

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-24м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

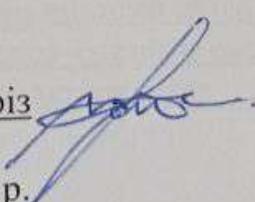
Олександр КИЛАВЧУК 

Керівник: к.т.н., доц. кафедри КЕМСК
Олексій ЖУКОВ 

«25» _____ 11 _____ 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. доцент каф. ЕСЕЕМ
Юлія ШУЛЛЄ

«19» _____ 12 _____ 2025 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри КЕМСК
к.т.н., доц МИКОЛА Мошноріз 

«25» _____ 11 _____ 2025 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.т.н., доц. МИКОЛА Мошнорізі

«14» вересня 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Килавчуку Олександрю Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку

керівник роботи Жуков Олексій Анатолійович к.т.н., доц. каф. КЕМСК.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» вересня 2025 р.

№ _____

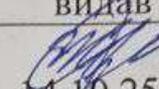
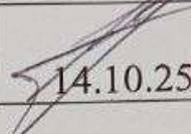
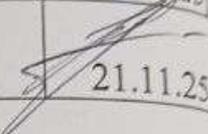
2. Строк подання студентом роботи «25» 11 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: сонячна станція, резервне живлення дизельного генератору.

4. Зміст текстової частини: Вступ; огляд літературних джерел за темою дослідження. Аналіз систем автоматичного перемикавання живлення. Розробка математичної моделі і законів керування сонячною установкою. Адаптація структури системи автоматичного керування до нечітких умов роботи. Комп'ютерне моделювання. Економічна частина; Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Структурна схема системи автоматичного керування. Структурна схема регулятора системи автоматичного керування ФЕУ та закон керування. Структурна схема регулятора системи автоматичного керування із блоком нечіткого логічного висновку. Характеристика вхідних та вихідних величин математичної моделі. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи.

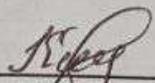
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Жуков О. А., к.т.н., доц. каф. КЕМСК	 14.10.25р.	 21.11.25р.
Економічна частина	Шулле Ю. А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 14.10.25р.	 21.11.25р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

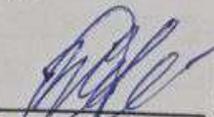
№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	24.09.25р.	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	28.10.2025р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2025р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2025р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	21.11.2025р.	
6	Попередній захист МКР	24.11.2025р.	
7	Нормоконтроль МКР	25.11.2025р.	
8	Рецензування МКР	19.12.2025р.	
	Захист МКР	23.12.2025р.	

Студент


(підпис)

Олександр КИЛАВЧУК
(прізвище та ім'я)

Керівник роботи


(підпис)

Олексій ЖУКОВ
(прізвище та ім'я)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.316.7

Килавчук Олександр Валерійович «Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку». Магістерська кваліфікаційна робота. Вінниця: ВНТУ. 2025. 83 с. на укр. мові. Бібліографій: 11. Рисуноків: 17. Таблиць: 8.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто заходи з оптимізації роботи системи керування сонячним електротехнічним комплексом. Запропоновано створення системи автоматичного керування, яка автоматизованому перемикаю резервного живлення. Основна частина роботи містить математичну модель і закон керування сонячною електроустановкою, опис структури системи автоматичного керування, яка реалізує цей закон, а також результати комп'ютерного моделювання функціонування комплексу.

У розділі з охорони праці наведено основні вимоги для безпечної експлуатації сонячного комплексу в умовах впливу шкідливих чинників навколишнього середовища.

Ключові слова: резервне живлення, сонячна панель, акумулятор, електроспоживання, фотоелектрична установка, інвертор.

ABSTRACT

UDC: 621.316.7

Kylavchuk Oleksandr Valeriyovych “Automated backup power supply control system for a private house”. Master's thesis. Vinnytsia: VNTU. 2025. 83 p. in Ukrainian. Bibliographies: 11. Figures: 17. Tables: 8.

The master's qualification work considers measures to optimize the operation of the control system of a solar electrical complex. It is proposed to create an automatic control system that automates the switching of backup power. The main part of the work contains a mathematical model and a control law for a solar power plant, a description of the structure of the automatic control system that implements this law, as well as the results of computer modeling of the functioning of the complex.

The occupational health and safety section provides the basic requirements for the safe operation of a solar complex under conditions of exposure to harmful environmental factors.

Keywords: backup power, solar panel, battery, electricity consumption, photovoltaic system, inverter.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ABSTRACT	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	13
1.1 Огляд та оцінка існуючих систем резервного енергозабезпечення.....	13
1.2 Аналіз основних сонячних фотоелектричних систем.....	15
1.3 Варіанти встановлення фотомодулів	19
1.4 Аналіз потенціалу сонячної енергетики Вінницького регіону	23
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	26
2.1 Аналіз електроспоживання приватного будинку	26
2.2 Критерії підбору сонячних модулів для фотоелектричної системи	29
2.3 Чим відрізняється сонячна панель N- типу і P-типу	33
2.4 Порівняння моно та полікристалу.....	34
2.5 Підбір акумуляторної батареї для сонячної електростанції	36
2.6 Підбір конструкції та конфігурації ФЕУ	39
2.7 Які бувають типи інверторів для підключення приватного будинку	40
2.8 Які бувають типи генераторів.....	42
2.9 Пристрої автоматичного введення резерву	44
2.10 Розробка схеми керування фотоелектричною установкою	46
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	49
3.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропостачання	49
3.2 Економічне обґрунтування вибору складових системи.....	50
3.2.1 Визначення капітальних вкладень	50
Інверторний генератор TIREX TRG5500Di 5,0/5,5кВт	50
3.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	51
3.3 Визначення кошторису для проведення поточного ремонту обладнання.....	53
3.4.1 Виробіток електричної енергії ФЕС (13 кВт)	54
3.4.2 Термін окупності системи	56

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	57
4.1 Техніка безпеки при обслуговуванні електричних систем.....	57
4.2 Аналіз небезпечних чинників на робочому місці.....	57
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
Додаток А.....	63
Додаток Б.....	67
Додаток В.....	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ФЕУ – фотоелектрична установка

ФЕМ – фотоелектричний модуль

АФС – автономні фотоелектричні системи

СФС – сонячні фотоелектричні системи

АБ – акумуляторна батарея

ВСТУП

Актуальність теми. Надійність електропостачання є одним із ключових чинників стабільної роботи інженерних та побутових систем житлових будинків. У реальних умовах експлуатації електричних мереж спостерігаються аварійні відключення, нестійкі режими напруги, а також перехідні процеси, що виникають під час зміни конфігурації навантаження. Зазначені явища супроводжуються як тривалими перервами в електроживленні, так і короточасними імпульсними перенапругами, що негативно впливають на функціонування електронних пристроїв, систем автоматизації та засобів протипожежного захисту. Унаслідок цього зростає потреба у впровадженні ефективних рішень, здатних забезпечити безперервне електроживлення приватних споживачів незалежно від стану централізованої електромережі.

Одним із найбільш доцільних шляхів підвищення енергетичної автономності житлових об'єктів є використання малопотужних сонячних фотоелектричних установок, інтегрованих у існуючу систему електропостачання. Такі установки можуть функціонувати у паралельному режимі з мережею, компенсуючи дефіцит електроенергії та знижуючи залежність споживачів від зовнішніх джерел. На відміну від масштабних проєктів розвитку енергетичної інфраструктури, впровадження малих фотоелектричних систем характеризується відносною простотою реалізації, швидкістю монтажу та економічною доцільністю. У зв'язку з цим питання дослідження, оптимізації та вдосконалення обладнання таких систем набуває особливої актуальності та має вагомим практичне значення.

Система керування резервними джерелами живлення являє собою інтегрований програмно-апаратний комплекс, призначений для автоматизованого контролю процесів генерації, накопичення та розподілу електричної енергії. Основним завданням такої системи є забезпечення стабільної роботи електрообладнання в умовах нестабільного або повністю відсутнього електропостачання з боку основної мережі. У разі виникнення

аварійних ситуацій система переходить на альтернативні джерела живлення та підтримує необхідний рівень енергозабезпечення до моменту відновлення штатного режиму роботи.

Сучасні автономні та гібридні системи резервного електроживлення передбачають використання декількох незалежних джерел енергії, зокрема сонячних модулів, акумуляторних батарей, централізованої електромережі та автономних електрогенераторів. Застосування гібридних інверторів дозволяє гнучко керувати потоками електроенергії, автоматично обираючи оптимальне джерело залежно від поточних умов. Крім того, у разі критичного зниження рівня заряду акумуляторів та відсутності напруги в мережі можливий автоматичний запуск бензинових або дизельних генераторів, що суттєво підвищує надійність системи в цілому.

Важливою перевагою сучасних рішень є можливість налаштування пріоритетів використання джерел електроенергії. Наприклад, у денний час енергоспоживання може здійснюватися безпосередньо від сонячних панелей, тоді як у вечірні години – від мережі, що дозволяє мінімізувати цикли заряду-розряду акумуляторних батарей і продовжити термін їх експлуатації. У аварійних режимах акумулятори використовуються як резервне джерело живлення, забезпечуючи безперервність роботи критично важливих споживачів.

У системах, побудованих із застосуванням окремих контролерів заряду, енергопостачання споживачів здійснюється через акумуляторні батареї, оскільки безпосереднє живлення від фотоелектричних модулів у змінному струмі є неможливим. У цьому випадку вироблена сонячними панелями електроенергія накопичується в акумуляторах, після чого через інвертор перетворюється у змінну напругу, необхідну для живлення побутових приладів. Для забезпечення безпечної та надійної роботи системи передбачається використання комплексу захисних пристроїв, що включає апарати захисту від короткого замикання, перенапруг, перевантажень і зворотних струмів. Конструктивні елементи кріплення сонячних панелей

забезпечують їх механічну стійкість, ефективне охолодження та відповідність архітектурним вимогам.

Метою магістерської роботи є розроблення проекту системи автоматизованого керування резервними джерелами електроживлення житлового будинку з використанням альтернативних джерел енергії.

Об'єкт дослідження – електромеханічні процеси автоматизованого керування перемиканням резервного живлення.

Предмет дослідження – сонячна електростанція, гібридна установка, а також додатковий інверторний генератор.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: методи теорії автоматичного перемикання мережі; імітаційне моделювання; методи порівняльного аналізу.

Постановка задачі проектування.

- 1) проаналізувати сучасний стан розвитку сонячних електричних панелей;
- 2) обґрунтувати вибір гібридного інвертору та акумуляторної збірки;
- 3) розробити структурну схему резервного перемикання;
- 4) провести імітаційне моделювання роботи.

Наукова новизна:

Реалізовано принцип енергоощадного керування двома АВР для запобігання автоматичного перемикання між СЕС та мережею, а також мережею і гібридним інвертором. Та запропоновано відповідну структурну схему.

Практичне значення одержаних результатів:

Запропонована структурна схема системи керування може бути використана при проектуванні або модернізації автоматизованих систем резервного живлення приватного будинку.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи, отримані автором самостійно.

Публікації. За тематикою дослідження було опубліковано тези доповіді

за результатами виступів на конференціях:

Жуков О. А., Килавчук О. В. До питання оцінки коефіцієнта використання встановленої потужності відновлюваних джерел енергії // Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2025) : матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції (22–23 жовтня 2025 р.) : збірник наукових праць. – Вінниця : ВНТУ, 2025. – С. 142–143. – ISBN 978-617-8163-64-8.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд та оцінка існуючих систем резервного енергозабезпечення.

Система керування резервним електроживленням виконує визначальну роль у забезпеченні стабільної роботи електрообладнання приватного будинку. Її основне призначення полягає у підтриманні безперервного енергопостачання всіх споживачів, підключених до внутрішньої електромережі, незалежно від стану зовнішнього джерела живлення. У разі виникнення аварійних ситуацій, зникнення напруги або критичних відхилень параметрів електроенергії у централізованій мережі система автоматично переходить на резервний режим роботи та забезпечує живлення електроприладів до моменту відновлення нормального електропостачання.

Автономні та резервні системи електроживлення можуть реалізовуватися з використанням різних типів джерел енергії, що дозволяє зменшити або повністю усунути залежність від міської електромережі. Головною функціональною вимогою до сучасних резервних джерел живлення є гарантування постійної доступності електричної енергії навіть у випадках тривалих перебоїв або нестабільної роботи основного джерела.

До базових функцій резервних систем належать безперервний моніторинг параметрів електромережі, захист споживачів від імпульсних перенапруг, а також накопичення електричної енергії в акумуляторних батареях. Якщо напруга або частота виходять за межі допустимих значень чи живлення повністю зникає, автоматизовані пристрої керування здійснюють підключення інверторного перетворювача, який забезпечує живлення навантаження від акумуляторів.

Інвертор призначений для формування змінної напруги необхідного рівня шляхом перетворення постійного струму. Джерелом постійної напруги, як правило, виступають акумуляторні батареї або сонячні фотоелектричні панелі з номінальною напругою 12В. У простих та малобюджетних інверторних пристроях вихідна форма напруги є наближеною до синусоїдальної, що може

негативно впливати на роботу електроприладів із імпульсними джерелами живлення, викликаючи їх перегрів і скорочення строку служби. У більш якісних інверторах формується напруга з правильною синусоїдальною формою, відома як «чистий синус», яка є безпечною для будь-якого типу навантаження.

Акумуляторні батареї, що застосовуються в інверторних системах, поступово розряджаються в процесі експлуатації та потребують регулярного поповнення енергетичного запасу. Заряджання акумуляторів може здійснюватися від міської електромережі, автономних генераторів або відновлюваних джерел енергії. Найбільш перспективним варіантом є використання альтернативних джерел, що дозволяє підвищити автономність та енергоефективність системи. У періоди відсутності зовнішнього електропостачання інвертор забезпечує живлення основних побутових споживачів, зокрема освітлення, холодильного обладнання та мультимедійних пристроїв.

Одним із найефективніших рішень для організації резервного електропостачання приватного будинку є застосування сонячних фотоелектричних батарей. Такі системи забезпечують екологічно безпечне виробництво електричної енергії та складаються з фотоелектричних модулів, поверхня яких покрита спеціальним загартованим склом із мікроструктурою, що підвищує коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання.

Вітроенергетичні установки можуть використовуватися як джерело електроенергії лише в регіонах зі стабільними вітровими умовами. Через залежність від кліматичних факторів та складність прогнозування генерації електроенергії їх застосування як резервного джерела живлення для замських будинків залишається обмеженим.

Газогенераторні електростанції функціонують на природному або зрідженому газі та підключаються до газопостачальної інфраструктури. Вони характеризуються відносно низькою собівартістю виробленої електроенергії, високим ресурсом роботи та наявністю вбудованих систем автоматичного

керування. Такі установки зазвичай розраховані на тривалу безперебійну експлуатацію в автоматичному режимі з можливістю дистанційного моніторингу, а рівень шкідливих викидів у них є нижчим порівняно з бензиновими або дизельними генераторами.

