Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Розробка та удосконалення систем автономного електропостачання на основі сонячної енергії

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1413
Радомський Олексій Миколайович
(ПІБ) (підпис)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)
освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

Керівник Башлій С.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

Запорізький національний університет
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)
Спеціалізація
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., доц. Коваленко В.Л.
"__" _____ 2024року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»
Радомському Олексію Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра Розробка та удосконалення систем автономного електропостачання на основі сонячної енергії
керівник кваліфікаційної роботи магістра к.т.н. доц. Башлій С.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від " 28 " лютого 20 24 року № 361-с.д
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра 28.11.2024
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра Перспектива застосування АСЕ у сучасних реаліях, потужність навантаження споживачами
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Шляхи підвищення ефективності систем автономного електропостачання. 2) Розрахунок споживання будинку. 3) Заходи щодо підвищення продуктивності та надійності сонячної станції
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Ілюстрації технічного обладнання електрогенеруючих систем
2) Графіки значень та відношень електрогенеруючого обладнання, графіки потужностей, графіки навантаження споживачів
3) Принципова схема автономної сонячної станції

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Башлій С.В., к.т.н. доцент	
Розділ 2	Башлій С.В., к.т.н. доцент	
Розділ 3	Башлій С.В., к.т.н. доцент	

7. Дата видачі завдання 28.02.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Прим
1	Визначення та написання теоретичної бази	04.03.2024	
2	Розрахунок споживання будинку	27.05.2024	
3	Шляхи підвищення ефективності систем автономного електропостачання	10.07.2024	
4	Заходи щодо підвищення продуктивності та надійності сонячної станції	29.09.2024	
5	Оформлення роботи та презентації, підготовка до захисту	04.11.2024	

Здобувач вищої освіти _____ Радомський О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра _____ Башлій С.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль здійснив _____ Башлій С.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Радомський О.М. Розробка та удосконалення систем автономного електропостачання на основі сонячної енергії.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», науковий керівник С.В. Башлій, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2024.

У роботі виконано комплекс досліджень, спрямованих на розробку і вдосконалення енергетичної ефективності житлових приватних будинків шляхом впровадження енергозберігаючих заходів, які б могли бути застосовані при проектуванні більшості типів приватних домогосподарств в Україні.

Розроблено сонячну електростанцію для підвищення рівня енергонезалежності електропостачання приватних житлових будинків та вирішено поставлену оптимізаційну задачу з підвищення стабільності енергопостачання житлового приватного будинку.

Ключові слова: АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА, АВТОНОМНА СОНЯЧНА СТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНІСТЬ.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

1. Радомський О.М., Башлій С.В. Підвищення стабільності електропостачання приватного домоволодіння в період стабілізаційних відключень. *Матеріали ІІІ всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України».* Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. С. 37

ABSTRACT

Radomskyi O.M. Development and improvement of autonomous power supply systems based on solar energy.

Master's qualification work for higher education in the specialty 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", scientific supervisor S.V. Bashliy, Zaporizhzhya National University, Engineering Scientific and Educational Institute. Y.M. Potebny, Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems. Zaporizhzhia, 2024.

The paper carried out a set of studies aimed at developing and improving the energy efficiency of residential private houses through the introduction of energy-saving measures that could be applied in the design of most types of private households in Ukraine.

A solar power plant has been developed to increase the level of energy independence of power supply to private residential buildings and the optimization task of increasing the stability of energy supply to a residential private house has been solved.

Keywords: ALTERNATIVE ENERGY, AUTONOMOUS SOLAR PLANT, POWER SUPPLY, ENERGY EFFICIENCY, SOLAR PANEL, ENERGY INDEPENDENCE.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ 7
ВСТУП 8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 12
1.1 Еволюція технологій сонячної енергетики 12
1.2 Аналіз потенціалу сонячної енергії в Україні 13
1.3 Потенціал встановлення сонячних електростанцій 15
1.4 Програми підтримки переходу на альтернативні джерела енергії ... 18
1.5 Типи сонячних електричних станцій 20
1.6 Класифікація та особливості систем автономного електропостачання 26
1.7 Висновки до розділу 1 28
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 28
2.1 Визначення енергоспоживання об’єкту 30
2.2 Вибір інвертора для системи електропостачання 32
2.3 Визначення необхідної ємності акумуляторної батареї їх кількості 39
2.4 Порівняння та визначення необхідної кількості сонячних батарей . 44
2.5 Вибір та монтаж кабелів для сонячної електростанції: технічні характеристики та безпека 51
2.6 Закономірності руху Сонця по небосхилу 58
2.7 Розрахунок сонячної енергії, що надходить на земну поверхню 61
2.8 Висновки до розділу 2 67
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 67
3.1 Оцінка початкових витрат 68
3.2 Розрахунок економічної ефективності капітальних вкладень 70
3.3 Показники ефективності проєкту 71
3.4 Екологічна цінність від виробництва електроенергії в приватному господарстві. 72
3.5 Висновки до розділу 3 73
ВИСНОВКИ 75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 77
ДОДАТОК А 81

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗУ - закон України;

ЄС - Європейський Союз;

ВДЕ - відновлювальні джерела енергії;

СЕС - сонячна електростанція;

ФЕС - фотоелектрична система;

АСЕ - автономної сонячної електростанції;

АВР - автоматичний введення резерву;

ГЕН - графік електричного навантаження;

АС - змінний струм;

DC - постійний струм;

CO^2 - вуглекислий газ;

ТЕС - теплоелектростанціях.

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток альтернативної енергетики, зокрема систем автономного електропостачання на базі сонячної енергії, є одним із ключових напрямків забезпечення енергетичної незалежності та екологічної безпеки. В останні десятиліття наукові установи та фахівці з усього світу активно працюють над розробкою високоефективних сонячних енергетичних систем. Такі дослідницькі центри, як Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Німеччина) та National Renewable Energy Laboratory (США), зробили значний внесок у вдосконалення фотоелектричних модулів і систем зберігання енергії.

На світовій арені спостерігається стійка тенденція переходу до поновлюваних джерел енергії. У таких країнах, як Німеччина, Китай та США, сонячна енергетика стає вагомою частиною національних енергетичних систем. Новітні технології, як-от інтегровані сонячні модулі з оптимізаторами енергії, активно впроваджуються у сфері автономного електропостачання.

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю розв’язання проблеми стабільного енергопостачання в умовах підвищених навантажень на національні електромережі та частих аварійних відключень. Використання сонячної енергії дозволяє зменшити залежність від викопних палив, знижуючи викиди парникових газів і забезпечуючи енергетичну стабільність.

Метою роботи є розробка та вдосконалення автономних систем електропостачання з використанням сонячної енергії. Це дозволить значно підвищити ефективність таких систем і зробити їх доступнішими для використання в приватних домоволодіннях та інших об’єктах.

Запропоноване дослідження взаємопов’язане з роботами з розробки інтелектуальних енергетичних мереж і вдосконаленням систем накопичення енергії. Результати можуть бути інтегровані у комплексні рішення для забезпечення стабільності енергопостачання у віддалених районах та під час надзвичайних ситуацій.

Мета дослідження. Покращення стабільності електрозабезпечення та

підвищення надійності житлових приватних будинків за рахунок впровадження автономної сонячної електростанції. Формування концепції автономної енергетичної установки, яка б підходила до більшості типів приватних домогосподарств в Україні.

Задачі дослідження. Розроблено та сформульовано такі задачі:

- аналіз сучасного стану фонду житлових приватних будинків;
- вивчення методів та засобів підвищення енергоефективності у приватних житлових будинках;
- розгляд режимів функціонування споживачів електричної енергії у приватних житлових будинках;
- дослідження можливих джерел електрозабезпечення приватних житлових будинків та порівняння ефективності їх функціонування;
- розробка техніко-економічного обґрунтування запропонованих заходів з підвищення енергозберігаючих показників житлового приватного будинку.

Об'єкт дослідження. Автономна станція яка функціонує на основі фотоелектричних панелей для генерації електроенергії та забезпечення енергопотреб користувачів період відсутності мережі.

