010. 533 с.
2. Альтернативні енергоресурси. Вступ до спеціальності : навч. посіб. / С. В. Бойченко, А. В. Яковлева, О. О. Вовк та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 389 с.
3. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : кол. монографія / за заг. ред. П. М. Макаренка, О. В. Калініченка, В. І. Аранчій. Полтава : Астроя, 2019. 603 с.
4. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. 245 с. URL: <https://eir.zp.edu.ua/bitstreams/7fb42340-4db3-41e4-a7e2-27e36f1600b0/download> (дата звернення: 02.01.2026).
5. Фотоенергетика : навч. посіб. / за ред. О. М. Синчука. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 196 с. URL: https://eprints.kname.edu.ua/55310/1/2019_28Н_ФЕ_Посібник.pdf (дата звернення: 02.01.2026).
6. 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.
7. Типи сонячних електростанцій, їх ефективність, переваги і недоліки. Solar Garden. URL: <https://www.solargarden.com.ua/typy-sonyachnyh-elektrostantsiy-ih-efektyvnist-perevahy-i-nedoliky/> (дата звернення: 02.01.2026).
8. 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 (дата звернення: 02.01.2026).
9. 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:

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://aespt.knu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/Системи-накопичення-електричної-енергії.pdf> (дата звернення: 02.01.2026).

10. Малі електричні станції в агропромисловому комплексі : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2017. 168 с. URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/22395.pdf> (дата звернення: 02.01.2026).

11. Тиндирика В. С. Розробка автономної системи електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії : магістерська дисертація. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. 102 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28496/1/Tyndyryka_magistr.pdf (дата звернення: 02.01.2026).

12. Як обрати генератор. Vinur. URL: <https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/select-equipment-guide/90-kak-vibrat-generator> (дата звернення: 02.01.2026).

13. Які бувають типи генераторів? Bison Machinery. URL: <https://uk.bison-machinery.com/blog/what-are-the-types-of-generators.html> (дата звернення: 02.01.2026).

14. 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 (дата звернення: 02.01.2026).

15. Типи акумуляторних батарей: повний огляд. DEPS. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10591.html> (дата звернення: 02.01.2026).

16. Як розрахувати енергоспоживання у вашому домі. Trinitі SB. URL: <https://trinitі-sb.com.ua/blog/jak-rozrahuvati-energospozhivannja-u-vashomu-domi/> (дата звернення: 02.01.2026).

17. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посіб. / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник та ін. ; за ред. О. І. Солов'я. Черкаси :

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ФОП Гордієнко Є. І., 2018. 132 с. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/2635/1/Силові%20споживачі%20електричної%20енергії%20Електричне%20освітлення.pdf> (дата звернення: 02.01.2026).

18. Скільки електроенергії споживають побутові прилади. Vencor Journal. URL: <https://journal.vencor.ua/ua/skolko-elektroenergii-potrebyayut-bytovye-pribory> (дата звернення: 02.01.2026).

19. Сонячна панель SolarPanel 250W. Prom.ua. URL: <https://prom.ua/ua/p2859314398-solchnevaya-panel-solarpanel.html> (дата звернення: 02.01.2026).

20. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). European Commission. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html (дата звернення: 02.01.2026).

21. Електронний атлас «Клімат України». URL: <https://geomap.land.kiev.ua/climate-1.html> (дата звернення: 02.01.2026).

22. Акумулятори для систем відновлюваної енергії : ДСТУ EN 61427-1:2015. [Чинний від 2015-12-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.

23. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 392 с.

24. Наземні фотоелектричні модулі з кристалічного кремнію. Кваліфікація конструкції та затвердження типу : ДСТУ EN 61215. Київ : ДП «УкрНДНЦ».

25. Перетворювачі потужності для фотоелектричних систем. Методи вимірювання ефективності : ДСТУ EN 61683. Київ : ДП «УкрНДНЦ».

26. Як обрати дизельний генератор? Покрокове керівництво. Rental Power. URL: <https://rental-power.com.ua/ua/kak-vybrat-dizelnyj-generator-poshagovoe-rukovodstvo/> (дата звернення: 02.01.2026).

27. Як вибрати дизельний генератор: експертний гід. A-Trade. URL: <https://a-trade.com.ua/ua/text-obzor/kak-vybrat-dizelnyj-generator> (дата звернення: 02.01.2026).

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Конструктивні особливості дизельних електрогенераторів: на що варто дивитися під час вибору? 130.com.ua. URL: <https://130.com.ua/uk/na-cho-smotret-pri-vybore-dizelnogo-generatora/> (дата звернення: 02.01.2026).

29. Контролер заряду Victron SmartSolar MPPT 250/100 MC4 VE.Can. Polygon Center. URL: <https://shop.polygon.center/victron-energy-smartsolar-mppt-250-100-mc4-ve.can-kontroler-zariadu/> (дата звернення: 02.01.2026).

30. Yacht-Supply24 : каталог обладнання. URL: <https://yacht-supply24.com/> (дата звернення: 02.01.2026).

31. Інвертор EP3200 5000-24 з чистою синусоїдою. Co-Di. URL: <https://co-di.com.ua/ua/p1688054866-invertor-chistoj-sinusoidoj.html> (дата звернення: 02.01.2026).

32. Акумулятор Varta 6 СТ-140-L ProMotive Super Heavy Duty (640400080). Storgom. URL: <https://storgom.ua/ua/product/varta-207315.html> (дата звернення: 02.01.2026).

33. Дизельний генератор ТАТА JM3500X (2.8 кВт / 220 В). E-CTR. URL: <https://e-ctr.com.ua/energосnabzhenie/generatory/dizel-nye-generatory/dizel-nyu-generator-tata-jm3500x-2-8-kvt-220-v> (дата звернення: 02.01.2026).