Система електроживлення вважається повністю автономною у випадку відсутності підключення до централізованої електромережі, коли вся необхідна електрична енергія виробляється альтернативними джерелами, такими як сонячні батареї, вітрогенератори або гідроустановки. Робота таких систем має циклічний характер, а тривалість автономного режиму визначається ємністю акумуляторних батарей та рівнем споживаної потужності навантажень.

Практичний досвід експлуатації показує, що інверторно-акумуляторні комплекси у багатьох випадках здатні повністю замінити традиційні електрогенератори. Порівняно з системами резервного живлення, побудованими виключно на генераторах, рішення типу «інвертор + акумулятори» забезпечують миттєвий перехід на резервне живлення, працюють безшумно, не створюють шкідливих викидів, можуть бути розміщені безпосередньо в житлових приміщеннях та мають більший строк служби при значно простішій експлуатації.

1.2 Аналіз основних сонячних фотоелектричних систем

Використання сонячного випромінювання для отримання електричної енергії в фотоелектричних системах ґрунтується на фізичних процесах, що відбуваються в напівпровідникових матеріалах під дією світлового потоку. Завдяки можливості прямого перетворення енергії сонця в електричну без застосування проміжних механічних або теплових ланок даний спосіб генерації набув статусу одного з пріоритетних напрямів розвитку відновлюваної енергетики. Його поширення обумовлене універсальністю використання незалежно від територіального розташування, відсутністю шкідливого впливу на навколишнє середовище, значною довговічністю

обладнання, незначними експлуатаційними витратами, а також прийнятною якістю електричної енергії при автономному або локальному електропостачанні.

Фотоелектричні джерела застосовуються як у малопотужних автономних пристроях, що забезпечують роботу побутової електроніки з мінімальним енергоспоживанням, так і у складі великих енергетичних комплексів, призначених для виробництва електроенергії у промислових масштабах.

Сучасний стан галузі характеризується стрімким зростанням обсягів виробництва, які у світовому масштабі сягають приблизно 10 ГВт щорічно, при цьому темпи збільшення випуску фотоелектричних елементів перевищують 40 %, що свідчить про високий рівень зацікавленості у даній технології.

Фотоелектрична установка являє собою багатокомпонентну систему, у якій кожен елемент виконує чітко визначену функцію. Генерація електроенергії здійснюється за допомогою фотоелектричних модулів, сформованих із окремих напівпровідникових елементів на основі кремнію, які перетворюють сонячне випромінювання в постійний електричний струм. Для регулювання процесів накопичення енергії та захисту акумуляторів використовується контролер заряду, що забезпечує контроль параметрів струму та напруги. Акумуляторні батареї призначені для зберігання виробленої електроенергії та її використання у періоди відсутності сонячного освітлення. Забезпечення живлення споживачів змінним струмом стандартної напруги досягається шляхом застосування інвертора, який перетворює постійну напругу 12В, 24В або 48В у змінну напругу 220В або 380В. До допоміжних елементів системи належать комутаційні пристрої, провідники та апарати електричного захисту [1].

Автономні фотоелектричні системи знаходять застосування у місцевостях, де відсутній доступ до централізованих електричних мереж. У таких системах акумуляторна батарея виконує не лише функцію накопичення електроенергії, виробленої фотоелектричними модулями, але й забезпечує

стабільність напруги на стороні навантаження. Надійність і безпечність роботи автономних систем досягається завдяки використанню комплексу комутаційних елементів та захисної апаратури, які запобігають перевантаженням і аварійним режимам.

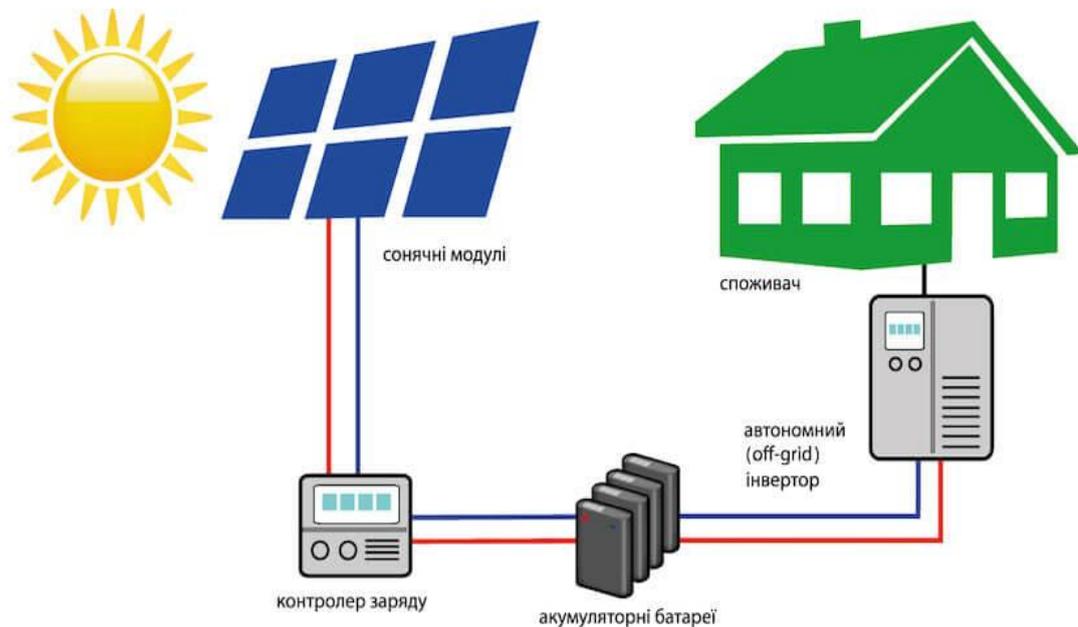


Рисунок 1.1 – Схема автономної фотоелектричної системи

Робота сонячної електроенергетичної системи ґрунтується на послідовному перетворенні та розподілі енергії, отриманої від сонячного випромінювання. У процесі опромінення фотоелектричних модулів у них формується електричний струм постійного типу, який через систему комутації подається на пристрій керування зарядом. Контролер виконує функції регулювання та адаптації параметрів електричної енергії, забезпечуючи заряд акумуляторних батарей при номінальних значеннях напруги 12В, 24В або 48В.

Накопичена в акумуляторах енергія надалі спрямовується до інверторного перетворювача, де здійснюється її трансформація з постійного струму у змінний струм стандартної напруги 220В. Отримана таким чином електроенергія використовується для живлення побутових споживачів у житловому будинку. У випадку, коли поточна генерація електроенергії фотоелектричними модулями перевищує рівень споживання навантаженням,

надлишкова потужність автоматично накопичується в акумуляторних батареях, що підвищує енергетичну автономність системи.

Окрему групу становлять сонячні фотоелектричні установки, інтегровані з централізованою електромережею. Використання таких систем дозволяє суттєво зменшити обсяги споживання електроенергії з зовнішньої мережі, а за умови надлишкової генерації – здійснювати передачу виробленої електроенергії до енергосистеми загального користування. Це створює можливість отримання економічної вигоди шляхом реалізації електроенергії відповідно до умов «зеленого» тарифу (рисунок 1.2).

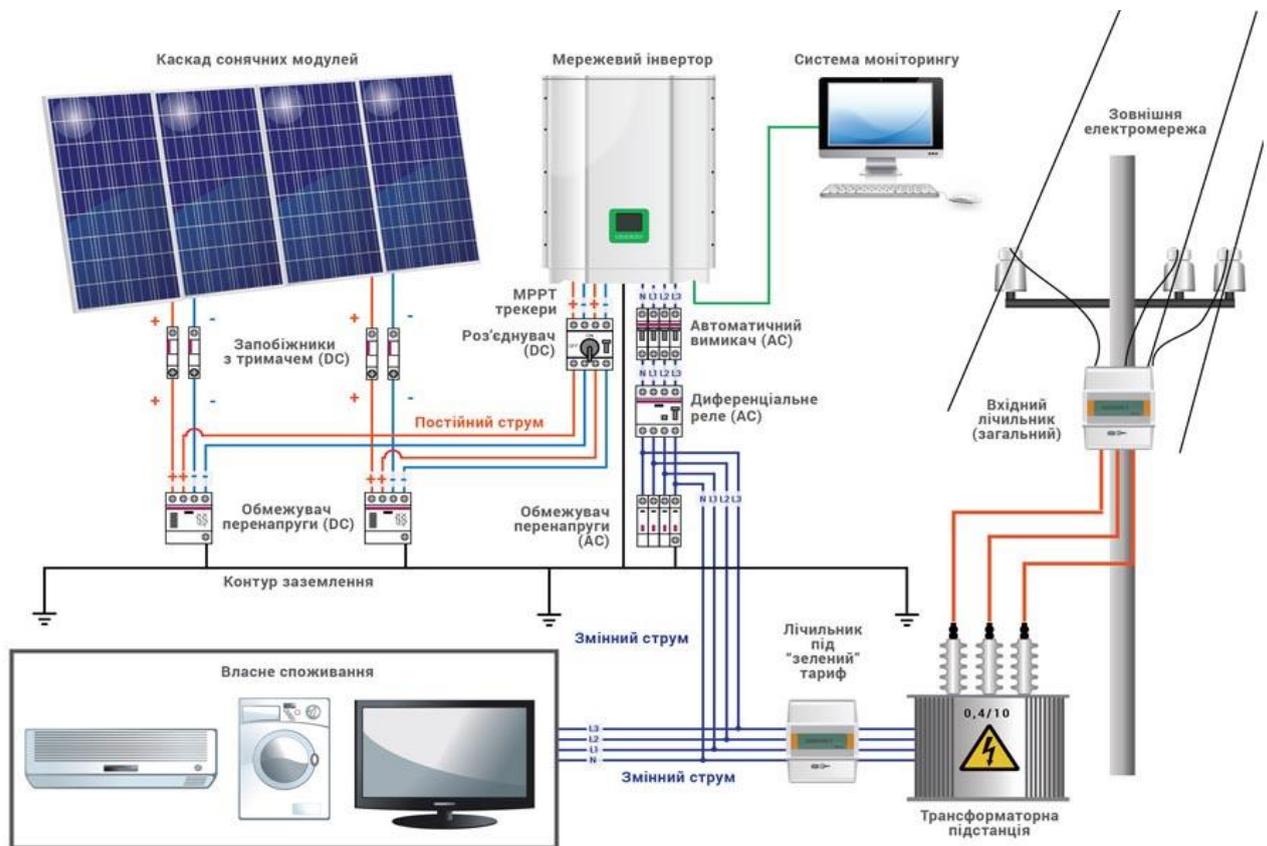


Рисунок 1.2 – Структурна схема підключення СФС

Мережеві сонячні електростанції конструктивно не передбачають використання акумуляторних батарей, тому не здатні функціонувати як самостійне джерело електропостачання. Їх робота здійснюється виключно у взаємодії з централізованою електричною мережею. Уся електрична енергія, що генерується фотоелектричними модулями, через інверторний

перетворювач безпосередньо передається до мережі загального користування.

У певних випадках такі системи можуть доповнюватися спеціалізованими технічними засобами, які розширюють їх функціональні можливості [2]. До них належать акумуляторні блоки, призначені для забезпечення живлення критично важливих споживачів під час аварійного знеструмлення зовнішньої мережі, а також пристрої обмеження та контролю потоків електроенергії, що запобігають небажаній передачі надлишкової генерації сонячної електростанції у загальну енергосистему.

1.3 Варіанти встановлення фотомодулів

Розглянемо найбільш поширені способи монтажу фотоелектричних установок. Одним із найраціональніших рішень для індивідуальної житлової забудови є встановлення сонячних модулів на **похилому даху будівлі**. Конструктивні особливості скатного даху забезпечують наявність фіксованого кута нахилу, що дозволяє оптимально орієнтувати фотоелектричні панелі відносно сонячного випромінювання та мінімізувати ефект взаємного затінення між елементами системи.

Крім того, розміщення панелей на даху дає змогу максимально ефективно використовувати доступну площу будівлі без залучення додаткових земельних ресурсів. Загальна площа, необхідна для встановлення такої фотоелектричної системи, визначається сумарною площею всіх сонячних панелей і, з урахуванням технологічних проміжків для обслуговування та доступу під час експлуатації, становить орієнтовно 75 м².



Рисунок 1.3 – Монтаж ФЕУ на похилому даху будівлі

Розміщення на плоский дах. Такий спосіб монтажу є доцільним насамперед для промислових і аграрних об'єктів, що характеризуються значною площею плоских покрівель. Під час розміщення фотоелектричної сонячної електростанції на горизонтальному даху кут нахилу модулів, як правило, приймають у межах 10–15°, в Україні коректні значення 30-35°. Обраний діапазон зумовлений вимогами до механічної стійкості конструкції та її надійної роботи в умовах дії вітрових і снігових навантажень.

Зменшення кута нахилу призводить до зниження вітрового тиску на поверхню панелей, що дає можливість використовувати простіші та економічно вигідніші системи кріплення. Крім того, при невеликому нахилі фотоелектричних модулів істотно скорочується зона взаємного затінення між сусідніми рядами, завдяки чому модулі можуть встановлюватися з меншою міжрядною відстанню. Це забезпечує більш ефективне використання доступної покрівельної площі.



Рисунок 1.4 – Монтаж ФЕУ на плоскому даху будівлі

Наземна сонячна електростанція За наявності достатньої вільної земельної ділянки найбільш доцільним рішенням є встановлення фотоелектричних модулів на наземних конструкціях із кутами нахилу, наближеними до оптимальних для конкретного географічного розташування. Такий підхід забезпечує підвищення річного виробітку електричної енергії та сприяє скороченню строку окупності витрат, пов'язаних із проектуванням сонячної електростанції, придбанням обладнання та виконанням монтажних робіт. Наземне розміщення фотоелектричних установок є універсальним рішенням і може ефективно застосовуватися як у приватному секторі, так і на об'єктах промислового призначення [3].

Під час проектування наземної фотоелектричної електростанції ключовим питанням є спосіб фіксації кута нахилу сонячних панелей, оскільки саме цей параметр істотно впливає на енергетичну ефективність системи.

Залежно від конструктивного виконання опор та режиму експлуатації, розрізняють такі основні варіанти встановлення фотоелектричних модулів на наземних металоконструкціях:

Фіксований кут нахилу, підібраний для досягнення максимальної середньорічної генерації електроенергії. Даний варіант є найбільш поширеним у практиці будівництва комерційних сонячних електростанцій завдяки простоті реалізації та мінімальним експлуатаційним витратам.

Фіксований кут, оптимізований для зимового періоду, що забезпечує підвищене вироблення електроенергії за умов низького положення Сонця. Така конфігурація доцільна для систем автономного або резервного електропостачання, у яких максимальне навантаження припадає на холодну пору року.

Фіксований кут, орієнтований на літній сезон, який використовується переважно для об'єктів сезонної експлуатації, зокрема дачних будинків, баз відпочинку або пансіонатів.