Предмет дослідження. Оптимізація роботи автономної сонячної станції в умовах нестабільної інсоляції з метою підвищенню рівня енергетичної ефективності на прикладі приватного домогосподарства без централізованого електропостачання.

Методи дослідження. Аналіз та дослідна експлуатація режимів функціонування споживачів електричної енергії у приватних житлових будинках, а також аналіз методів та засобів підвищення в них енергоефективності.

Наукова новизна одержаних результатів. З різних джерел інформації були зібрані та проаналізовані відомості про дану проблему; розроблено власну методику досліджень; проведено ряд натурних експериментів, за результатами

яких, запропоновано модернізовану технологію енергопостачання. Аналіз режимів функціонування споживачів електричної енергії у приватних житлових будинках, а також аналіз методів та засобів підвищення в них енергоефективності дозволив розробити методологію оцінювання ефективності впровадження енергозберігаючих технологій для підвищення рівня автономності приватних житлових будинків, та визначити оптимальну конфігурацію систем забезпечення будинку електричною енергією. Запропонована інноваційна технологія передбачає розробку та застосування відновлювальних джерел енергії, а саме сонячного фотомодуля.

Побудовано графік продуктивності системи енергообігу процесів, сформульовано оптимізаційну задачу, після вирішення якої досягнуто зниження питомого споживання енергії на 1 м^2 житлової площі будинку з урахуванням позитивних техніко-економічних показників.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати роботи мають практичне значення та можуть бути використані при проведенні реконструкції та модернізації приватних будинків для підвищення рівня енергетичної незалежності будинку. Одержані результати допоможуть визначити оптимальну конфігурацію автономних систем.

Особистий внесок дослідника. Кваліфікаційна робота магістра є самостійною роботою автора, в якій узагальнені результати теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих в ході виконання науково-дослідних робіт. Також за допомогою комп'ютерного моделювання та чисельного дослідження інтегрованих систем енергозабезпечення для визначення «пасивності» будинку, функціонування його інженерних систем можливо подальше використання моделі для економічного аналізу.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на: III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Матеріали (17-20 жовтня 2023 року, м. Запоріжжя);

доповідалися на науковому семінарі кафедри електротехніки та енергоефективності Інженерного науково-навчального інституту Запорізького національного університету (2023 р., м. Запоріжжя).

Публікації. Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і в тезах III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». [24].

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 41 найменувань, викладена на 80 сторінках машинописного тексту, включаючи 38 рисунків, 14 таблиць та 13 слайдів ілюстрованого матеріалу презентації.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Еволюція технологій сонячної енергетики

Сонячна енергетика, як ключова сфера відновлюваної енергетики, пройшла довгий шлях від наукової концепції до однієї з найбільш динамічно розвиваються галузей енергетики. Історична еволюція цієї технології обумовлена різноманітними факторами, включаючи вдосконалення матеріалів, розвиток ефективних технологій перетворення сонячної енергії та доступність систем.

Перший етап розвитку технологій сонячної енергетики пов'язаний з відкриттям фотоелектричного ефекту Олександром Беккерелем в 1839 році. Це явище заклало теоретичну основу для розробки фотоелектричних елементів. Однак перші практичні пристрої, створені на початку 20 століття, мали вкрай низьку ефективність і обмежене застосування.

Розробка кремнієвих сонячних елементів в середині 20 століття стала значним технологічним проривом. У 1954 році компанія Bell Laboratories продемонструвала першу сонячну батарею з ККД близько 6%. Це відкриття стало відправною точкою для широкого використання сонячної енергії в супутникових та інших космічних програмах, де вимоги до автономності та надійності були особливо високими.

Сьогодні сонячна енергетика активно інтегрується в розумні енергетичні системи, що забезпечується розвитком технологій накопичення енергії та інтелектуального управління навантаженням. Особливий інтерес викликають рішення на основі гібридних систем, які поєднують в собі сонячні панелі, акумулятори та інші джерела енергії.

Поряд з цим досліджуються нові покоління матеріалів, таких як квантові точки та органічні сполуки, які можуть забезпечити ще вищу ефективність та нижчі витрати на виробництво. Технології двосторонніх сонячних панелей та концентраторів сонячної енергії (CSP) демонструють значний потенціал для підвищення ефективності сонячного випромінювання.

1.2 Аналіз потенціалу сонячної енергії в Україні

Аналіз потенціалу сонячної енергетики в Україні є актуальним, оскільки розвиток відновлюваних джерел енергії є стратегічним напрямком енергетичної політики держави. [1, 18]

Сонячна енергетика є одним із найбільш перспективних та динамічно прогресуючих напрямів у галузі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Вона займає важливу роль у глобальній енергетичній політиці завдяки своїй екологічності, доступності та безперервності процесів отримання енергії, що має великий потенціал для заміни традиційних, невідновлюваних джерел енергії.

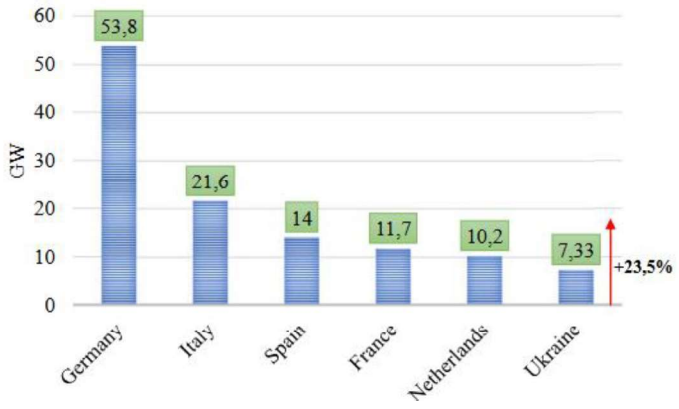


Рисунок 1.1 – Співвідношення показників виробітку електроенергії по державах

Україна володіє сприятливими природними умовами для розвитку сонячної енергетики, що робить її одним з лідерів серед країн Європи за потенціалом у цьому напрямі. Середньорічні показники сумарної сонячної радіації варіюються в межах від 1070 кВт·год/м² на півночі до понад 1400 кВт·год/м² на півдні країни. Це свідчить про значну кількість енергії, яку можна отримати за допомогою сонячних панелей, що відкриває великі можливості для розвитку цієї галузі на всій території України, відображена на рисунку 1.2.

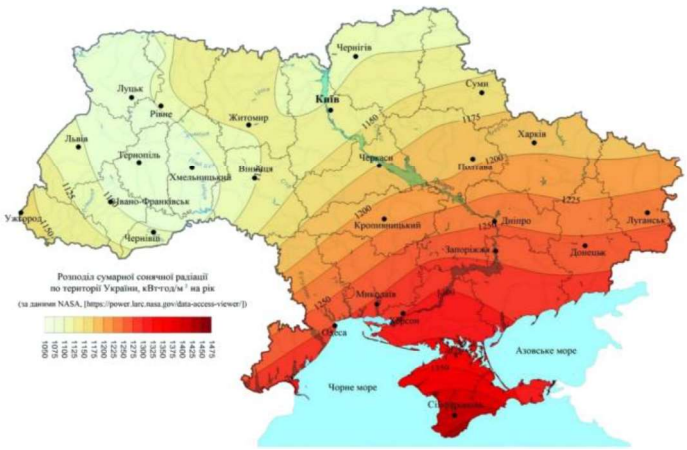


Рисунок 1.2 – Карта сонячної радіації по території України

Аналіз кліматичних умов також підтверджує високий потенціал для встановлення сонячних електростанцій (СЕС). Зокрема, середня тривалість сонячного сяйва в Україні коливається від 1690 годин на рік у західних районах до 2450 годин на рік у південних регіонах, таких як Крим та узбережжя Чорного та Азовського морів. Цей фактор прямо впливає на ефективність роботи сонячних установок, оскільки чим більше годин сонячного світла, тим вищий потенціал для генерації електричної енергії.

Розподіл сумарної сонячної радіації по території країни варіюється від 1064,9 кВт·год/м² на рік в західних областях до 1551,7 кВт·год/м² на південному заході Криму. Це створює потенціал для розвитку СЕС в різних регіонах з урахуванням локальних кліматичних умов та потреб у електричній енергії.