34. Випрямляч Flatpack2 24/2000. Eltek Ukraine. URL: <https://eltek-ukraine.com/dc-dc/rectifier/46-flatpack-2-24v2000-w> (дата звернення: 02.01.2026).

35. Басова Ю. О., Шумейко М. М. Обґрунтування вибору схем підключення фотоелектричних модулів у сонячних енергетичних системах // Машинобудування, агроінженерія та автомобільний транспорт: інновації і перспективи розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Полтава, 21 трав. 2026 р.). Полтава : ПДАУ, 2026. С. 128–130.

36. Тренінговий посібник для підготовки енергоаудиторів багатоквартирних житлових будівель у контексті Фонду енергоефективності України. Фонд енергоефективності. URL: https://eefund.org.ua/wp-content/uploads/2023/09/posibnyk_treningovyj-posibnyk-dlya-provedennya-energoaudytu_ukr.pdf (дата звернення: 02.01.2026).

					КРБ.141ЕЕбд_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Термін служби сонячних батарей: гарантії виробників і фактори старіння. Solar Garden. URL: <https://www.solargarden.com.ua/termin-sluzhby-sonyachnyh-batarej-garantiyi-vyrobnykiv-i-factory-starinnnya/> (дата звернення: 24.05.2026).

38. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 02.01.2026).

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

40. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. Київ, 2012.

41. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : ДБН В.2.5-23:2010. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.

42. Блискавкозахист (Пожежна безпека) : ДСТУ EN 62305:2019. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

43. 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_41.08.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

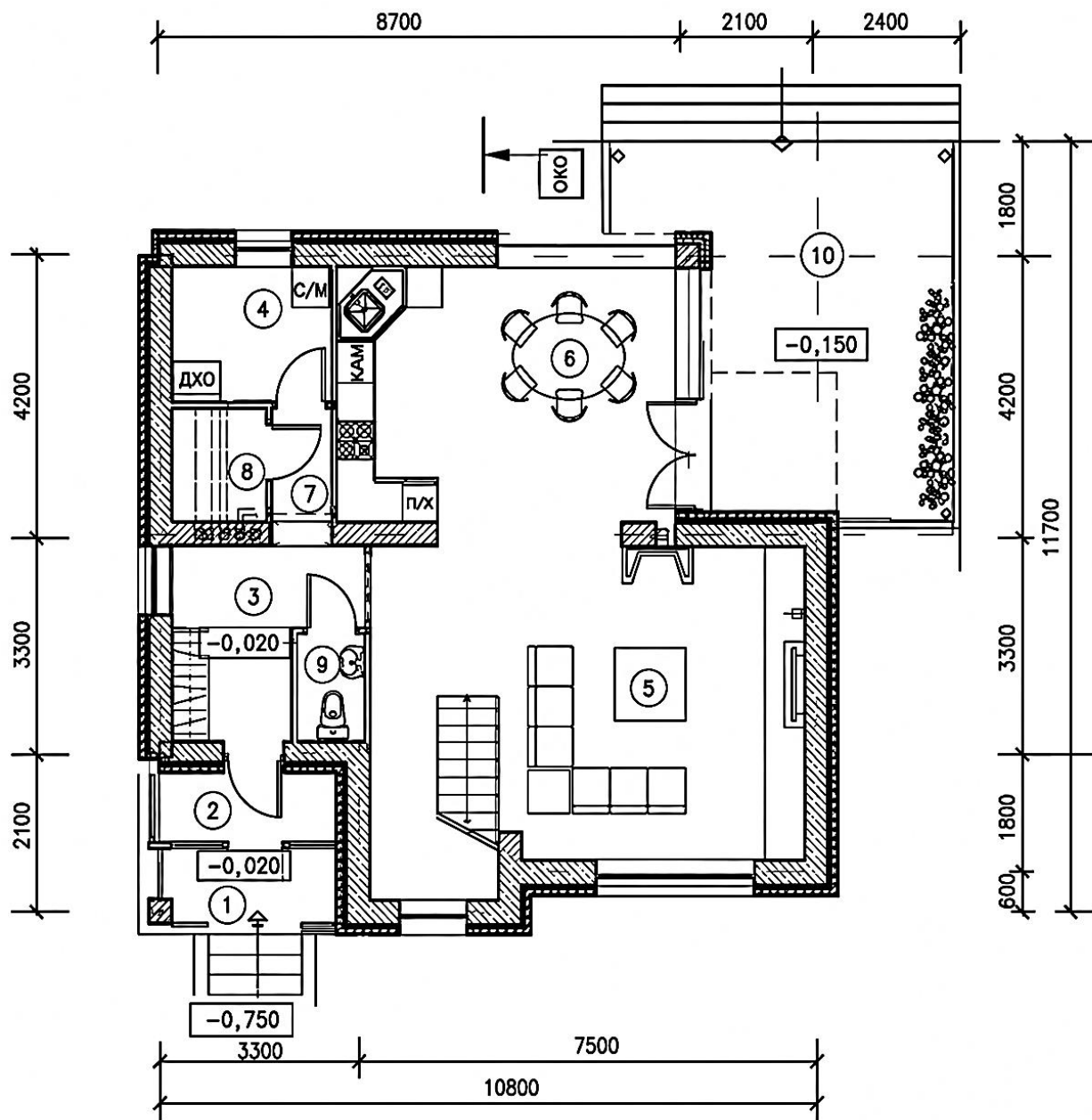


Рисунок А.1 – Проект будинку