Періодична зміна кута нахилу, зазвичай двічі на рік, з переходом між зимовим та весняно-осіннім оптимальними положеннями. Такий підхід інколи застосовується у комерційних установках за умов наявності технічної можливості та персоналу для регулювання орієнтації модулів.

Одновісні трекерні системи, що забезпечують автоматичне стеження за положенням сонця в одній площині. Використання таких конструкцій дозволяє збільшити виробіток електроенергії приблизно на 10 % у порівнянні зі стаціонарними опорами.

Двоосьові трекерні системи, які відстежують рух сонця в двох площинах і забезпечують максимальну орієнтацію фотоелектричних модулів протягом усього світлового дня. У цьому випадку приріст генерації може досягати 25–30 % відносно фіксованих конструкцій [4].

Кожен із наведених варіантів має як переваги, так і обмеження. Трекерні системи дозволяють отримати максимальний енергетичний вихід у межах заданого регіону, проте потребують більшої площі встановлення та характеризуються вищою вартістю монтажу й обслуговування. Натомість стаціонарні конструкції з фіксованим кутом нахилу є економічно вигіднішими та надійнішими в експлуатації, однак забезпечують дещо нижчий рівень

генерації.

На практиці найчастіше застосовується фіксований кут, оптимізований для середньорічного виробітку електроенергії. Водночас у зимовий період така конфігурація характеризується мінімальними показниками генерації, що у випадку автономних або резервних систем може зумовлювати необхідність залучення додаткових джерел електроенергії або використання накопичувачів підвищеної ємності.



Рисунок 1.5 – Кут нахилу ФЕУ в залежності від періоду

1.4 Аналіз потенціалу сонячної енергетики Вінницького регіону

Вінницька область займає вигідне географічне положення у центральньо-західній частині території України. Її площа становить орієнтовно 26,5 тис. км², що відповідає близько 4,4 % загальної площі країни. Північна крайня точка області розміщена неподалік села Голдашівка Жмеринського району на широті приблизно 49°28' північної широти. Найпівденніша точка регіону знаходиться в околицях населеного пункту Студена Тульчинського району та має координати близько 48°00' північної широти. Західний кордон області проходить поблизу села Бронниця Могилів-Подільського району з орієнтовною довготою 27°10' східної довготи, тоді як східна межа розташована поблизу населеного пункту Ставки Гайсинського району на довготі близько 29°00' східної довготи. Просторова протяжність області у меридіональному напрямку сягає приблизно 200 км, тоді як у широтному

напрямку – до 190 км [5].

Розташування Вінницької області у межах лісостепової зони зумовлює відносно сприятливі умови для використання сонячної енергії. Відповідно до карти просторового розподілу сонячної інсоляції на території України (рисунок 1.6), регіон характеризується середнім рівнем надходження сонячної радіації, достатнім для ефективної роботи фотоелектричних установок.

Річний радіаційний баланс на території Вінницької області є додатним і в середньому перебуває в межах **40–42 ккал/см² за рік**. Максимальні значення сумарної сонячної радіації спостерігаються в літні місяці, зокрема у **червні та липні**, тоді як мінімальні – у зимовий період, переважно у **грудні та січні**.



Рисунок 1.6 – Карта розподілу сонячної інсоляції на території України
(Вт/кв.м (дані за 2005 р.))

Кліматичні умови області формуються під впливом як атлантичних, так і континентальних повітряних мас. Західні та південно-західні циклони приносять помірно тепле й вологе повітря з Атлантичного океану, що сприяє зменшенню різких температурних коливань. Водночас вторгнення арктичних повітряних мас із півночі може призводити до зниження температури, що іноді супроводжується пізніми весняними та ранніми осінніми заморозками.

Загалом поєднання географічного положення, кліматичних умов та рівня

сонячної інсоляції дозволяє розглядати Вінницьку область як перспективний регіон для впровадження систем сонячної енергетики як у складі автономних, так і мережевих фотоелектричних установок.

Продовження таблиці 2.2 – Розподіл електроспоживання приватного будинку за годинам у період з 13:00 до 24:00

Лампи	20	2						0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Чайник	1500	1			0,125									
Пральна + сушильна машини	1500	1				2,5								
Водяний насос	370	1		0,185										
		W	0,2	0,485	0,425	2,8	0,2	0,29	0,32	0,42	0,47	0,37	0,32	0,32

Загальне добове споживання електроенергії становить 12,84 кВт·год.

Візуалізація погодинного розподілу енергоспоживання наведена на рисунках 2.1 та 2.2.

W кВт·год

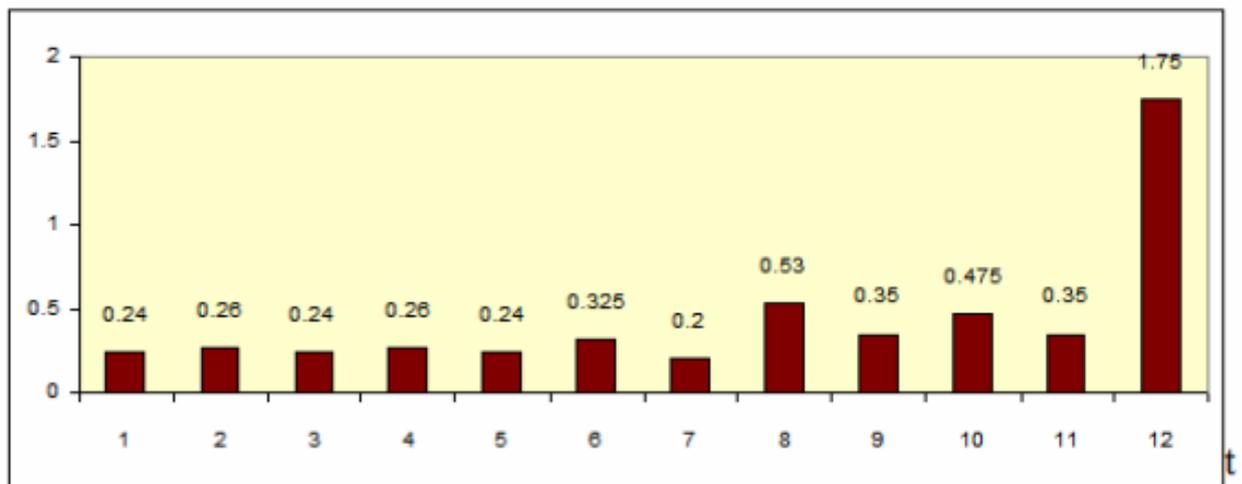


Рисунок 2.1 – Розподіл електроспоживання приватного будинку за годинам у період з 00:00 до 12:00

W кВт·год

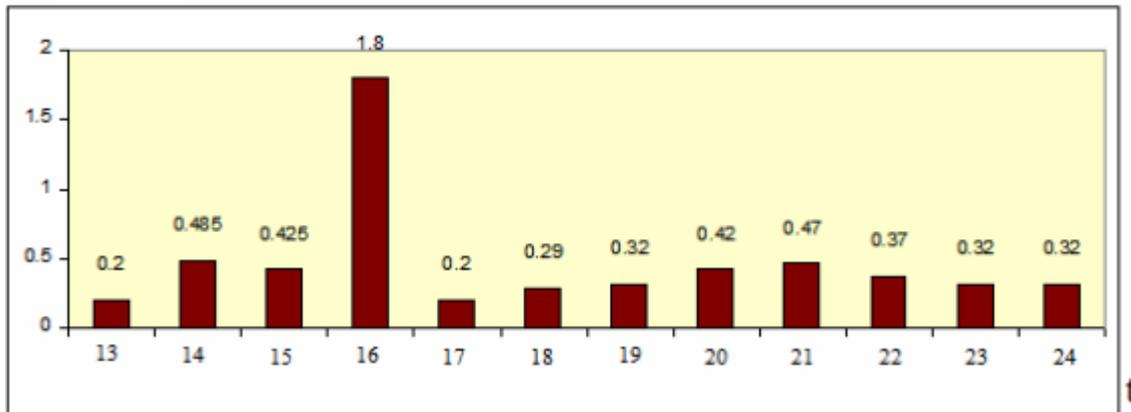


Рисунок 2.2 – Розподіл електроспоживання приватного будинку за годинам у період з 13:00 до 24:00

Загалом у нічний період було витрачено електроенергії, що наведено у таблицях 2.1 та 2.2.

$$\begin{aligned} \sum W_{ніч} &= W_{19} + W_{20} + W_{21} + W_{22} + W_{23} + W_{24} + W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \\ &+ W_5 + W_6 = 0.32 + 0.42 + 0.47 + 0.37 + 0.32 + 0.32 + 0.24 + 0.26 + \\ &+ 0.24 + 0.26 + 0.24 + 0.325 = 5.8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Відповідно впродовж світлового дня було спожито,

$$\begin{aligned} \sum W_{день} &= W_7 + W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + \\ &+ W_{17} + W_{18} = 0.2 + 0.53 + 0.35 + 0.475 + 0.35 + 1.65 + 0.2 + 0.485 + \\ &+ 0.425 + 2.8 + 0.2 + 0.29 = 7.04 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

Сумарне добове споживання електроенергії становить,

$$\sum W_{сум} = \sum W_{день} + \sum W_{ніч} = 7.04 + 5.8 = 12.84 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Середня нічна потужність (рис. 2.1) $P_{ср, ніч}$.

$$P_{ср, ніч} = \frac{\sum W_{ніч}}{T_{ніч}} = \frac{5.8}{12} = 0.483 \text{ кВт}$$

Середня спожита потужність впродовж дня

$$P_{ср, ніч} = \frac{\sum W_{день}}{T_{день}} = \frac{7.04}{12} = 0.586 \text{ кВт}$$

На рисунку 2.3 відзначається максимальний піковий рівень споживаної потужності, який досягає 2,8 кВт, що обумовлено одночасною роботою пральної та сушильної машин.

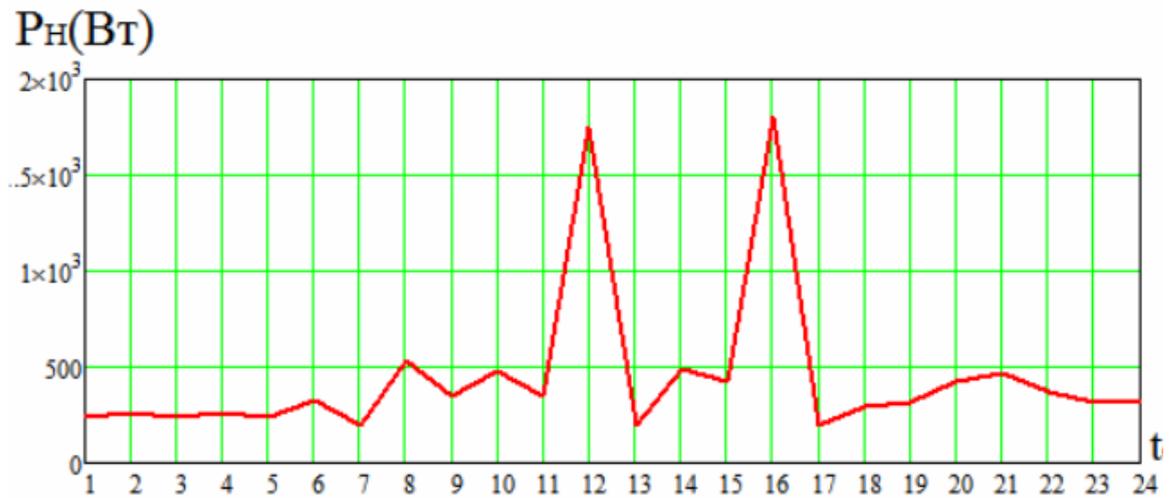


Рисунок 2.3 – Динаміка споживаної потужності протягом доби

У місті Вінниця споживання електроенергії у приватних будинках протягом року залишається відносно стабільним. Найвищі показники енергоспоживання спостерігаються у вечірні та нічні години, коли активно використовуються акумуляторні батареї.

2.2 Критерії підбору сонячних модулів для фотоелектричної системи

Сучасні сонячні панелі умовно класифікують на дві головні групи. До першої відносять кристалічні фотоперетворювачі, а до другої – тонкоплівкові сонячні модулі. Виробництво напівпровідникових елементів на базі монокристалічного кремнію є високотехнологічним процесом, що вимагає значних фінансових витрат і суттєво впливає на кінцеву собівартість вироблених панелей.

У зв'язку з цим переважна частка сучасних фотоелектричних модулів виготовляється з використанням **полікристалічних та тонкоплівкових напівпровідникових матеріалів**, зокрема аморфного гідрогенізованого

кремнію

(*a-Si:H*), арсеніду галію, а також інших багатокомпонентних напівпровідникових сполук.

Тонкоплівкові сонячні елементи мають **багатошарову структуру**, яка формується шляхом послідовного нанесення тонких шарів фотоактивних матеріалів. Товщина окремих шарів, як правило, перебуває в межах від **одиниць нанометрів до кількох тисяч нанометрів**, що дозволяє значно зменшити витрати напівпровідникової сировини.

Серед матеріалів, що найчастіше використовуються для виготовлення тонкоплівкових сонячних елементів, виділяють тонкоплівковий кремній (TF-Si), телурид кадмію (CdTe), а також інші сполуки, які забезпечують оптимальний баланс між коефіцієнтом корисної дії та економічною ефективністю застосування.

На рисунку 2.4 наведено вольт-амперні характеристики різних видів сонячних панелей, відображені в однаковому масштабі.