За даними наукових досліджень, теоретична встановлена потужність сонячних електростанцій в Україні оцінюється на рівні 82 768 МВт. Це значна цифра, що демонструє величезний потенціал для виробництва електричної енергії, подається на рисунку 1.3.[5]

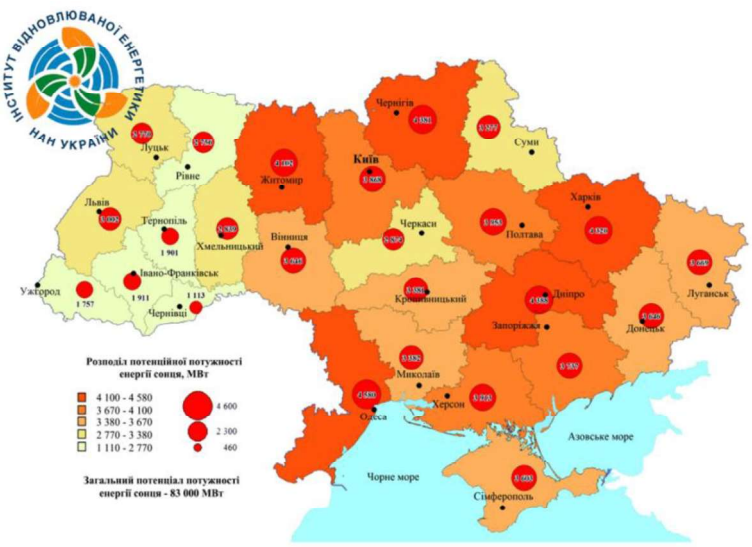


Рисунок 1.3 – Загальний потенціал потужності сонячної енергії

Окрім того, потенціал виробництва електричної енергії становить близько 100 мільярдів кВт·год на рік, що може суттєво знизити залежність України від імпортованих енергоносіїв та сприяти розвитку національної економіки.

1.3 Потенціал встановлення сонячних електростанцій

Потенціал встановлення сонячних електростанцій (СЕС) в Україні є одним із найбільших серед європейських країн завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам та постійному розвитку технологій у сфері відновлюваної енергетики. Відновлювана енергетика в Європі є однією з ключових складових енергетичної стратегії багатьох країн, спрямованих на досягнення енергетичної незалежності, зменшення викидів парникових газів та дотримання кліматичних цілей. Європейська модель переходу до відновлюваної енергетики є прикладом для інших регіонів світу завдяки збалансованому поєднанню політичних ініціатив, інновацій та міжнародного співробітництва.[16, 17] Карта інсоляції Європи ілюструє рівні сонячної радіації в різних регіонах, дозволяючи оцінити потенціал виробництва сонячної енергії, вказано на рисунку 1.4.

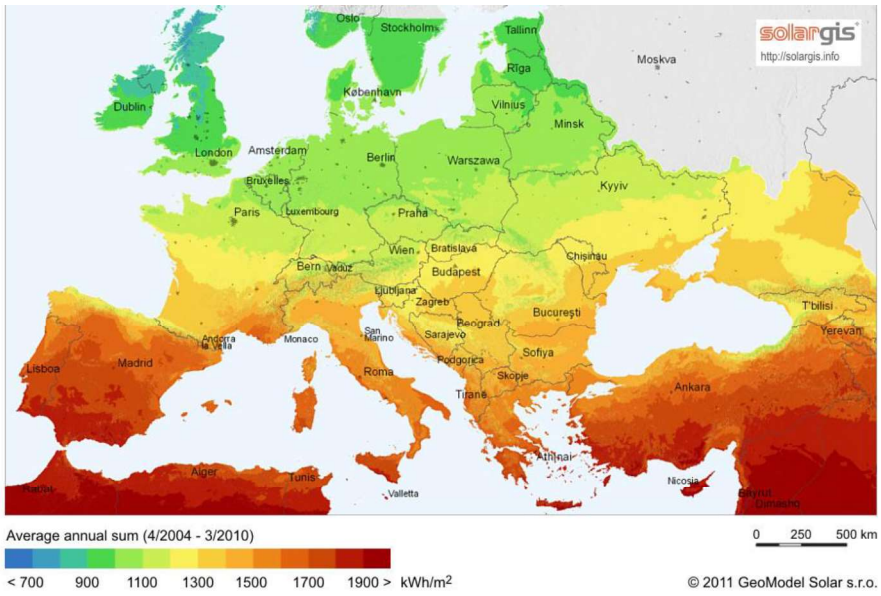


Рисунок 1.4 – Кліматична карта Європи

Україна має значний потенціал для використання сонячної енергії, що дозволяє значно зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та газ, а також зробити внесок у досягнення екологічних цілей щодо скорочення викидів парникових газів, це видно на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Обласні лідери по кількості СЕС

В Україні є значні площі малопродуктивних земель, які можуть бути використані для встановлення СЕС. Південні та центральні області України

мають найбільший потенціал для розміщення сонячних електростанцій завдяки високому рівню сонячної радіації та великій кількості годин сонячного сяйва протягом року. Зокрема, території Одеської, Херсонської, Запорізької, Дніпропетровської, Кіровоградської та Черкаської областей є найбільш перспективними для встановлення СЕС. Потенційно для цієї мети можна задіяти сотні тисяч гектарів сільськогосподарських та промислових земель, а також непідконтрольні або малопридатні для сільського господарства території, що вказує на теоретичне розширення різних типів сонячних станцій, показано на рисунку 1.6.[36]



Рисунок 1.6 – Типи сонячних станцій

Економічним аспектом для розробки та нарощення генеруючих потужностей є низка переваг, а саме зниження витрат на енергетичні ресурси, створення робочих місць, залучення інвестицій, зниження екологічних витрат, енергетична незалежність і національна безпека, підвищення ефективності енергетичних систем, рисунок 1.7 найпотужніші сонячні електростанції.



Рисунок 1.7 – Найпотужніші сонячні станції України

Використання сонячних панелей для покриття частини потреб у електроенергії на місцевому рівні (наприклад, для домогосподарств чи малих підприємств) дозволяє зменшити навантаження на централізовану енергетичну інфраструктуру. Це знижує витрати на транспортування електричної енергії, збільшує стабільність енергопостачання та знижує втрати енергії в мережах.

Сонячна енергетика має великий потенціал як у внутрішньому, так і в зовнішньому економічному контексті, що зумовлює її поступовий розвиток і підтримку з боку держави.

1.4 Програми підтримки переходу на альтернативні джерела енергії

1 квітня 2009 р. Президентом України був підписаний Закон про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії. [14] Зазначеним законодавчим актом були введені революційні нововведення по запровадженню в державі «зеленого» тарифу на електричну енергію, отриману з альтернативних джерел.

[23] Україна запровадила один із найвищих "зелених тарифів" у Європі, що стимулювало зростання кількості СЕС.

Зелений тариф – це особливий механізм, за яким держава купує електроенергію, вироблену приватними особами чи організаціями, які використовують альтернативні джерела енергії. Основна мета запровадження зеленого тарифу полягає в заохоченні розвитку альтернативних енергетичних ресурсів та інвестуванні в технології для ефективного використання відновлюваних джерел енергії. Результати такого підходу виведено на рисунку 1.8.[3]



Рисунок 1.8 – Динаміка встановлення СЕС у приватних домогосподарствах

Ще одною не менш важливою є програма «Доступні кредити 5-7-9» [22] для ОСББ та ЖБК на купівлю обладнання для генерації з альтернативних джерел енергії. Мета Програми полягає в збільшенні використання відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії та тепла, а також у впровадженні заходів для підвищення енергоефективності та зміцнення енергетичної безпеки житлового сектору. Хоча ця програма не орієнтована на приватні господарства, проте вона демонструє прагнення держави до впровадження екологічних ініціатив.