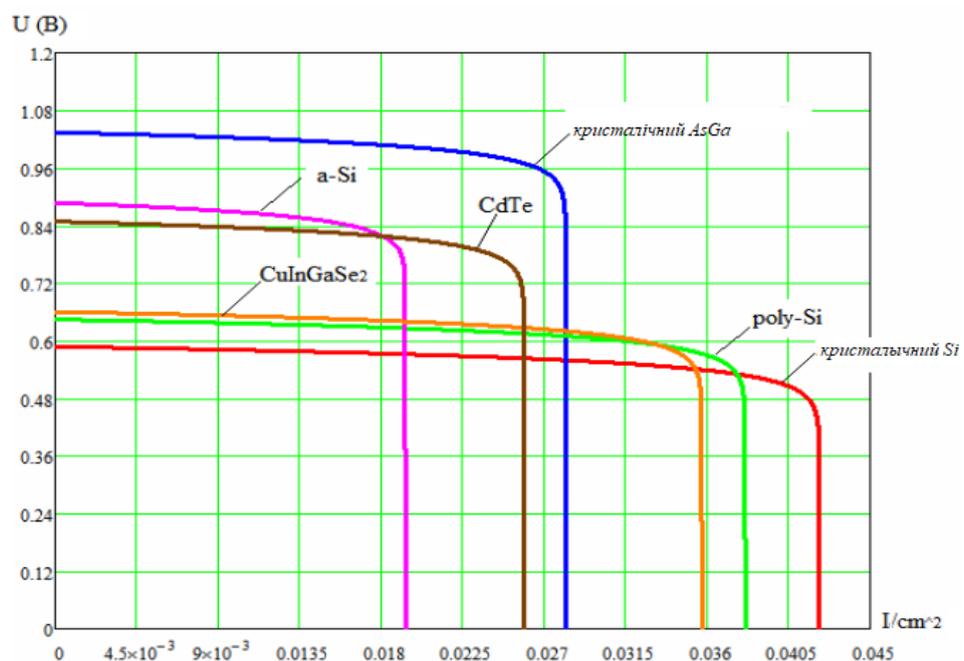


Рисунок 2.4 – Графік залежності напруги від струму для різних типів сонячних панелей

Таблиця 2.3 Порівняльні показники фотомодулів різного типу

Тип СБ	$I_{кз}(mA/cm^2)$	$U_{хх}(В)$	$I_{опт}(mA/cm^2)$	$U_{опт}(В)$	$P_{max}(mВт/cm^2)$	ζ (КЗ)	η (%)
C-Si	42,2	0,672	40,4	0,59	23,85	0,842	24
AsGa	28,2	1,034	27,422	0,942	25,826	0,886	26
poly-Si	38,1	0,644	36,409	0,564	20,54	0,837	20,5
a-Si	19,4	0,723	18,619	0,64	11,916	0,85	11,9
CuInGaSe2	35,7	0,66	34,120	0,58	19,791	0,84	19
CdTe	25,9	0,726	24,882	0,643	15,995	0,851	16

У таблиці 2.3 прийняті наступні позначення:

$I_{кз}$ – питомий струм короткого замикання,

$U_{опт}$ – оптимальна напруга,

$U_{хх}$ – напруга холостого ходу,

$I_{опт}$ – питомий оптимальний струм,

η – ККД у точці максимальної потужності,

P_{max} – питома максимальна потужність,

ζ – коефіцієнт заповнення.

Аналіз даних, наведених у таблиці 2.3, свідчить про те, що сонячні батареї, виготовлені на основі **кристалічного кремнію (C-Si)** та **арсеніду галію (GaAs)**, характеризуються найвищими значеннями коефіцієнта корисної дії. Водночас порівняно з кремнієвими модулями, фотоелектричні перетворювачі на основі арсеніду галію мають значно вищу вартість, що істотно обмежує їх використання у побутових та малопотужних фотоелектричних установках. З огляду на співвідношення енергетичної ефективності та економічної доцільності, для проектування фотоелектричної установки доцільно обрати **кристалічні сонячні батареї на основі C-Si**.

Одним із ключових параметрів, що використовується для оцінювання якості та ефективності сонячних батарей, є **коефіцієнт заповнення ζ** . Цей параметр визначається як відношення максимальної вихідної потужності

фотомодуля до добутку напруги холостого ходу U_{xx} та струму короткого замикання. Для промислових комерційних сонячних панелей характерні значення коефіцієнта заповнення понад 0,7, тоді як для модулів економ-класу цей показник зазвичай коливається в межах 0,4–0,7.

Сонячні панелі з високим коефіцієнтом заповнення відрізняються зменшеними втратами, зумовленими впливом послідовних і паралельних опорів, що позитивно позначається на їхніх експлуатаційних характеристиках у порівнянні з менш якісними модулями.

Залежність вихідного струму та генерованої потужності сонячного елемента від прикладеної напруги наведено на рисунку 2.5. На цьому рисунку представлено криву потужності фотоелектричного елемента, яка змінюється в процесі варіювання вихідної напруги від значення напруги холостого ходу до нуля.

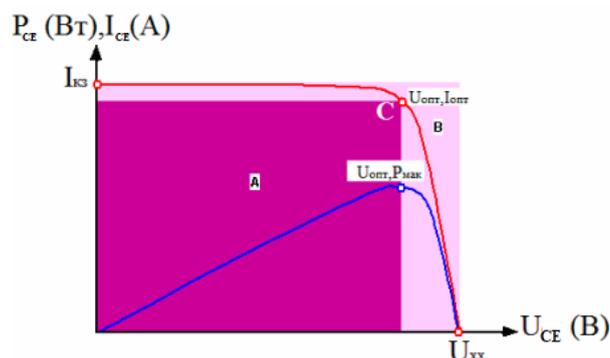


Рисунок 2.5 Вольт-амперні параметри та вихідна потужність $U_{ср}$

$$\zeta = \frac{I_{опт} \cdot U_{опт}}{I_{кз} \cdot U_{хх}}$$

Для сонячних елементів на основі арсенід-галію (AsGa) значення коефіцієнта заповнення ζ коливається в діапазоні від 0,75 до 0,89.

Для вибраної сонячної батареї значення коефіцієнта заповнення перебуває в межах **0,80–0,84**, що буде враховано під час виконання подальших інженерних розрахунків. Коефіцієнт корисної дії сонячного елемента визначається як відношення електричної потужності, яку генерує фотоелектричний елемент, до потужності сонячного випромінювання, що

надходить на активну поверхню сонячної батареї.

На величину ККД фотоелектричного елемента істотно впливають спектральний склад сонячного випромінювання, рівень його інтенсивності, а також робоча температура самого елемента. З метою коректного порівняння різних типів сонячних елементів їх енергетичні показники оцінюють за стандартних випробувальних умов.

2.3 Чим відрізняється сонячна панель N- типу і P-типу

Сонячні панелі N-типу виготовляють із кристалічного кремнію, що містить невелику кількість кисню або інших домішок, які формують негативний заряд, сприятливий для генерації електроенергії. У свою чергу, P-тип панелей виготовляють із того ж кристалічного кремнію, але легованого бором або іншими домішками, що створюють позитивний заряд.

Процеси виготовлення N- і P-типів панелей загалом схожі, проте мають важливі відмінності. Для обох типів використовують високочисті кремнієві пластини, які нарізають, полірують і покривають тонким шаром антиблікового покриття. Основні відмінності стосуються процесу легування: для N-типу додають фосфор, що забезпечує надлишок електронів і формує негативний заряд, тоді як для P-типу вводять бор для створення дефіциту електронів і формування позитивного заряду.

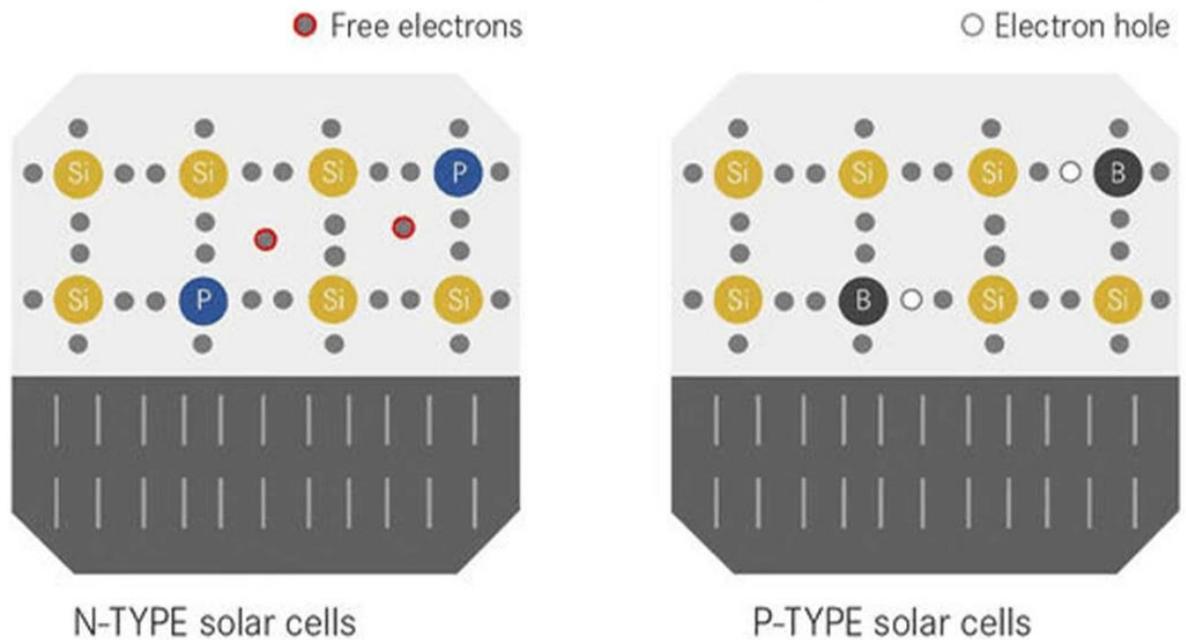


Рисунок 2.6 – Порівняння N-типу та P-типу

2.4 Порівняння моно та полікристалу

Основна відмінність між монокристалічними та полікристалічними фотомодулями полягає у методах їх виготовлення. Монокристалічні елементи отримують за методом Чохральського, який передбачає повільне обертання кристалу кремнію у розплаві напівпровідника. В результаті формується високоочищений кристал кремнію (приблизно 99%), що відзначається високим коефіцієнтом корисної дії, кращими температурними показниками та більшою ефективністю при прямому сонячному опроміненні.

Полікристалічні панелі виробляються шляхом переплавлення декількох кристалів кремнію в один суцільний блок. Завдяки цьому технологія є менш витратною, а готові панелі дешевші за монокристалічні аналоги. Технічні характеристики полікристалічних панелей трохи нижчі, а їхня структура має характерний зернистий візерунок, який підвищує ефективність при розсіяному світлі.

У практичному застосуванні вибір між монокристалом та полікристалом залежить від конкретних умов. Для сонячних електростанцій під «зелений тариф» на земельних ділянках частіше рекомендують полікристалічні панелі,

оскільки їхня нижча ціна за 1 Вт дозволяє скоротити термін окупності системи. Хоча потужність стандартної полікристалічної панелі становить 270–290 Вт, а монокристалічної – 300–330 Вт, для досягнення необхідної загальної потужності на полікристалах потрібно встановити більшу кількість модулів і використовувати більше площі. Водночас загальна вартість такої електростанції залишається нижчою.

Монокристалічні панелі доцільніше застосовувати на об'єктах із обмеженою площею, наприклад, на дахах будівель. Завдяки вищій продуктивності вони дозволяють розмістити більшу потужність на меншій площі, що забезпечує збільшення генерації електроенергії та підвищує ефективність сонячного масиву.

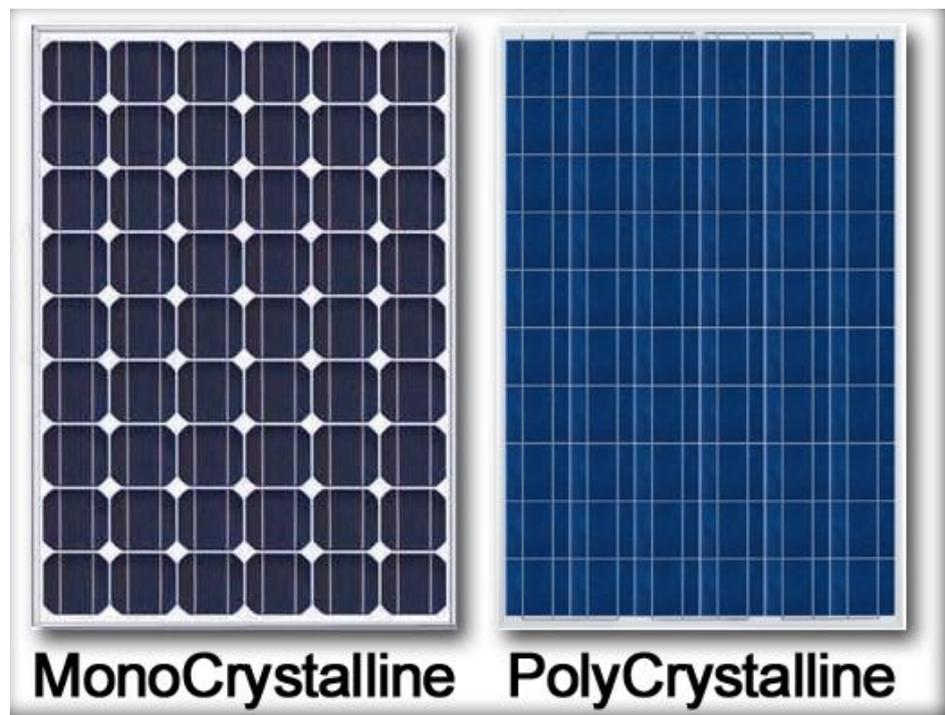
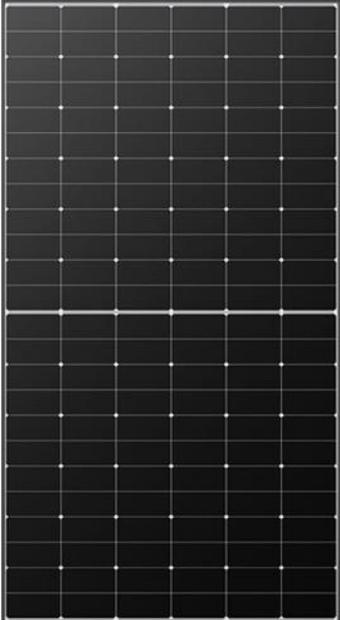


Рисунок 2.7 – Порівняння моно та полікристалу

З урахуванням наведених факторів, для реалізації проекту системи резервного електроживлення приватного будинку було обрано сонячну панель Longi Hi-MO 6M 585W Mono, зовнішній вигляд та основні технічні характеристики якої наведені на рисунку 2.8.



Високоєфективні комірки
HPBC комірки ефективністю більше 25%.

Естетичний вигляд
Hi-MO 6 спрощує складність і переосмислює естетичну концепцію фотоелектричних модулів.

Вражаюча продуктивність
Hi-MO 6 значно покращує потужність генерації електроенергії завдяки комплексній модернізації комірок і модулів HPBC.

Провідна надійність на ринку
Hi-MO 6 є піонером у застосуванні технології повного зварювання задньої частини для ефективного підвищення стійкості модулів до мікротріщин.

Рисунок 2.8 – Загальний вигляд Longi Hi-MO 6M 585W Mono

2.5 Підбір акумуляторної батареї для сонячної електростанції

Порівняємо акумуляторні батареї

Таблиця 2.4 Характеристики акумуляторів

Характеристики	Тип акумуляторної батареї					
	NsCd	NiMn	Свинцево-кислотні	Li-Ion	Li-Ion полімерн	Гелеві
Енергетична густина, Вт/кг	45...80	60..120	150	110...160	100...130	180
Внутрішній опір, мОм	100..20 (батарея на 6 В)	200...300 (батарея на 6 В)	менше 100 (батарея на 12 В)	150...250 (батарея на 7,2 В)	200...300 (батарея на 7,2 В)	менше 100 (батарея на 12 В)
Число циклів заряд/розряд до зниження ємності на 80%	1500	300...500	200...300	500...1000	300...500	700
Час швидкого заряду. год	1	2...4	8...16	2...4	2...4	3,5
Допустимий перезаряд	середній	низький	високий	дуже низький	середній	низький
Саморозряд за місяць при температурі 20°C, %	20	30	5	10	10	3

Напруга на елементі. В	1,25	1,25	2	3,6	3,6	2
Струм відносно ємності (С) піковий-найбільш прийнятний	20С до 1С	5С до 0,5С	5С до 0,2С	2С до 1С	2С до 1С	5С до 0,2С
Діапазон робочих температур, °С	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	0...60	-20...60
Обслуговування через	30...60 дні.	60...90 дні	3...6 міс.	не регл.	не регл.	не регл.

Серед різноманітних типів акумуляторів для використання у фотоелектричних системах найпоширенішими є гелеві, свинцево-кислотні та літій-іонні батареї.

Вони найкращі для сонячних панелей завдяки високій енергомісткості (більше енергії в меншому об'ємі та вазі), довговічності(тисячі циклів заряд-розряд), ефективності (низький саморозряд, високий ККД), швидкості зарядки та відсутності ефекту пам'яті.

Особливо популярними є їхні підтипи: LiFePO₄ (літій-залізо-фосфатні) за безпеку та ресурс, та NMC (нікель-марганець-кобальтові) за компактність при високій ємності.

Ключові переваги:

Висока щільність енергії: Зберігають більше енергії на одиницю ваги та об'єму, що ідеально для обмеженого простору.

Довгий термін служби: Витримують значно більше циклів заряд-розряд (до 5000+) порівняно зі свинцево-кислотними.

Висока ефективність (ККД): 90-95% корисної енергії, мінімальні втрати при зарядці/розрядці.

Низький саморозряд: довше зберігають заряд, коли не використовуються.

Відсутність ефекту пам'яті: можна заряджати будь-коли, не чекаючи повного розряду.

Швидка зарядка: здатні приймати струм зарядки швидше, ніж традиційні

акумулятори.

Стабільна напруга: забезпечують стабільне живлення навіть при великих навантаженнях.

Безпека (LiFePO₄): особливо варіанти LiFePO₄ є більш безпечними, стійкими до перегріву та витоків.

Різновиди для сонячних систем:

LiFePO₄ (Літій-залізо-фосфатні): найкращий вибір для довговічності, безпеки, стабільності та роботи в широкому діапазоні температур.

NMC (Нікель-марганець-кобальтові): ідеальні, коли потрібна максимальна місткість в обмеженому просторі, завдяки високій енергоємності.

Таким чином, літій-іонні акумулятори пропонують найкраще поєднання продуктивності, довговічності та ефективності для сучасних сонячних систем.

Для реалізації даного проекту була обрана акумуляторна батарея **Must LP16-48100 5 кВт LiFePO₄**. Її конструктивний вигляд та основні технічні характеристики наведені на рисунку 2.7.



Технічні характеристики:

- Тип акумулятора: літій-залізо-фосфатний (LiFePO₄)
- Напруга: 48 В
- Ємність: 5,1 кВт*год
- Максимальний струм розряду: 100 А
- Максимальний струм заряду: 20 А
- Температура експлуатації: від -20 до 60 градусів Цельсія

Рисунок 2.7 – Загальні характеристики та технічні дані батареї
Must LP16-48100 5 кВт LiFePO₄

2.6 Підбір конструкції та конфігурації ФЕУ

Оскільки система автоматичного орієнтування сонячних панелей за рухом сонця є громіздкою та вимагає складної установки з електроприводами, для реалізації керування резервним джерелом живлення приватного будинку було обрано стаціонарну конструкцію. Для заданого розташування будинку оптимальний кут нахилу панелей становить 40°.

Для забезпечення стандартної напруги побутових споживачів у системі передбачено використання інвертора, який перетворює постійну напругу акумуляторних батарей у змінну напругу 220 В з частотою 50 Гц. Заряд акумуляторних батарей відбувається протягом світлового дня, а у нічний час вони забезпечують живлення побутових приладів через інвертор.

Напруга сонячних панелей та акумуляторних батарей визначається з урахуванням наступних факторів:

Забезпечення безпеки експлуатації сонячних панелей та акумуляторів.

Гарантування надійності роботи акумуляторних батарей і панелей, оскільки у високовольтних схемах надійність зменшується.

Значний розкид напруги між елементами акумуляторів, що потребує застосування системи балансування для запобігання відмовам.

Після проведення порівняльного аналізу різних схем інверторів із синусоїдальним вихідним сигналом будуть уточнені значення напруги акумуляторних батарей та сонячних панелей.

2.7 Які бувають типи інверторів для підключення приватного будинку

Для приватного будинку існують три основні типи інверторів: мережеві (для економії, продажу в мережу), автономні (для повної незалежності з акумуляторами) та гібридні (універсальні, поєднують обидва режими), що відрізняються функціоналом, роботою з акумуляторами та можливістю інтеграції із сонячними панелями для забезпечення безперебійного живлення та/або зниження витрат на електроенергію. Крім типу, важливо враховувати потужність, тип синусоїди (чиста для чутливої техніки) та однофазний/трифазний вибір, залежно від потреб будинку.

Основні типи інверторів

Мережеві (On-Grid):

Призначення: працюють паралельно з центральною мережею, перетворюють постійний струм (від панелей) на змінний і віддають надлишки в мережу (можна продавати за "зеленим тарифом").

Особливості: не мають акумуляторів, не працюють під час відключення мережі (для безпеки).

Автономні (Off-Grid):

Призначення: для повного енергозабезпечення, коли мережі немає, або для віддалених будинків.

Особливості: пов'язуються з акумуляторами, заряджають їх від панелей, живлять будинок від акумуляторів вночі.

Гібридні:

Призначення: найбільш універсальний варіант, поєднує функції мережевого та автономного інвертора.

Особливості: можуть заряджати акумулятори від мережі чи сонця, віддавати надлишки в мережу, працювати як автономний джерело під час аварій, мають гнучкі налаштування пріоритету живлення.

Типи вихідного струму (синусоїди)

Чиста синусоїда (True Sine Wave): Ідеальна для чутливої електроніки

(ноутбуки, котли, медичне обладнання, насоси, інструменти).

Модифікована синусоїда: Більш бюджетна, підходить для простих приладів (освітлення, телевізор, мікрохвильова піч).

Ми ж в даній роботі оберемо **Високочастотний однофазний інвертор Must PV19-6048 EXP**, він має максимальну потужність 6 кВт (із короткочасною піковою потужністю до 12 кВт), вбудований контролер MPPT та зарядний пристрій PV19-6048. Інвертор працює на напрузі 220 В. Діапазон вхідної напруги з правильним синусоїдальним виходом становить 150-450 В від сонячних панелей і 90-280 В від мережі. Максимальний зарядний струм – 120 А (100 А для акумуляторних батарей). Напруга акумуляторної системи – 48 В.

Підтримує підключення акумуляторів типів AGM, GEL, LiFePO4 і Li-ion. Вихідна напруга – 230 В $\pm 5\%$. Для віддаленого моніторингу доступні інтерфейси RS485, CAN, USB, сухі контакти і Wi-Fi. Інвертор може працювати без акумуляторних батарей та підключатися до генератора. В одну систему можна об'єднати до 9 інверторів для паралельної роботи.

Застосування інвертора

Цей автономний інвертор з чистою синусоїдою та вбудованим MPPT-контролером і зарядним пристроєм ідеально підходить для резервного живлення у випадках відключення електроенергії та для використання як домашньої електростанції. Інвертор перетворює постійний струм (DC) від акумуляторів або сонячних панелей на змінний (AC), підвищуючи напругу з 48 В до 220 В, що дозволяє жити побутові прилади та інструменти.

Він здатний забезпечувати живлення для різних побутових або офісних пристроїв, зокрема для котлів і обладнання з електродвигунами, таких як холодильники та кондиціонери.



- **Бренд:** Must
- **Вага:** 12,9 кг
- **Габарити:** 505x309x147 мм
- **Вихідна частота:** 50/60 Гц
- **Гарантія:** 5 років
- **ККД:** 92%
- **Країна виробництва:** Китай
- **Номінальна напруга:** 48 В
- **Максимальна потужність:** 6 кВт

Рисунок 2.8 – Загальний вигляд та технічні характеристики гібридного інвертору Must PV19-6048 EXP 48В 6 кВт

2.8 Які бувають типи генераторів

Для приватного будинку бувають бензинові (для короткочасного резерву), дизельні (для тривалої роботи, потужніші), інверторні (для чутливої електроніки, тихі та економні), газові (на газі та бензині) та комбіновані генератори, які різняться паливом, потужністю та способом запуску (ручний, електричний, автоматичний АВР). Вибір залежить від потрібної потужності та тривалості роботи.

Основні типи за паливом

Бензинові: компактні, доступні, ідеальні для короткочасних відключень, але менш економічні при тривалій роботі.

Дизельні: потужніші, довговічніші та економніші для тривалої роботи, мають більший моторесурс.

Газові (та двопаливні): можуть працювати на газі (з балона або магістралі) та бензині, економні, працюють довше без дозаправки.

Інверторні: видають стабільну "чисту" напругу, підходять для котлів, ноутбуків, працюють тихо, компактні.

За способом запуску

Ручний: Тягнете шнур (частіше у малих моделях).

Електричний: Запуск кнопкою або ключем.

Автоматичний (АВР): Генератор вмикається сам під час відключення мережі (вимагає системи АВР).

За типом мережі

Однофазні (220 В): Для звичайної побутової техніки.

Трифазні (380 В): Для потужного промислового обладнання.

Універсальні: Можуть перемикатися між 1-фазною та 3-фазною мережею (наприклад, 10 кВт модель).

Оберемо, **дизельний інверторний генератор TIREX TRG5500Di** – це сучасне джерело автономного електропостачання, яке використовується для забезпечення стабільної електроенергії у побуті, на будівництві чи в комерційних об'єктах. Генератор належить до портативних дизельних інверторних моделей, що поєднують високу ефективність, надійність та зручність експлуатації. Завдяки інверторній технології пристрій виробляє **чисту синусоїду**, що забезпечує стабільну напругу без стрибків і дозволяє безпечно жити чутливу електроніку – комп'ютери, телевізори, котли та іншу техніку, чутливу до якості електрики.

Генератор оснащений дизельним двигуном марки **195FA**, який працює на частоті 50 Гц і має номінальну потужність **5,0 кВт** з можливістю досягнення пікових значень до **5,5–7,55 кВт**, що дозволяє ефективно забезпечувати як основне, так і додаткове навантаження при вимушених відключеннях електрики. Пристрій має одну фазу з робочою напругою **220 В**, номінальний струм **25–31,8 А** та швидкість обертання двигуна 3600 об/хв, що забезпечує оптимальний баланс між потужністю і економічністю експлуатації.

Конструкція генератора передбачає **портативність**: вбудовані колеса та зручні ручки дозволяють легко переміщати апарат і розміщувати його у потрібному місці. Система запуску здійснюється електростартером, що робить запуск простим і зручним для оператора. Панель приладів містить

інформаційний дисплей, який відображає ключові параметри роботи – напругу (V) та мотогодини, що спрощує контроль і обслуговування обладнання. Також присутній USB-порт для зарядки малопотужних пристроїв.

До основних переваг моделі відносять стабільну якість електроенергії, яку забезпечує інверторна система, **низький рівень шуму** під час роботи, зручність експлуатації та мобільність, що робить її придатною як для побутового резервного живлення, так і для використання в польових умовах чи на будівельних майданчиках.



⚙️ Основні технічні характеристики:

- Номінальна потужність: 5.0 кВт
- Максимальна потужність: 5.5 кВт
- Номінальна напруга: 220 В
- Частота: 50 Гц
- Номінальний струм: 25 А
- Швидкість обертання двигуна: 3600 об/хв
- Тип двигуна: 186FE (дизельний)
- Система запуску: електростартер
- Вага: 74 кг

Рисунок 2.8 – Загальний вигляд та технічні характеристики дизельного інверторного генератора TIREX TRG5500Di 5,0/5,5кВт

2.9 Пристрої автоматичного введення резерву

Блок автоматичного введення резерву (АВР)

Жодна енергетична система не може бути на 100% захищена від зовнішніх або внутрішніх впливів, які можуть порушити її стабільну роботу. Для забезпечення безперебійного електропостачання при виникненні таких проблем застосовують додаткові незалежні джерела струму.

Блок автоматичного введення резерву (АВР) – це керуючий пристрій, який здійснює перемикання та розподіл електроенергії між основним та резервними джерелами у разі відключення основного живлення.

Конструктивна будова АВР

Пристрій АВР складається з двох основних частин:

Логічна частина, що включає:

реле та контролер, який може керуватися вручну або за допомогою мікропроцесора;

панель для індикації та управління пристроєм.

Комунікаційна частина, яка забезпечує розподіл струму споживачам.

Розподільний блок може мати від одного до трьох–чотирьох введень: один основний та 1–3 додаткових. Надійність живлення навантаження залежить від кількості резервних введень, а також від швидкості перемикання між джерелами живлення.

Класифікація АВР

АВР підрозділяються залежно від наступних параметрів:

кількості резервних джерел живлення;

типу електричної мережі (трифазна або однофазна);

класу напруги (застосовуються в мережах до та вище 1000 В);

потужності підключеного споживача;

часу спрацьовування комунікаційної апаратури.

Типи схем роботи

Автоматичні пристрої можуть працювати за різними схемами:

Одностороння схема – при відмові основного джерела живлення виконується перемикання на резервне. Після відновлення напруги в основній мережі АВР повертає систему до початкового стану.

Двостороння схема – у цьому випадку немає поділу на основне та резервне джерела, оскільки вони рівнозначні. Живлення споживача може надходити з будь-якої лінії.

Трифазні приводи – у схемах з трьома фазами, якщо одна з фаз несправна або спостерігається «перекіс фаз», перемикання відбувається на іншу фазу. Контролери можуть бути запрограмовані так, що один або два введення мають статус резервних, а решта – рівнозначних.

Чотири приводи з каскадним запуском – при живленні аварійних ліній

генераторами високої потужності їх одночасне включення може викликати стрибок напруги. Тому включення виконується послідовно (каскадно).

Схема з відновленням – при появі напруги в основному джерелі воно підключається через певний час, а резервне джерело відключається. У разі, коли паралельна робота неприпустима, резервне джерело спершу відключається, після чого підключається основне.

Таким чином, АВР забезпечує безперервність електропостачання та підвищує надійність роботи енергетичних систем за рахунок автоматичного управління резервними джерелами.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд АВР для генератора та СЕС

2.10 Розробка схеми керування фотоелектричною установкою

На рисунку 2.9 представлено структурну схему фотоелектричної установки, яка включає джерело струму PV1, що моделює сонячну батарею, акумуляторну батарею (АБ) та інвертор з підвищувальним трансформатором TV.