1.5 Типи сонячних електричних станцій

Сонячна енергетика є одним із найперспективніших рішень для енергозабезпечення приватного сектора. Вона поєднує ефективність, екологічність та відносну доступність у порівнянні з іншими відновлюваними джерелами енергії. Залежно від конструкції, принципу роботи та способу інтеграції в енергомережу, вони поділяються на кілька типів, кожен із яких має свої унікальні особливості й призначення. Розуміння цих типів допомагає вибрати оптимальне рішення для забезпечення енергопотреб, враховуючи технічні, економічні та екологічні аспекти. Типи сонячних електростанцій зібрано на рисунку 1.9.[36]

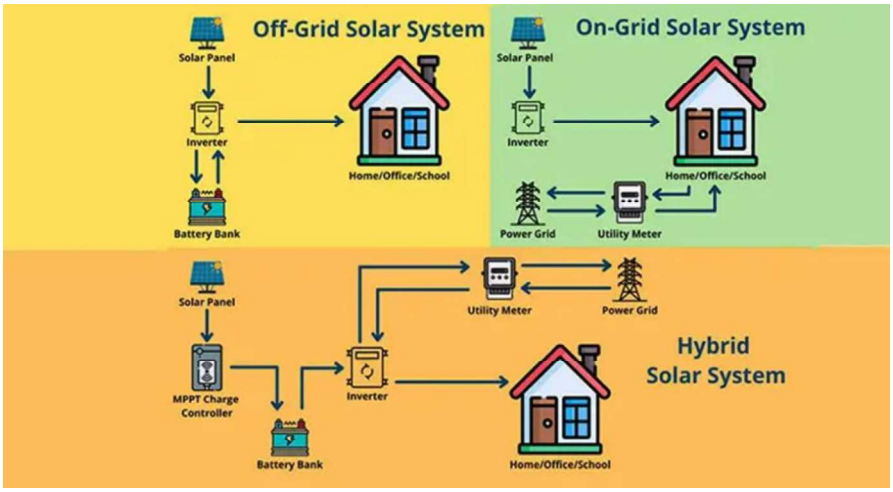


Рисунок 1.9 – Типи сонячних електростанцій

Мережеві сонячні електростанції в Україні демонструють значний потенціал, однак їх впровадження супроводжується як позитивними результатами, так і низкою викликів. Завдяки сприятливим кліматичним умовам, особливо в південних регіонах, такі станції дозволяють ефективно використовувати природний ресурс — сонячне випромінювання. Підтримка з боку держави, зокрема через механізм "зеленого тарифу", стимулює розвиток цього напрямку. Проте, незважаючи на очевидні переваги, доцільність впровадження мережевих СЕС викликає певні питання.

З одного боку, сонячні електростанції сприяють енергонезалежності та зменшенню впливу на довкілля, що є важливим у контексті енергетичної безпеки країни. Вони дозволяють знизити викиди парникових газів і диверсифікувати енергетичний баланс, роблячи його менш залежним від викопних видів палива. Крім того, такі станції стали привабливим об'єктом для інвестицій, що сприяє розвитку регіонів, створенню нових робочих місць і зміцненню місцевої економіки.

З іншого боку, ефективність мережевих сонячних електростанцій залежить від низки факторів, які можуть обмежувати їхню доцільність.[4] Наприклад, висока залежність від погодних умов впливає на стабільність генерації енергії. У зимові місяці або під час тривалих періодів хмарності продуктивність станцій суттєво знижується. Це створює необхідність у додаткових резервних джерелах енергії або накопичувальних системах, які наразі є дорогими та технологічно обмеженими.

Ще одним викликом є технічні обмеження енергомережі. Інфраструктура, особливо у віддалених регіонах, не завжди готова до інтеграції великих обсягів енергії, виробленої СЕС. Це може призводити до перенавантаження мережі, необхідності в модернізації обладнання та додаткових витрат. Крім того, зменшення тарифів на електроенергію, вироблену за "зеленим тарифом", створює додатковий тиск на економічну доцільність будівництва нових СЕС.

Таким чином, впровадження мережевих сонячних електростанцій є доцільним кроком з погляду екологічної та енергетичної безпеки, проте їх ефективність залежить від комплексного підходу до вирішення технічних, економічних та інфраструктурних викликів. Для максимізації користі від СЕС важливо забезпечити модернізацію енергомереж, розробити дієві механізми зберігання енергії та продовжити підтримку інвесторів через стабільні й прозорі умови. Схема СЕС продемонстрована на рисунку 1.10.

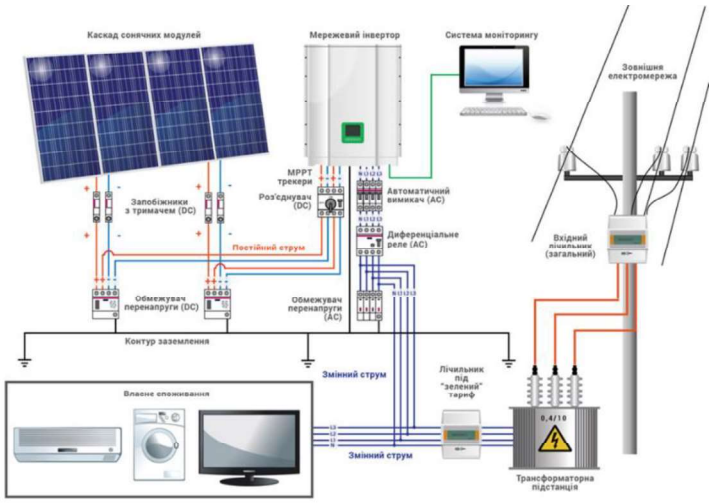


Рисунок 1.10 – Мережева сонячна електростанція

Мережеві сонячні електростанції є ефективним рішенням для генерації енергії з подальшим її продажем у загальну електромережу. Проте залежність від зовнішніх мереж та обмеження у випадках їхньої недоступності підкреслюють важливість розвитку альтернативних підходів до використання сонячної енергії.

У цьому контексті автономні сонячні станції,[7] що здатні забезпечувати енергопостачання незалежно від централізованої інфраструктури, набувають все більшої популярності, особливо для віддалених регіонів, приватних господарств чи об'єктів із підвищеними вимогами до енергобезпеки,[37] яку показано на рисунку 1.11.

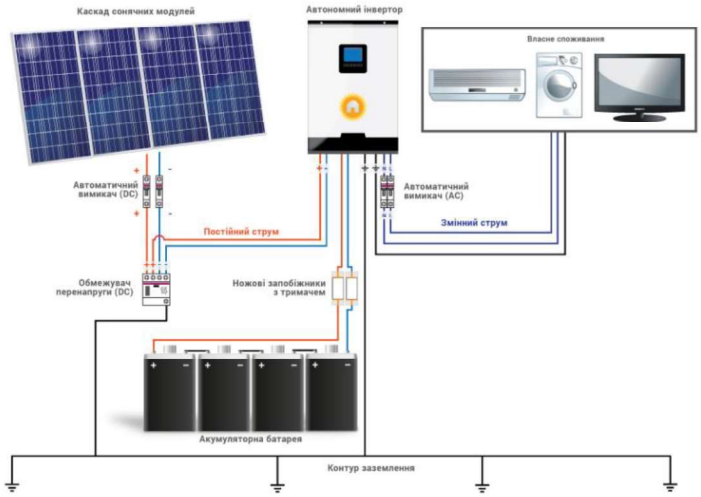


Рисунок 1.11 – Автономна сонячна електростанція

Автономні сонячні електростанції в умовах українських широт мають як значні переваги, так і свої обмеження, особливо в порівнянні з мережевими станціями. Їх головною перевагою є здатність функціонувати незалежно від централізованої електромережі, що робить їх незамінними в умовах регулярних відключень електроенергії, або «блекаутів», які стали частим явищем в Україні останніми роками. Для багатьох приватних господарств автономні СЕС стають ключовим рішенням, яке дозволяє підтримувати роботу основних побутових пристроїв і забезпечувати базові потреби навіть за відсутності централізованого постачання.

Однак їхня ефективність обмежується сезонними й погодними факторами. В зимові місяці, коли тривалість світлового дня скорочується, а рівень сонячного випромінювання знижується, продуктивність автономних станцій може бути недостатньою для повного задоволення енергопотреб. Це створює потребу в додаткових системах зберігання енергії, таких як акумуляторні батареї, які суттєво збільшують вартість установлення й обслуговування автономних станцій. Крім того, автономні системи мають обмежену потужність і не завжди здатні забезпечити роботу всього господарства в пікові моменти споживання.