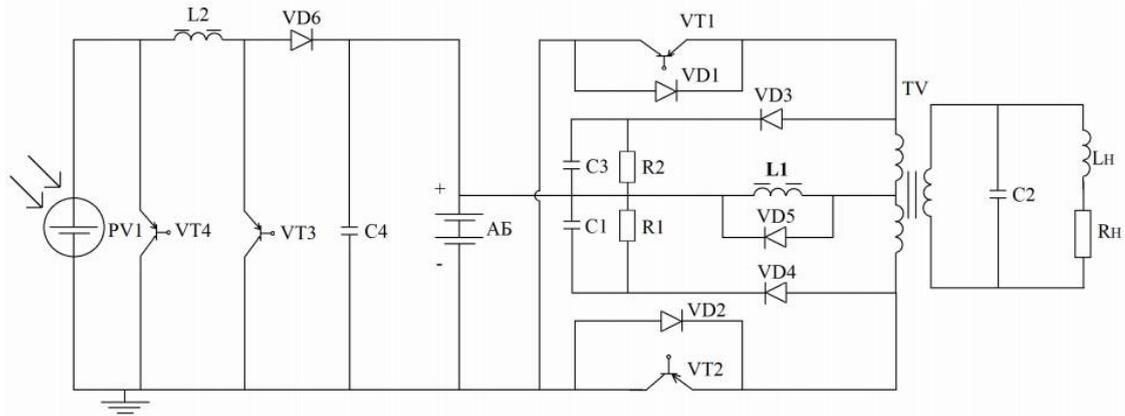


Рисунок 2.9 – Схема структурного компоновання фотоелектричної системи

Процес заряджання акумуляторної батареї починається за умови, що напруга сонячної батареї, яка підвищується зі зростанням рівня освітленості, досягає мінімально допустимого значення напруги АБ і становить 10–12 В. У зв'язку з цим необхідно проаналізувати доцільність застосування підвищувального перетворювача напруги, що складається з елементів L2, VT3, VD6, між сонячною батареєю та акумуляторною батареєю. На рисунку 2.10 наведено можливі варіанти узгодження енергетичних параметрів фотоелектричної установки з урахуванням характерних умов сонячної інсоляції на території України.

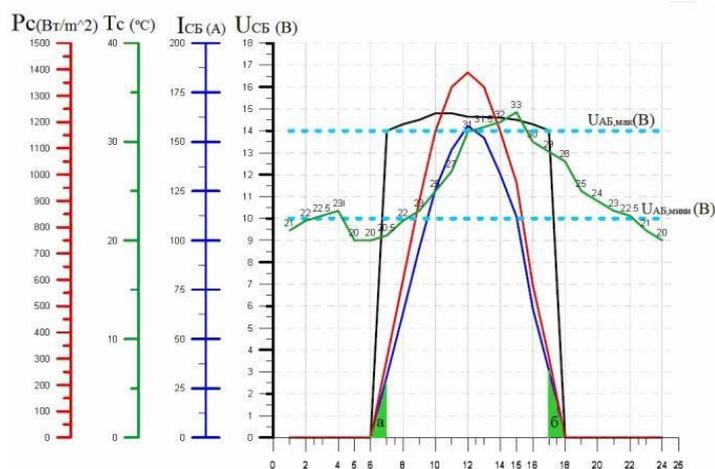


Рисунок 2.10 – Зміна характеристик сонячної батареї залежно від умов навколишнього середовища

На рисунку наведено залежності струму сонячної батареї СБ I_{CB} (А),

напруги СБ U_{CB} (В) за різних значень температури навколишнього середовища T , а також зміни потужності сонячної інсоляції P_c ($Вт / м^2$) упродовж доби. З аналізу графічних залежностей випливає, що зниження виробітку електричної енергії сонячною батареєю спостерігається у часових інтервалах з 6:00 до 7:00 та з 17:00 до 18:00. У ці періоди напруга сонячної батареї є меншою за напругу акумуляторної, унаслідок чого виникають втрати електроенергії, величина яких є пропорційною площам трикутників **а** та **б**.

Результати розрахунків свідчать, що втрати заряду акумуляторної батареї становлять близько 2 %, у зв'язку з чим підвищення напруги не є доцільним. Коефіцієнт корисної дії підвищувального перетворювача, реалізованого за схемою, наведеною на рисунку 2.9, становить $ККД = 0,8$. У часові інтервали з 6:00 до 7:00 та з 17:00 до 18:00 перетворювач забезпечує використання енергії для заряджання акумуляторних батарей. Оскільки енергетичні втрати в підвищувальному перетворювачі є співрозмірними з кількістю енергії, що відповідає площам трикутників **а** та **б** на рисунку 2.10, з метою покращення робочих характеристик системи сонячну та акумуляторну батареї доцільно з'єднати паралельно через діод VD6. Таке рішення дозволяє відмовитися від використання елементів L2 та VT3.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1 Технічне обґрунтування вибору системи електропостачання

При виборі системи автономного електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії необхідно враховувати надійність, безперервність живлення споживачів, а також економічну доцільність експлуатації системи в цілому.

Основним джерелом електричної енергії в проєктованій системі є сонячна електростанція, яка складається з фотоелектричних панелей номінальною потужністю 585 Вт кожна. Загальна кількість панелей становить 22 одиниці, що забезпечує сумарну встановлену потужність СЕС 12,87 кВт. Використання сонячних панелей дозволяє значно зменшити споживання електроенергії з традиційних джерел та знизити експлуатаційні витрати.

Для накопичення електричної енергії та забезпечення живлення в нічний час або за умов недостатньої сонячної інсоляції використовується акумуляторна батарея у поєднанні з гібридним інвертором. Гібридний інвертор здійснює перетворення постійної напруги в змінну, керує зарядом і розрядом акумуляторів, а також забезпечує автоматичне перемикання між джерелами живлення.

У якості резервного джерела електропостачання передбачено дизельний інверторний генератор, який використовується у випадках тривалої відсутності генерації від сонячних панелей або повного розряду акумуляторів. Для автоматизації процесу перемикання між основним та резервним джерелом живлення застосовується щит автоматичного вводу резерву (АВР).

Таким чином, обрана система електропостачання є гібридною та поєднує в собі відновлюване джерело енергії, систему накопичення та резервне живлення, що забезпечує високу надійність та автономність роботи.

3.2 Економічне обґрунтування вибору складових системи

3.2.1 Визначення капітальних вкладень

Вартість кожного із елементів системи представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кошторис капіталовкладень

Елементи електротехнічного комплексу	Ціна,грн.
Фотогальванічні панелі Longi Hi-MO 6М 585W Mono (22 шт.)	88000
Металоконструкції для монтажу панелей, кріплення	10000
Акумуляторна батарея Must LP16-48100 5 кВт LiFePO4	30000
Гібридний інвертор Must PV19- 6048 EXP 48В 6 кВт	33000
Додаткові пристрої системи	12000
Кабель для ФЕС TUV Solar Cable 4 мм (50м.)	1400
Інверторний генератор TIREX TRG5500Di 5,0/5,5кВт	40000
Загальна вартість	214000
Транспортні витрати та монтажні витрати (13%)	27820
Витрати на будівельні роботи (10%)	21400
Капітальні витрати (інвестиції)	263220

Для визначення розміру капітальних вкладень до вартості основного обладнання слід додати витрати на його доставку, монтаж, а також будівельні роботи. Крім того, необхідно враховувати амортизаційні відрахування.

Вартість доставки визначається залежно від відстані перевезення, маси

вантажу та тарифу залізничного транспорту на тонно-кілометр. Монтажні роботи розраховуються згідно з нормативними показниками вартості відповідних робіт. Для спрощення обчислень можна прийняти, що сумарні витрати на доставку та монтаж складають близько 13% від загальної вартості обладнання.

$$C_{\text{дм}} = C_{\Sigma} \cdot 0,13 \text{ (грн.)}, \quad (3.1)$$

$$C_{\text{дм}} = 214000 \cdot 0,13 = 27820 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на будівельні роботи (влаштування фундаментів) розраховують виходячи із нормативів витрат на будівництво. Даний норматив для укрупнення розрахунку приймається рівним 10% від вартості обладнання:

$$C_{\text{б}} = C_{\Sigma} \cdot 0,1 \text{ (грн.)}, \quad (3.2)$$

$$C_{\text{б}} = 214000 \cdot 0,1 = 21400 \text{ (грн.)}.$$

Амортизаційні відрахування знаходяться із добутку норми амортизації на первісну вартість об'єкту основних фондів:

$$A_{\text{р}} = \frac{C_{\Sigma} \cdot N_{\text{а}}}{100\%}, \quad (3.3)$$

де $N_{\text{а}}$ – норма амортизації (при умові, що термін експлуатації ФЕУ приймемо за 20 років норма амортизації буде рівною 5%)

$$A_{\text{р}} = \frac{263220 \cdot 5\%}{100\%} = 13161 \text{ (грн.)}.$$

3.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Відповідно до правил улаштування електроустановок обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого а група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Розрахунок витрат на заробітну плату обслуговуючого персоналу виконується за наступною формулою:

$$C_{\text{з}} = C_{\text{зо}} + C_{\text{зд}}, \quad (3.4)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$C_{зд}$ – додаткова заробітна плата.

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_C \cdot \beta, \quad (3.5)$$

де N – кількість робітників які обслуговують установки ($N = 1$ чол.);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника першого розряду ($T_1 = 100$ грн.);

K – тарифний коефіцієнт (для робітника четвертого розряду: $K = 2,03$).

Із таблиці 3.2);

K_C – коефіцієнт співвідношень, що встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_C = 1$);

β – відношення часу, затраченого робітником, на обслуговування установки відносно загального часу своєї роботи ($\beta = 1$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування системи:

$$\Phi_{\text{еф}} = \varepsilon \cdot Z_{\text{рД}} \cdot Z_{\text{рЗ}} \cdot t_{\text{рЗ}}, \quad (3.6)$$

де ε – відносна тривалість увімкнення ($\varepsilon = 0,5$);

$Z_{\text{рД}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{рД}} = 10$ днів/рік);

$Z_{\text{рЗ}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{рЗ}} = 1$);

$t_{\text{рЗ}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{рЗ}} = 9$).

Таблиця 3.2 – Тарифна сітка працівників погодинної оплати праці

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Розраховуємо ефективний фонд часу обслуговування системи та основну заробітну плату по тарифу:

$$\Phi_{\text{еф}} = 0,5 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 9 = 45 \text{ (год./рік)}.$$

$$C_{30} = 1 \cdot 100 \cdot 2,03 \cdot 45 \cdot 1 \cdot 1 = 9135 \text{ (грн.)}.$$

Додаткова заробітна плата (премія) становить 10% від розміру основної заробітної плати і відповідно становить:

$$C_{зд} = 9135 \cdot 0,1 = 913,5 \text{ (грн.)}$$

В цілому загальні витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу системи становитимуть:

$$C_3 = 9135 + 913,5 = 10048,5 \text{ (грн.)}$$

3.3 Визначення кошторису для проведення поточного ремонту обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється безпосередньо на місці його експлуатації із тимчасовим відключенням обладнання та залученням ремонтного персоналу.

Вартість проведення ремонтних робіт включає витрати на комплектуючі та запасні частини, що підлягають заміні, а також оплату праці фахівців, які виконують ремонт. Найбільш трудомістким та складним з точки зору обслуговування є ремонти структурних вузлів фотоелектричної станції (ФЕС), оскільки станція складається із самостійних фотомодулів (22 одиниці), кожен із яких у разі несправності необхідно демонтувати для виконання ремонтних робіт.

Планово-попереджувальні ремонтні роботи системи відображено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Графік планових ремонтних робіт

Найменування обладнання	Види ремонтних робіт по місяцях												Трудомісткість, люд-год.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Контролери заряду та АКБ			5				5				8		18
Сонячні панелі			8				8				12		28
Кабельні мережі			4				4				6		14
Інвертори				6				6				10	22
	Загальна трудомісткість												82

Виконання даних ремонтних робіт, будемо вважати, проводитиметься електромонтером шостого розряду. Відповідно до того, що є відомими кількість годин виділених на проведення ремонтних робіт основна заробітна плата працівника знаходитиметься із наступної формули:

$$C_{30P} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{ефР}} \text{ (грн.)}, \quad (3.7)$$

$$C_{30P} = 100 \cdot 2,7 \cdot 45 = 12150 \text{ (грн.)}.$$

Величина додаткової заробітної плати ремонтного персоналу становить 20%, визначається високим рівнем кваліфікації працівника, який має в разі потреби ремонтувати декілька самодостатніх електромеханічних пристроїв (ВЕУ, ФЕС та ДЕС),:

$$C_{3ДР} = C_{30P} \cdot 0,2 \text{ (грн.)}, \quad (3.8)$$

$$C_{3ДР} = 12150 \cdot 0,2 = 2430 \text{ (грн.)}.$$

Відповідно витрати на оплату праці ремонтного персоналу складатимуть:

$$C_{3P} = C_{30P} + C_{3ДР} \text{ (грн.)}, \quad (3.9)$$

$$C_{3P} = 12150 + 2430 = 14580 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на комплектуючі, запасні частини та інші елементи розраховуються відносно основної заробітної плати ремонтного персоналу, і становлять 15 % від її величини.

$$C_K = C_{30P} \cdot 0,15 \text{ (грн.)}, \quad (3.10)$$

$$C_K = 12150 \cdot 0,15 = 1822,5 \text{ (грн.)}.$$

Величина загальних річних експлуатаційних витрат розраховується наступним чином:

$$C_B = A_P + C_3 + C_{3P} + C_K \text{ (грн.)}, \quad (3.11)$$

$$C_B = 13161 + 10048,5 + 14580 + 1822,5 = 39612 \text{ (грн.)}$$

3.4.1 Виробіток електричної енергії ФЕС (13 кВт)

Результати розрахунків по виробітку сонячної енергії зведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Фінансові показники ФЕУ (13 кВт) по місяцям

Місяць	Виробіток, (кВт год)	Власне спож-я (кВт год)	Об'єм продажу в мережу (кВт год)	Дохід від продажу, грн.
Січень	490	150	340	1992,4
Лютий	680	150	530	3105,8
Березень	1050	150	900	5274
Квітень	1155	150	1005	5889,3
Травень	1485	150	1335	7823,1
Червень	1590	150	1440	8438,4
Липень	1450	150	1300	7618
Серпень	1378	150	1228	7196,08
Вересень	1190	150	1040	6094,4
Жовтень	890	150	740	4336,4
Листопад	635	150	485	2842,1
Грудень	435	150	285	1670,1
За рік:	12428	1800	10628	62280,08
Податок				12144,6
Прибуток від продажу				50135,48

Основні вхідні дані, прийняті для розрахунку:

Потужність ФЕС (PV-модулів) – 13 кВт.

Власне споживання – 150 кВт год/міс.

Вартість електроенергії (споживаної) – 4,32 грн./ кВт год.

Вартість «зеленого тарифу» в Україні залежить від року введення в експлуатацію СЕС/ВЕС та потужності, але у 2025 році ставки знизились: для приватних СЕС (до 30 кВт) – близько 0,132 євро (або **5,86** грн/кВт·год) для тих, що запуснені у 2025 р., а для тих, що запуснуть з 2026-2029 р. – ще менше (до 0,119 євро), тоді як загальний тариф для населення на світло становить 4,32 грн/кВт·год. Тариф прив'язаний до курсу євро, що захищає від інфляції [9].

Ставка оподаткування – 19,5 %.

Таким чином, в результаті проведеного розрахунку, було отримано

величину прибутку від реалізації сонячної енергії, який складає:

$$Ц_{\text{РФЕУ}} = 50135,48(\text{грн.}).$$

3.4.2 Термін окупності системи

Термін окупності розраховуємо за виразом:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{C_{\text{С}} + C_{\text{ДМ}} + C_{\text{Б}}}{Ц_{\text{РФЕУ}} - C_{\text{В}}} / 10 \quad (3.14)$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{263220 + 27820 + 21400}{50135,48 - 39612} / 10 = \frac{312440}{1052348} / 10 = 2,9 \text{ (роки).}$$

Висновок: підводячи підсумок можна сказати, що досліджувана система в комплексі із врахуванням виконанням усіх робіт по її встановленню при величині природного потенціалу сонячної енергії окупить себе за 2,9 роки.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки при обслуговуванні електричних систем

Під час монтажу та експлуатації фотоелектричних систем, включно з технічним обслуговуванням та ремонтом, необхідно суворо дотримуватися заходів безпеки. Це дозволяє запобігти травмам та іншим загрозам для здоров'я, а також забезпечити ефективну роботу сонячних панелей і акумуляторних батарей.

Незалежно від того, чи проводиться підключення панелей між собою, чи встановлюється лише монтажний каркас, недостатня увага до правил безпеки може призвести до падіння з висоти, травмування пальців або пошкодження конструкційних елементів.

4.2 Аналіз небезпечних чинників на робочому місці

Оцінка об'єкта та заходи безпеки при монтажі сонячних панелей.

Кожен будинок або комерційний об'єкт має свої особливості, тому перед встановленням системи сонячних панелей фахівці проводять детальний огляд об'єкта. Під час оцінки необхідно виконати такі завдання: підібрати ефективні інструменти для огляду та аналізу об'єкта; визначити оптимальні місця для встановлення панелей, інверторів та акумуляторів для досягнення максимального балансу системи; оцінити орієнтацію, доступність сонячного світла, площу для монтажу та структурну цілісність місця встановлення; виявити потенційні ризики та небезпеки на об'єкті; скласти план майбутнього монтажного майданчика з урахуванням існуючих будівель та обладнання; провести вимірювання сонячного випромінювання та середньої температури для прогнозування продуктивності системи; визначити фактичне енергоспоживання об'єкта шляхом аналізу рахунків за електроенергію, зняття показань лічильників та спілкування з власником.

Детальна оцінка об'єкта дозволяє передбачити можливі проблеми та

забезпечує безпечне і ефективне встановлення обладнання.

Підготовка обладнання

Все обладнання повинно бути перевірене на працездатність перед початком монтажу, щоб уникнути несправностей на робочому майданчику.

Використання сходів та забезпечення безпеки

Оскільки сонячні панелі зазвичай встановлюють на дахах, необхідним є використання сходів. Основні вимоги безпеки:

Довжина сходів: вони повинні виступати не менше ніж на 90 см над місцем стоянки робітника.

Розташування: сходи встановлюють на сухій та стійкій основі, яка не блокує дверні прорізи, проходи або лінії електропередач.

Матеріали: для роботи на об'єктах з електричними мережами рекомендується використовувати сходи з непровідних матеріалів.

Рекомендації щодо роботи з сонячними панелями

Сонячні панелі можуть бути важкими та незручними для перенесення, тому під час монтажу необхідно дотримуватись таких правил:

роботу з панелями виконувати мінімум удвох;

при підйомі на висоту використовувати крани, підйомники або лебідки замість ручного перенесення сходами;

захищати панелі непрозорим покриттям для уникнення перегріву та опіків;

застосовувати індивідуальні засоби захисту: каски, рукавички та нековзне спеціальне взуття;

рекомендується використовувати сонцезахисні креми для захисту шкіри при роботі на відкритому сонці.

Дотримання цих заходів безпеки забезпечує захист персоналу, збереження обладнання та ефективну роботу сонячної електростанції.

4.3 Падіння з висоти

Під час робіт на даху слід особливо враховувати ризик падіння з висоти.

Небезпека існує не лише на даху, але й на сходах або в інших зонах робочого майданчика. Роботи на висоті є особливо ризикованими через обмежений простір під час монтажу сонячних панелей.

Щоб мінімізувати ймовірність нещасних випадків, перед початком робіт слід ретельно обстежити робочий майданчик. Всі перешкоди на даху потрібно видалити, а отвори на покрівлі чи на землі тимчасово закрити.

При висоті робіт понад 1,5 метра необхідно встановлювати огороження по краях робочої зони. Працівники повинні обов'язково користуватися страхувальними ременями безпеки, а також встановлювати захисні сітки по периметру майданчика.

4.4 Електрична безпека

Сонячні електричні системи складаються з різноманітних компонентів, робота яких під напругою може призвести до ураження електричним струмом, опіків та інших травм через вироблення електроенергії сонячним світлом.

Для запобігання подібним ризикам робітники повинні використовувати непрозорі покриття для закриття панелей після їх розпакування. Крім того, під час підключення фотоелектричних батарей необхідно дотримуватися таких заходів безпеки: знеструмити об'єкт, переконавшись у відсутності напруги та не працювати із системою під навантаженням.

Дотримання інструкцій із безпеки, правил техніки безпеки та рекомендацій виробника забезпечує захист персоналу від травм і небезпечного впливу електричного струму під час монтажу та експлуатації сонячних електричних систем.

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу погодинного розподілу електроспоживання приватного будинку було визначено, що загальне добове споживання електроенергії складає **12,85 кВт·год**.

2. З розглянутих типів акумуляторних батареї для роботи з фотоелектричними установками найчастіше використовують гелеві, свинцево-кислотні та літій-іонні акумулятори. Вони найкращі для сонячних панелей завдяки високій енергемісткості (більше енергії в меншому об'ємі та вазі).

Довговічності(тисячі циклів заряд-розряд), ефективності (низький саморозряд, високий ККД), швидкості зарядки та відсутності ефекту пам'яті. Особливо популярними є їхні підтипи: LiFePO₄ (літій-залізо-фосфатні) за безпеку та ресурс, та NMC (нікель-марганець-кобальтові) за компактність при високій ємності.

3. Було визначено необхідну площу сонячної батареї, виходячи з рівності середньої потужності навантаження та середньої питомої потужності панелей. Для проектування ФЕУ рекомендовано застосувати сонячні модулі **Longi Hi-MO 6M 585W Mono**.

4. Було проаналізовано два підходи до автоматичної стабілізації вихідної напруги інвертора: релейний регулятор та регулятор із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Релейний регулятор підтримує вихідну напругу в межах **221,1–231,6 В** із коефіцієнтом гармонік **5,71–14%**. У свою чергу, регулятор із ШІМ забезпечує вихідну напругу **221,3–277,1 В** при коефіцієнті гармонійних спотворень **4,03–4,82%**. Для впровадження системи керування резервним джерелом живлення було обрано гібридний інвертор **Must**.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юрій Носенко «Сучасні сонячні технології» журнал «Життєве середовище», стаття канд. с.-г. наук Юрія Носенка «Сучасні сонячні технології», опубліковано в журналі №18(241), вересень 2012.
2. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
3. Сонячна енергетика - один з перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Урядовий портал. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577
4. ПКП «Техноноватор»: Типи сонячних батарей [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/typessun-battery-ua.html>
5. Atmosfera: Сонячні електростанції – Використання сонячних електростанцій [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/vikoristannya-sonyachnixelektrostantsij/>
6. Atmosfera: Сонячні електростанції – Схеми організацій сонячних електростанцій [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/sxemi-organizacii-sonyachnix-elektrostantsij/>
7. Дмитриков В. П., Падалка В. В., Проценко О. В., Коломеец В. І. Переробка відпрацьованих свинцево-кадмієвих гальванічних елементів; Повідомлення 1: Принципи і процеси переробки // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – Полтава, 2013. – Вип. 2. – С. 123-126.
8. Олійник Я.Б. Основи екології: підручник / Я. Б. Олійник, П. Г. Шищенко, О. П. Гавриленко. - К. : Знання, 2012. - 558 с.
9. Волошин О.Л. Розвиток альтернативної енергетики в Україні: сучасний стан та результативність механізмів державного регулювання: стаття здобувача науково дослідної лабораторії управління у сфері цивільного

захисту Національного університету цивільного захисту України, м. Харків / О.Л. Волошин, – 2015, – 46 с.

10. Сайт компанії «Green Voltage» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.voltagegreen.com/>

11. Закон України «Про електроенергетику» / Верховна Рада України; Закон від 16.10.1997 № 575/97-ВР. – поточна редакція – Редакція від 16.07.2015, підстава 514-19. – 5 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу:<http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/575/97%D0%B2%D1%80/para403>

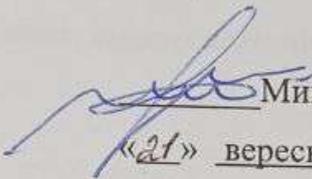
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувача кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.


Микола МОШНОРИЗ

«21» вересня 2025р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

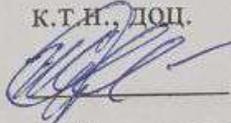
на магістерську кваліфікаційну роботу

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕЗЕРВНИМ
ЖИВЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ

08-24. МКР.004.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.


Олексій ЖУКОВ

«21» вересня 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-24м


Олександр КИЛАВЧУК

«21» вересня 2025 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку».

Скорочене найменування розробки – «Система керування сонячним електротехнічним комплексом».

Замовник – кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Сонячний електротехнічний комплекс призначений для резервного живлення об'єктів домашнього господарства.

4 Вимоги до розробки

Система керування сонячним електротехнічним комплексом повинна забезпечувати ефективний відбір потужності сонячних панелей.

5 Комплектація розробки

Сонячний електротехнічний комплекс складається із сонячних панелей, гібридного інвертора, акумулятора, інверторного дизельного генератора і системи керування .

6 Технічні характеристики

Тип електричного інвертора – гібридний, потужністю 6000 Вт.

7 Джерела розробки

1. Юрій Носенко «Сучасні сонячні технології» журнал «Життєве середовище», стаття канд. с.-г. наук Юрія Носенка «Сучасні сонячні технології», опубліковано в журналі №18(241), вересень 2012.

2. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.

3. Сонячна енергетика - один з перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Урядовий портал. [Електронний ресурс].

Режим доступу:

http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577

4. ПКП «Техноноватор»: Типи сонячних батарей [Електронний ресурс] /

Режим доступу: [http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-](http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/typessun-battery-ua.html)

[ua/typessun-battery-ua.html](http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/typessun-battery-ua.html)

5. Atmosfera: Сонячні електростанції – Використання сонячних електростанцій [Електронний ресурс] / Режим доступу:

[http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/vikoristannya-](http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/vikoristannya-sonyachnixelektrostantsij/)

[sonyachnixelektrostantsij/](http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/vikoristannya-sonyachnixelektrostantsij/)

8 Елементна база

Сонячні панелі, акумулятор, генератор, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

9 Конструктивне виконання

Сонячна станція складається з окремих секцій, що реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Етапи виконання

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина	
Графічна частина	

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на півроку. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та сонячних підстанцій.

13 Порядок контролю та прийняття Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку

1

Виконав: Олександр КИЛІВЧУК,
група ЕПА-24м

Керівник: Олексій ЖУКОВ

к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Актуальність теми

2

Система керування резервними джерелами живлення являє собою інтегрований програмно-апаратний комплекс, призначений для автоматизованого контролю процесів генерації, накопичення та розподілу електричної енергії. Основним завданням такої системи є забезпечення стабільної роботи електрообладнання в умовах нестабільного або повністю відсутнього електропостачання з боку основної мережі. У разі виникнення аварійних ситуацій система переходить на альтернативні джерела живлення та підтримує необхідний рівень енергозабезпечення до моменту відновлення штатного режиму роботи.



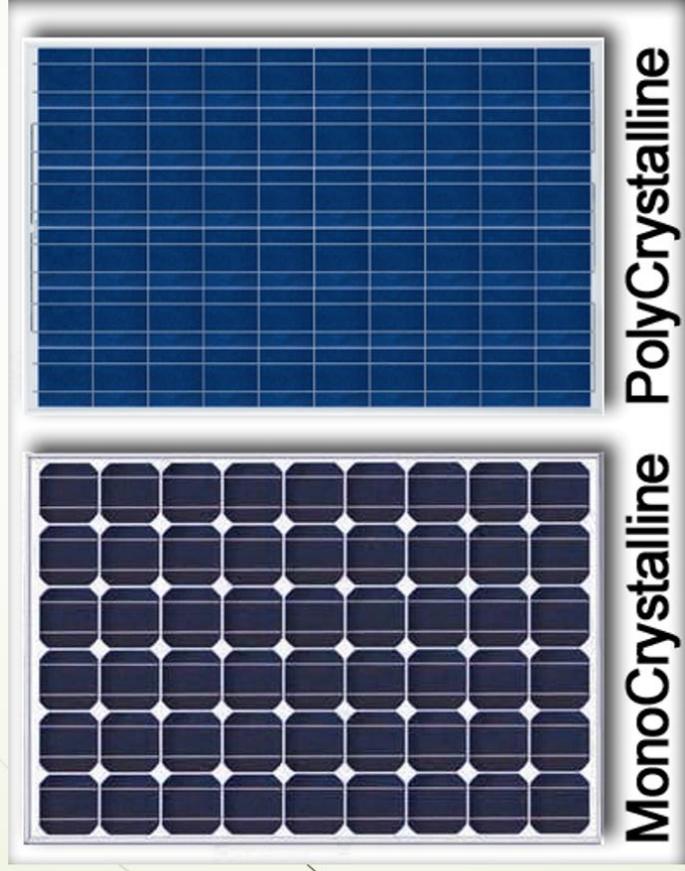
Варіанти встановлення фотомодулів



- ▶ Розміщення на плоский дах.
- ▶ Наземна сонячна електростанція
- ▶ Фіксований кут нахилу
- ▶ Фіксований кут, оптимізований для зимового періоду
- ▶ Фіксований кут, орієнтований на літній сезон
- ▶ Періодична зміна кута нахилу
- ▶ Одновісні трекерні системи
- ▶ Двоосьові трекерні системи

Порівняння моно та полікристалу

4



Монокристалічні панелі доцільніше застосовувати на об'єктах із обмеженою площею, наприклад, на дахах будівель. Завдяки вищій продуктивності вони дозволяють розмістити більшу потужність на меншій площі, що забезпечує збільшення генерації електроенергії та підвищує ефективність сонячного масиву.