У порівнянні з мережевими СЕС, автономні станції менш вигідні з точки зору економіки. Мережеві системи дозволяють продавати надлишкову

електроенергію за "зеленим тарифом", повертаючи частину інвестицій. Автономні ж системи не мають такої переваги, оскільки їхня головна мета – забезпечення самодостатності, а не комерційний прибуток. Водночас автономні системи часто є єдиним виходом для тих, хто мешкає у віддалених регіонах, де підключення до централізованої електромережі є економічно або технічно недоцільним.

Таким чином, доцільність впровадження автономних СЕС значною мірою залежить від конкретних умов і потреб користувача. Вони є життєво необхідними для енергетичної незалежності в умовах нестабільності постачання, проте вимагають значних початкових інвестицій і мають технологічні обмеження, які потрібно враховувати під час їхнього проєктування.

Автономні та мережеві сонячні станції мають свої унікальні переваги, але також обмеження, які часто впливають на вибір тієї чи іншої системи. Мережеві станції ефективні для економії на електроенергії та заробітку завдяки "зеленому тарифу", але вони залежні від стабільності загальної мережі. Автономні системи забезпечують енергетичну незалежність, проте вимагають значних інвестицій у зберігання енергії та можуть виявитися недостатньо продуктивними у періоди низької інсоляції. Для поєднання найкращих якостей цих двох типів було розроблено гібридні сонячні електростанції, котра зображена на рисунку 1.12, які пропонують універсальне рішення для енергопостачання за будь-яких умов.

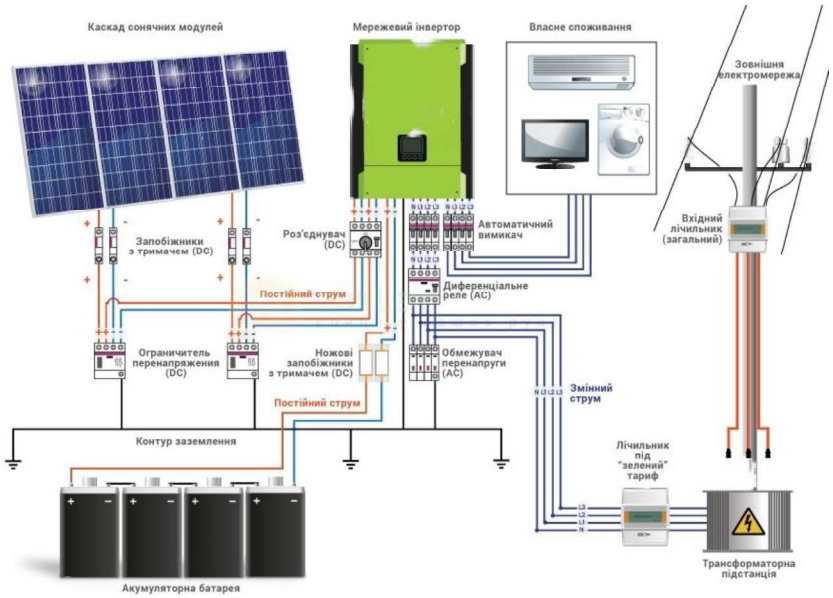


Рисунок 1.12 – Гібридна сонячна електростанція

Вони увібрали найкраще від обох, а тому здатні працювати незалежно від загальної мережі під час її збоїв, зберігаючи надлишкову енергію в акумуляторах, а також продавати електроенергію за "зеленим тарифом", якщо така можливість доступна. Цей тип станцій є найбільш універсальним варіантом, особливо для регіонів із нестабільним електропостачанням. Загалом, сонячні електростанції, незалежно від типу, стають все більш популярним рішенням завдяки екологічності, довгостроковій економічній вигоді та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

Безперечно, сонячні електростанції можна назвати інвестицією у своє майбутнє, особливо враховуючи складнощі, які залишаються актуальними навіть у післявоєнний період. Проблеми з електропостачанням, викликані пошкодженням інфраструктури, можуть потребувати тривалого часу для повного вирішення. У таких умовах сонячні електростанції стають надійним джерелом енергії, здатним забезпечити стабільність та автономність. Крім того, це спосіб захистити себе від ризиків повторних відключень і зростання цін на традиційні енергоресурси, нерівномірність споживання проілюстровано на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 Графік споживання електроенергії населенням та промисловістю

1.6 Класифікація та особливості систем автономного електропостачання

Системи автономного електропостачання – це незалежні комплекси, які забезпечують виробництво, зберігання та споживання електроенергії без підключення до централізованих електромереж. Їх основне призначення — надавати електроенергію в умовах, де доступ до загальної енергосистеми обмежений або недоступний, а також підвищувати надійність енергопостачання в разі аварій чи перебоїв у мережі. Класифікують за:

Рівень автономності

- Повністю автономні, які працюють виключно на власних джерелах енергії без підключення до зовнішніх мереж.
- Частково автономні, які можуть використовувати зовнішню мережу як резерв або додаткове джерело енергії.

В Україні є кілька стандартів, що регулюють використання альтернативних джерел енергії, в тому числі для автономних сонячних електростанцій. Законодавчі акти, такі як "Про альтернативні джерела енергії",

визначають порядок експлуатації таких систем, вимоги до їх безпеки, а також механізми стимулювання використання відновлювальних джерел.

Системи малої потужності: до 30 кВт.

Використовуються для забезпечення електроенергією окремих приватних будинків, невеликих дачних господарств, малих офісів чи магазинів.

Системи середньої потужності: від 30 до 150 кВт.

Застосовуються для потреб невеликих підприємств, фермерських господарств, багатоквартирних будинків чи об’єктів соціальної інфраструктури.

Системи великої потужності: понад 150 кВт.

Призначені для забезпечення енергопостачання великих промислових підприємств, великих поселень, лікарень чи інших об’єктів із високим рівнем споживання електроенергії.

Відповідно до завдань, які виконують автономні системи, їх можна поділити на:

- Системи для аварійного живлення, які забезпечують резервне енергопостачання у випадках перебоїв у центральній мережі.
- Основні джерела енергії, що постійно забезпечують електроенергією віддалені чи ізольовані об’єкти, (рис. 1.14).

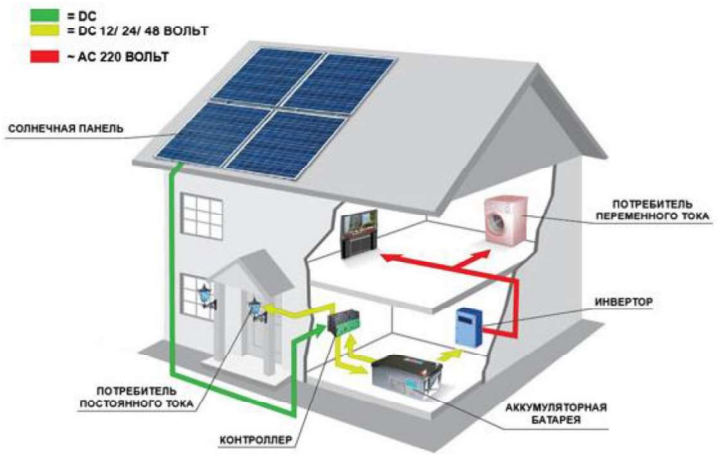


Рисунок 1.14 – Схема будинку на сонячних панелях

Схема показує, як енергія, вироблена панелями, накопичується в акумуляторах і перетворюється інвертором для забезпечення електроживлення побутових пристроїв. Такий підхід дозволяє забезпечити автономне енергопостачання будинку навіть за відсутності централізованої мережі.

1.7 Висновки до розділу 1

У першому розділі роботи розглянуто еволюцію технологій сонячної енергетики, її значний вплив на розвиток сучасних альтернативних джерел енергії та перспективи впровадження в Україні. Проведений аналіз потенціалу сонячної енергії показав, що кліматичні умови країни, зокрема на південних територіях, сприяють ефективному використанню сонячних установок.