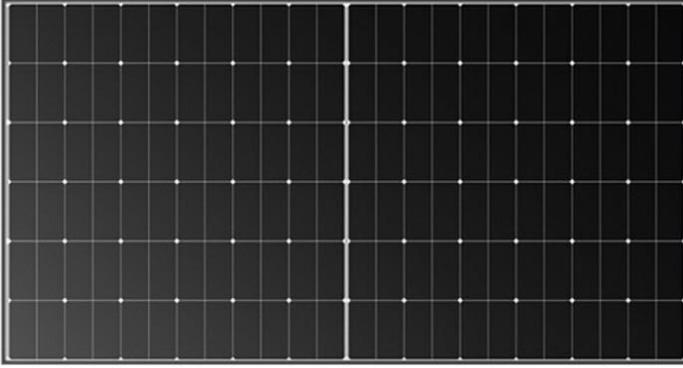
Високоєфективні комірки

HPBC комірки ефективно більше 25%.



Вражаюча продуктивність

Hi-MO 6 значно покращує потужність генерації електроенергії завдяки комплексній модернізації комірок і модулів HPBC.



Естетичний вигляд

Hi-MO 6 спрощує складність і переосмислює естетичну концепцію фотоелектричних модулів.



Провідна надійність на ринку

Hi-MO 6 є піонером у застосуванні технології повного зварювання задньої частини для ефективного підвищення стійкості модулів до мікротріщин.

Longi Hi-MO 6M 585W Mono

Підбір акумуляторної батареї для сонячної електростанції



MUST LP16-48100
5 кВт LiFePO4.

Характеристики	Тип акумуляторної батареї					
	NiCd	NiMH	Свинцево-кислотні	Li-Ion	Li-Ion полімерні	Гелеві
Енергетична густина, Вт/кг	45...80	60...120	150	110...160	100...130	180
Внутрішній опір, мОм	100...20 (батарея на 6 В)	200...300 (батарея на 6 В)	менше 100 (батарея на 12 В)	150...250 (батарея на 7,2 В)	200...300 (батарея на 7,2 В)	менше 100 (батарея на 12 В)
Число циклів заряд/розряд до зниження ємності на 80%	1500	300...500	200...300	500...1000	300...500	700
Час швидкого заряду, год	1	2...4	8...16	2...4	2...4	3,5
Допустимий перезаряд	середній	низький	високий	дуже низький	середній	низький
Саморозряд за місяць при температурі 20°C, %	20	30	5	10	10	3
Напруга на елементі, В	1,25	1,25	2	3,6	3,6	2
Струм відносно ємності (С) піковий-найбільш прийнятний	20С до 1С	5С до 0,5С	5С до 0,2С	2С до 1С	2С до 1С	5С до 0,2С
Діапазон робочих температур, °С	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	0...60	-20...60
Обслуговування через	30...60 дні.	60...90 дні	3...6 міс.	не регулюється	не регулюється	не регулюється

Типи інверторів

- ▀ **Мережеві (On-Grid):**
- ▀ **Автономні (Off-Grid):**
- ▀ **Гібридні:**

Підтримує підключення акумуляторів типів AGM, GEL, LiFePO4 і Li-ion. Вихідна напруга – 230 В \pm 5%. Для віддаленого моніторингу доступні інтерфейси RS485, CAN, USB, сухі контакти і Wi-Fi. Інвертор може працювати без акумуляторних батарей та підключатися до генератора. В одну систему можна об'єднати до 9 інверторів для паралельної роботи.

7



Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP 48В 6 кВт

Типи генераторів

- Бензинові: компактні, доступні, ідеальні для короткочасних відключень, але менш економічні при тривалій роботі.
- Дизельні: потужніші, довговічніші та економічніші для тривалої роботи, мають більший моторесурс.
- Газові (та двопаливні): можуть працювати на газі (з балона або магистралі) та бензині, економічні, працюють довше без дозаправок.
- **Інверторні**: видають стабільну "чисту" напругу, підходять для котлів, ноутбуків, працюють тихо, компактні.

8



Основні технічні характеристики:

- Номінальна потужність: 5.0 кВт
- Максимальна потужність: 5.5 кВт
- Номінальна напруга: 220 В
- Частота: 50 Гц
- Номінальний струм: 25 А
- Швидкість обертання двигуна: 3600 об/хв
- Тип двигуна: 186FE (дизельний)
- Система запуску: електростартер
- Вага: 74 кг

Загальний вигляд та технічні характеристики дизельного інверторного генератора TIREX TRG5500Di 5,0/5,5кВт

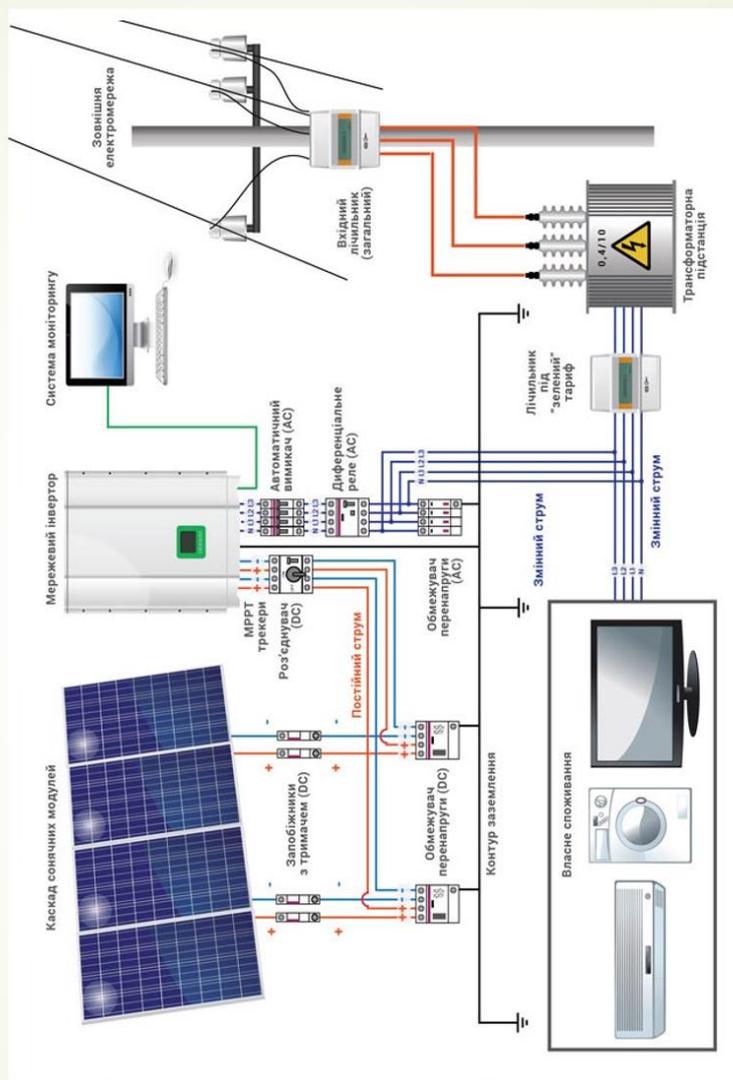
Пристрої автоматичного введення резерву

9

Блок автоматичного введення резерву (АВР) — це керуючий пристрій, який здійснює перемикання та розподіл електроенергії між основним та резервними джерелами у разі відключення основного живлення.



Структурна схема підключення СФС



Економічне обґрунтування вибору складових системи

11

Елементи електротехнічного комплексу	Ціна, грн.
Фотогальванічні панелі Longi Hi-MO 6M 585W Mono (22 шт.)	88000
Металоконструкції для монтажу панелей, кріплення	10000
Акумуляторна батарея Must LP16-48100 5 кВт LiFePO4	30000
Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP 48В 6 кВт	33000
Додаткові пристрої системи	12000
Кабель для ФЕС TUV Solar Cable 4 мм (50м.)	1400
Інверторний генератор TIREX TRG5500Di 5,0/5,5кВт	40000
Загальна вартість	214000
Транспортні витрати та монтажні витрати (13%)	27820
Витрати на будівельні роботи (10%)	21400
Капітальні витрати (інвестиції)	263220

Основні вхідні дані, прийняті для розрахунку:

Потужність ФЕС (PV-модулів) – 13 кВт.

Власне споживання – 150 кВт год/міс.

Вартість електроенергії (споживаної) – 4,32 грн./кВт год.

Вартість «зеленого тарифу» в Україні залежить від року введення в експлуатацію СЕС/ВЕС та потужності, але у 2025 році ставки знизились: для приватних СЕС (до 30 кВт) – близько 0,132 євро (або **5,86** грн/кВт.год) для тих, що запущені у 2025 р., а для тих, що запущуть з 2026-2029 р. – ще менше (до 0,119 євро), тоді як загальний тариф для населення на світло становить 4,32 грн/кВт.год. Тариф прив'язаний до курсу євро, що захищає від інфляції [9]. Ставка оподаткування – 19,5 %.

3.4.2 Термін окупності системи

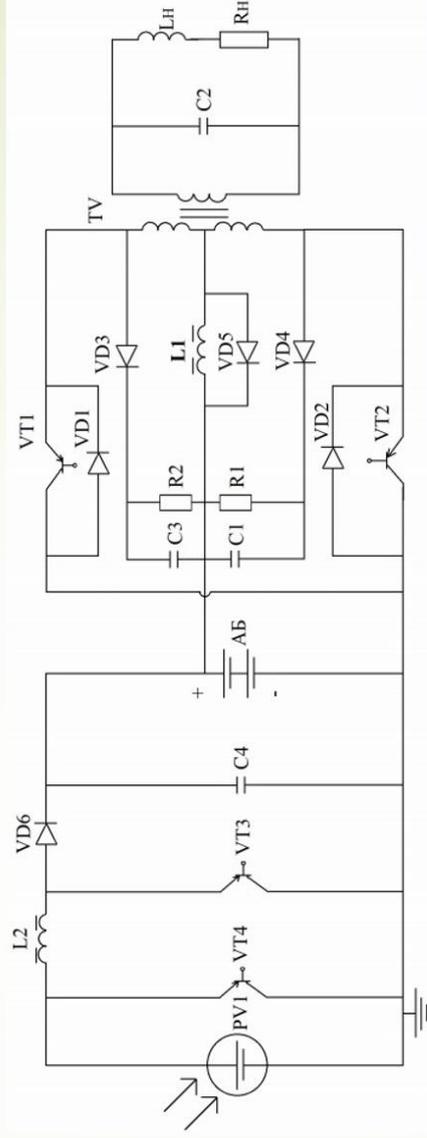
Термін окупності розраховуємо за виразом:

$$T_{ок} = \frac{C_{г} + C_{дм} + C_{б}}{Ц_{ффеу} - C_{б}} / 10 \quad (3.14)$$

$$T_{ок} = \frac{263220 + 27820 + 21400}{50135,48 - 39612} / 10 = \frac{312440}{1052348} / 10 = 2,9 \text{ (роки)}.$$

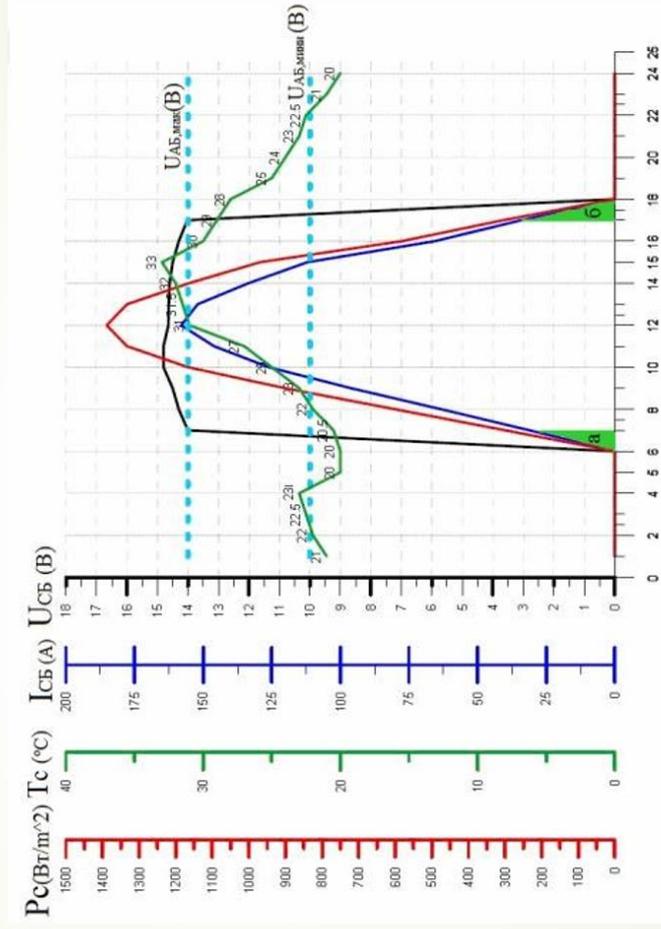
Висновок: підводячи підсумок можна сказати, що досліджувана система в комплексі із врахуванням виконанням усіх робіт по її встановленню при величині природного потенціалу сонячної енергії окупить себе за 2,9 роки.

Схема структурного компоновання фотоелектричної системи



На рисунку представлено структурну схему фотоелектричної установки, яка включає джерело струму PV1, що моделює сонячну батарею, акумуляторну батарею (АБ) та інвертор з підвищувальним трансформатором TV.

Зміна характеристик сонячної батареї залежно від умов навколишнього середовища



Висновки

- У результаті виконаного дослідження було розроблено та обґрунтовано проект системи резервного електропостачання приватного будинку на основі сонячних фотоелектричних установок. Проведено аналіз погодинного споживання електроенергії, що дозволило визначити пікові та середні навантаження, а також розрахувати необхідну площу сонячних батарей для забезпечення автономності будинку.
- Наукова новизна полягає у комплексному поєднанні методів оптимального підбору сонячних панелей, акумуляторних батарей і гібридного інвертора для реалізації резервного електропостачання. Уперше запропоновано інтегрований підхід, який дозволяє:
 - ефективно балансувати навантаження між сонячними панелями, акумуляторами та мережею;
 - підвищити ефективність використання сонячної енергії шляхом точного підбору площі панелей і контролю за зарядом батарей;
 - забезпечити безпеку експлуатації системи через впровадження заходів захисту від перевантажень, короткого замикання та падіння напруги.

Додаток В

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-24м

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 14,4 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Килавчук О.В.

(прізвище, ініціали)

					08-24.МКР.004.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування резервним живленням приватного будинку	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Килавчук О.В.	<i>[Signature]</i>						
Перевірів	Жуков О.А.	<i>[Signature]</i>						
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Опонент	Шудле Ю.А.	<i>[Signature]</i>			ВНТУ, гр. ЕПА-24м			
Норм.кон.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>						
Затверд.	Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>						