Виявлено, що встановлення сонячних електростанцій має високий потенціал не лише для забезпечення електроенергією приватних домогосподарств, а й для створення масштабних комерційних проектів. Державні програми підтримки, такі як субсидії на встановлення сонячних панелей, стимулюють перехід на відновлювані джерела енергії, сприяючи зниженню енергетичної залежності країни.

Також було розглянуто типи сонячних електростанцій, кожна з яких має свої переваги та особливості застосування. Окрема увага приділена класифікації систем автономного електропостачання, що включають як повністю незалежні, так і гібридні установки, здатні забезпечувати стабільну подачу енергії у віддалених регіонах.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Автономні системи використовуються там, де немає мереж централізованого електропостачання. Забезпечують електроживлення житлових навантажень, при відсутності зовнішньої лінії електропередачі. Для забезпечення енергією в темний час доби або в

періоди без яскравого сонячного світла, необхідна акумуляторна батарея. Автономні фотоелектричні системи часто використовуються для електропостачання окремих будинків. Малі системи дозволяють живити базове навантаження. Основна перевага полягає в незалежності від мереж електропостачання та відповідно, плати за електроенергію. Структуру автономної сонячної електростанції (АСЕ) показано на рис. 2.1.

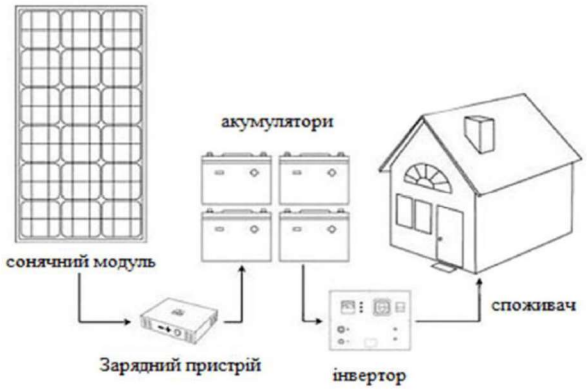


Рисунок 2.1 – Структура автономної сонячної електростанції

Контролер заряду може бути вмонтований у гібридний інвертор, тоді отримаємо 2-в-1 пристрій, який поєднує функції управління зарядом акумуляторів і перетворення постійного струму в змінний. Це дозволяє значно спростити конструкцію автономної енергетичної системи, зменшити кількість окремих компонентів та оптимізувати її роботу.

Така інтеграція підвищує енергоефективність, зменшує втрати при перетворенні енергії та полегшує процес монтажу й обслуговування системи. Крім того, гібридні інвертори часто оснащуються смарт-функціями для моніторингу стану батарей, управління навантаженням та інтеграції з іншими джерелами енергії, що робить їх ідеальним рішенням для сучасних автономних і гібридних електростанцій.

2.1 Визначення енергоспоживання об’єкту

Сучасні системи енергопостачання здебільшого використовують змінний струм із напругою 220 В та частотою 50 Гц, який є стандартом для побутових і промислових електромереж. Однак існує обладнання, що працює на постійному струмі, яке може бути безпосередньо підключене до сонячних панелей. Такий підхід дає змогу уникнути втрат енергії, що виникають при її перетворенні, хоча вартість пристроїв постійного струму, як правило, є вищою через їхню меншу поширеність на ринку.

Переведення певних категорій споживачів на постійний струм може зменшити витрати енергії, спричинені перетвореннями струму. Наприклад, значна частина електронних пристроїв, такі як телевізори, комп'ютери, мережеве обладнання функціонують завдяки стабільному струму низької напруги, що забезпечується внутрішніми блоками живлення. При живленні змінним струмом відбувається подвійне перетворення (постійний змінюється на змінний і знову на постійний), яке супроводжується втратами енергії. Перехід на пряме живлення постійним струмом допоміг би мінімізувати ці втрати, але реалізація такого переходу потребує значних інвестицій у зміну технологічних рішень.

Прилади, що споживають багато енергії, такі як електрообігрівачі або лампи розжарювання, теж можуть працювати на постійному струмі. Проте використання низької напруги для таких пристроїв вимагає прокладання проводів із великим перерізом, що значно підвищує вартість системи. Це обмежує доцільність такого рішення.

Раціональне планування графіків роботи обладнання відіграє важливу роль у зниженні пікових навантажень на електросистему. Наприклад, недоцільно одночасно вмикати потужні електроприлади, як-от електрочайник і праску. Такий підхід дозволяє зменшити вимоги до потужності інвертора, знизити витрати на проводку та підвищити загальну ефективність системи.

Таблиця 2.1 - Навантаження змінного струму

№	Споживачі	Потужність, Вт	Кількість, одиниць	Годин за добу	Навантаження Вт·год/добу
1	Бойлер	1000	1	1	1
2	Пилосос	550	1	1	0,55
3	Телевізор	100	1	4	0,4
4	Витяжка	145	1	3	0,435
5	Комп’ютер	200	1	2	1,4
6	Холодильник	250	1	7	1,5
7	Пральна машина	2000	1	6	3,3
8	Ноутбук	100	1	1,5	1
9	Монітор	25	1	10	0,25
10	Фен	2200	1	0,5	1,1
11	Чайник	1000	1	0,5	0,5
12	СВЧ піч	1500	1	0,7	1
13	Насос циркуляційний	50	1	24	1,2
14	Інтернет	10	1	24	0,24
15	Освітлення	9	4	8	0,45
				Всього W_{AC}	14000

Розраховуємо кількість енергії постійного струму W_{TP} за формулою, кВт·год:

$$W_{TP} = \frac{W_{AC}}{\eta_{INB}} \quad (2.1)$$

де W_{AC} - навантаження змінного струму, кВт·год;

η_{INB} - ККД інвертора.

Відповідно кількість енергії постійного струму складе 14,433 кВт·год.

Приймаємо напругу в системі постійного струму U_{DC}, яка повинна відповідати вхідній напрузі інвертора $U_{ІНВ}$.

Число Ампер-годин за добу, яке потрібне для покриття навантаження змінного струму, визначається за формулою, А·год:

$$q_{AC} = \frac{W_{TP}}{U_{IHB}} \tag{2.2}$$

де $U_{ІНВ}$ - напркга інвертора, В.

Відповідно число Ампер-годин за добу становитиме 601 А·год.

2.2 Вибір інвертора для системи електропостачання

При виборі інвертора необхідно звертати увагу на такі ключові аспекти: простота конструкції, зручність експлуатації, надійність роботи, доступна ціна та високі технічні характеристики. Зокрема, важливими є точне підтримання вихідної напруги й частоти, здатність витримувати перевантаження, а також синусоїдальна форма вихідного сигналу. Для забезпечення ефективної роботи інвертора слід враховувати його потужність, яка повинна перевищувати розрахункове активне навантаження $P_р$, кВт.

Вибір потужнішого інвертора обумовлюється потребою в резерві потужності для запуску пристроїв, які споживають значні пускові струми, таких як холодильники, двигуни або радіоапаратура. Крім того, активна потужність інвертора зазвичай менша за повну через внутрішні втрати. Силовий блок інвертора виконує перетворення постійного струму в змінний синусоїдальний сигнал із стабільною амплітудою та частотою, що забезпечує живлення споживачів без втрат якості енергії.

Додатковою перевагою сучасних інверторів є наявність функції байпасу. Ця функція дозволяє системі автоматично переключатися на альтернативні джерела енергії, такі як акумуляторні батареї або сонячні панелі, у разі

відсутності централізованого живлення. При критичному рівні заряду акумуляторів інвертор видає попередження та вимикається, забезпечуючи захист системи.

Автоматизація процесів у інверторах передбачає перемикання навантаження на резервне джерело у випадках виходу параметрів енергопостачання за допустимі межі. Для вибору відповідного інвертора з постійною напругою 12 В і змінною напругою 220 В слід визначити сумарну потужність одночасно підключеного навантаження, а також врахувати його тип – активне або реактивне. Це дозволить точно розрахувати номінальну потужність пристрою, що відповідає вимогам конкретної системи.

Максимальна миттєва потужність мережі визначається найбільшим сумарним навантаженням від електроприладів, які можуть одночасно працювати. Втім, це не означає, що потрібно просто додати потужність усіх пристроїв, наявних у господарстві. Деякі прилади використовуються лише в певний час або в різні періоди року, наприклад, газонокосарка для літнього сезону та снігоприбирач для зимового. Інші ж пристрої зазвичай включаються по черзі, а не одночасно.

До того ж, свідоме використання потужних електроприладів, таких як праска або електрочайник, може значно зменшити потребу в додатковій потужності. Перед включенням одного з таких пристроїв можна переконатися, що інший вимкнено. Це дозволяє уникнути надмірного навантаження на систему живлення, яке в реальних умовах може знадобитися лише кілька разів на рік і на дуже короткий час.

Водночас важливо врахувати електроприлади, які працюють постійно або вмикаються автоматично, такі як бойлери чи системи підігріву підлоги. Також необхідно брати до уваги пристрої з тривалим часом роботи, наприклад, телевізори чи комп’ютери, оскільки вони мають високу ймовірність одночасного використання.

Таким чином, потреба в резервній потужності значно знижується, якщо враховувати реальну експлуатацію приладів. Замість значних десятків кіловат,

які знадобились би для одночасного запуску всіх пристроїв, у більшості випадків вистачає 3–6 кВт. Це відповідає вимикачам з номінальним струмом у межах 16–32 А при стандартній напрузі 220 В.

Для розрахунку навантаження побутових приладів будинку складається добовий графік навантаження, дані заносяться до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Добовий графік навантаження

t	Зима			Літо		
	n,%	P,кВт	$W_{спож}$	n,%	P,кВт	$W_{спож}$
1	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
2	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
3	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
4	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
5	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
6	40,0	1,00	1,00	26,7%	0,80	0,80
7	80,0	2,00	2,00	50,7%	1,52	1,52
8	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
9	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
10	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
11	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
12	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
13	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
14	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
15	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
16	20,0	0,50	0,50	16,7%	0,50	0,50
17	28,0	0,70	0,70	23,3%	0,70	0,70
18	100,0	2,50	2,50	73,3%	2,20	2,20
19	60,0	1,50	1,50	33,3%	1,00	1,00
20	32,0	0,80	0,80	26,7%	0,80	0,80

Продовження таблиці 2.2

21	32,0	0,80	0,80	26,7%	0,80	0,80
22	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
23	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
24	12,4	0,31	0,31	8,7%	0,26	0,26
Σ			15,97			14,04

Результати розрахунку споживання активної енергії (за добу та за місяць) зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Дані споживання активної електроенергії

Сезон	$W_{спож}$, кВт·год	
	доба	місяць
Зима	16	480
Літо	14	420

Будуємо графік добової потужності за даними з таблиці 2.2.

На рисунку 2.2 представлено графік активної потужності за 24 години.

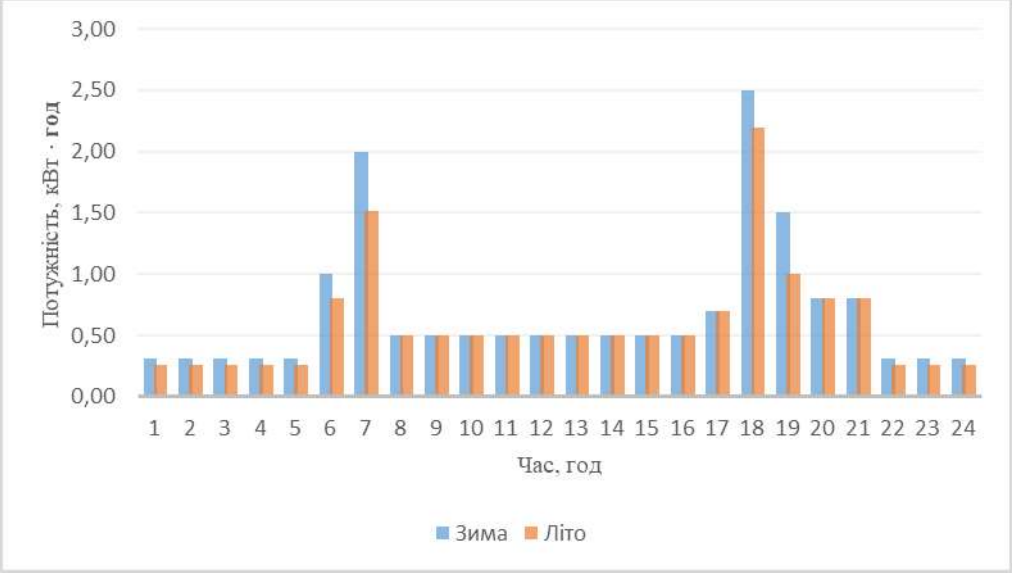


Рисунок 2.2 – Добовий графік активної потужності у змово-літній період

В наведеній таблиці 2.2 «пік» споживання енергії складає близько 2,5 кВт, коли протягом 1 годин працюють практично всі затребувані прилади.

Інвертор повинен витримувати перевантаження не менше сумарної потужності постійного навантаження і найбільшого з пускових.

Для розрахунку споживаної потужності системи з інвертором, який працює на змінному струмі, важливо врахувати кілька факторів. Спочатку слід помножити середнє споживання енергії на коефіцієнт максимуму. Цей коефіцієнт виражає відношення між максимальною потужністю, яку має забезпечити інвертор, та середньодобовою потужністю споживаних електричних пристроїв. Наприклад, якщо коефіцієнт максимуму становить 5, то отриману потужність потрібно збільшити в 5 разів.

Щоб компенсувати втрати, які виникають під час перетворення енергії в інверторі, слід отриману потужність помножити на коефіцієнт 1,25. Це дозволяє коректно врахувати енергетичні втрати та забезпечити точний розрахунок потужності для вибору інвертора, здатного ефективно працювати в умовах реальної експлуатації.

Потужність розраховують за рівнянням:

$$P_{IHB} = \frac{1,25 \cdot K_{\max} \cdot W_{AC}}{24} \tag{2.3}$$

У цьому випадку розрахунок потужності на основі середньодобового споживання енергії може бути недостатнім для забезпечення довготривалого живлення навіть одного потужного споживача, оскільки враховується лише середнє значення споживаної енергії за добу.

Є більш точний варіант підрахунку максимальної сумарної потужності одночасно працюючих АС споживачів. Тоді з урахуванням запасу бажаний інвертор з номінальною потужністю не менше 3,5-4 кВт.

Гібридний інвертор – це пристрій, який поєднує функції сонячного інвертора та зарядного пристрою для акумуляторів. Він дозволяє не тільки

перетворювати постійну напругу від сонячних панелей у змінну для живлення навантажень, але й зберігати надлишкову енергію в акумуляторах для подальшого використання, зображено на рисунку 2.3. [11]



Рисунок 2.3 – Гібридний інвертор ALLURE Prime

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики гібридного інвертора ALLURE Prime

Показники	Одиниця виміру	Значення
Виробник		Китай
Номінальна робоча напруга	В	240
Максимальна напруга PV	В	500
Діапазон вхідної напруги PV	В	60-450
Максимальний струм PV	А	18
Діапазон MPPT при повному навантаженні	В	240-450

Продовження таблиці 2.4

Максимальна вхідна потужність PV	Вт	6200
Потужність	Вт	4200
ККД	%	97
Максимальний струм заряду	А	120
Напруга станції	В	24
Частота	Гц	50
Термін служби	рік	10
Захист від перегрівання		так
Захист від перевантаження		так
Wi-fi модуль		так
Довжина	мм	430
Ширина	мм	340
Висота	мм	110
Вага	кг	11

Вибір гібридного інвертора потужністю 4,2 кВт мотивований необхідністю забезпечити ефективну роботу сонячної електростанції з урахуванням пікових навантажень і максимального використання виробленої енергії. Інвертор потужністю 4,2 кВт дозволяє оптимально перетворювати енергію від сонячних панелей, забезпечуючи стабільне живлення для основних навантажень, а також ефективно працювати з акумуляторами, зберігаючи надлишкову енергію для використання вночі чи в періоди низької сонячної активності. Така потужність інвертора дозволяє досягти високого рівня автономності, оскільки він автоматично перемикається між джерелами живлення, гарантуючи безперебійне електропостачання за будь-яких умов. Крім

того, вибір інвертора на 4,2 кВт забезпечує достатній запас потужності для підключення додаткових навантажень або розширення системи в майбутньому, що робить таке рішення гнучким і ефективним з економічної точки зору.

2.3 Визначення необхідної ємності акумуляторної батареї їх кількості

Для розрахунку максимального числа «днів без сонця» $N_{БС}$ в залежності від режиму роботи фотоелектричної системи ФЕС, слід врахувати ситуацію, коли сонячного випромінювання недостатньо для зарядки акумуляторних батарей, що може трапитися через погіршення погодних умов або хмарність. У випадку цілорічної експлуатації ФЕС, яка має дублер або підключена до загальної енергомережі, для мінімізації витрат можна вибрати значення одного дня без сонця. Це обґрунтовується можливістю заряджати акумулятори від резервного джерела в будь-який час. Також допустимо вибрати іншу кількість днів, протягом яких акумулятори можуть самостійно забезпечувати роботу навантаження без підзарядки, показники представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Кількість днів без сонця, обумовлена погодними умовами

Широта місцевості	Період		
	Літні місяці	Осінні і весняні	Зимові місяці
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця $N_{БС}$:

$$q_N = q_{ДОБ} \cdot N_{БС} \tag{2.4}$$

Задати величину глибини допустимого розряду акумуляторної батареї. При цьому необхідно врахувати, що чим більше глибина розряду, тим швидше батареї вийдуть з ладу. Рекомендується значення глибини розряду 20% - 50%, відповідно коефіцієнт використання γ складе від 0,2 до 0,5. Ні за яких обставин розряд батареї не повинен перевищувати 80%.

Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma} \tag{2.5}$$

Вибираємо температурний коефіцієнт α з табл. 2.6, який враховує зменшення місткості акумуляторної батареї при зниженні температури в приміщенні, де вона встановлена. Звичайно це середня температура в зимовий час.

Таблиця 2.6 - Температурний коефіцієнт для акумуляторної батареї

Температура в градусах		Коефіцієнт
°C	F	
26,7	80	1
21,2	70	1,04
15,6	60	1,11
10,0	50	1,19
4,4	40	1,3
-1,1	30	1,4
-6,7	20	1,59

Загальна необхідна місткість акумуляторних батарей:

$$q_{АКБ} = q_\gamma \cdot \alpha \tag{2.6}$$

Кількість батарей з’єднаних паралельно, визначають із залежності:

$$N_{ПАР}^{АКБ} = \frac{q_{АКБ}}{q_{НОМ}} \tag{2.7}$$

Отримане значення округлюють до більшого цілого.

Схеми з’єднання акумуляторів [30] визначають спосіб підключення окремих батарей для досягнення необхідної напруги, ємності або їх комбінації. Основними способами підключення акумуляторів є послідовне, паралельне та змішане з’єднання, їх зазначено на рисунку 2.4 та 2.5.

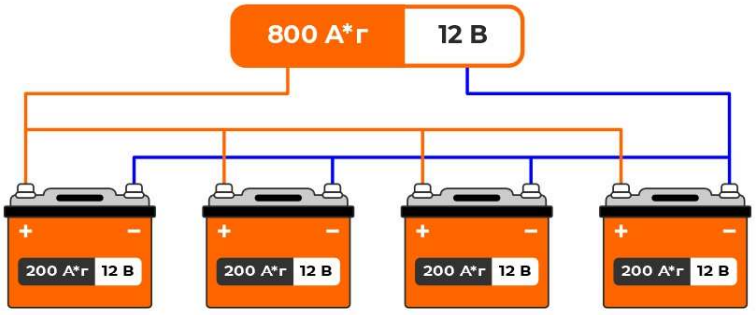


Рисунок 2.4 – Схема паралельного з’єднання акумуляторних батарей

Кількість послідовно сполучених батарей.

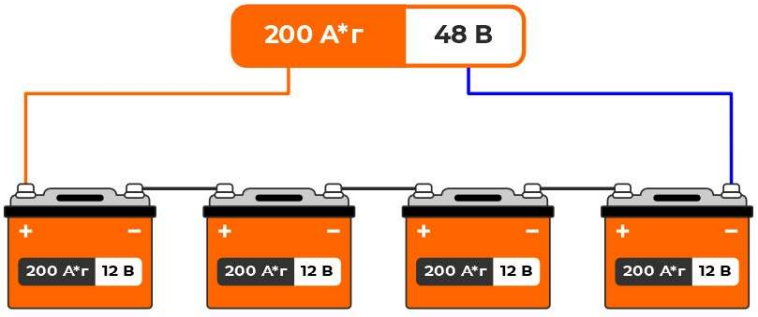


Рисунок 2.5 – Послідовне з’єднання визначають із залежності та округлюють до більшого цілого:

$$N_{ПОС}^{АКБ} = \frac{U_{ІНВ}}{U_{НОМ}} \tag{2.8}$$

Загальна кількість акумуляторних батарей складе:

$$N^{АКБ} = N_{ПАР}^{АКБ} \cdot N_{ПОСЛ}^{АКБ} \tag{2.9}$$

Вибір в бік гелевого акумулятора Jarrett GEL 12 В 250 А·год для автономної сонячної електростанції обґрунтований низкою важливих факторів, що визначають його ефективність і надійність в умовах постійного використання та відносна дешевизна.

По-перше, гелеві акумулятори мають високу стійкість до глибоких розрядів і перепадів температур, що робить їх ідеальними для використання в автономних сонячних системах, де зміни енергоспоживання можуть бути значними. Вони забезпечують стабільну роботу навіть при частих циклах зарядки і розрядки, що важливо для забезпечення надійної роботи станції протягом тривалого часу.

По-друге, висока ємність акумулятора 250 А·год дозволяє накопичувати велику кількість енергії для використання вночі або в періоди, коли сонячна генерація недостатня, що дає значну автономність системи. Така ємність також дозволяє акумулювати надлишкову енергію, коли сонце в найбільшу пору дня, і використовувати її в момент потреби.

Крім того, акумулятор має довгий термін служби завдяки своїй технології, що зменшує деградацію навіть після численних циклів розрядки та зарядки, що робить його вигідним з економічної точки зору.

Тому вибір акумулятора Jarrett GEL є оптимальним для забезпечення високої ефективності та надійності роботи автономної сонячної електростанції, а також для досягнення максимальної автономності та тривалості експлуатації системи, зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Гелевий акумулятор Jarrett GEL

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики акумулятора Jarrett 12V 250Ah

Показники	Одиниця виміру	Значення
Ємності	А	250
Напруги	В	12
Напруга зарядки в циклічному режимі	В	14,4 – 14,9
Для резервного режиму	В	13,5 – 13,8
Температурний діапазон	°С	+ 15 до + 30
Максимальний початковий струм заряду	А	18
Тип		мультигелевий
Вага	кг	45
Довжина	мм	525
Ширина	мм	247
Висота	мм	262

Переваги гелевих акумуляторів Jarrett:

Є надійним джерелом живлення та має широкий спектр застосування. Корпус акумулятора міцний і герметичний, що дозволяє використовувати батарею в будь-якому положенні, не побоюючись витоку електроліту. Акумулятори працюють в буферному режимі або мають понад 260 циклів заряду при 100% розряді, і значно більшу кількість зарядів при меншому відсотку розряду.

Акумулятор Jarrett GEL Battery може зберігатися в зарядженому стані тривалий час з низьким струмом саморозряду.

Батарея має дуже високий рівень безпеки, не виділяє шкідливих речовин, може використовуватися в будь-якому приміщенні.

2.4 Порівняння та визначення необхідної кількості сонячних батарей

Сонячні панелі є ключовим елементом сучасних систем автономного електропостачання, що працюють на основі відновлюваної енергії. [9] Вони перетворюють енергію сонячного випромінювання у постійний електричний струм завдяки використанню фотоелектричного ефекту. Завдяки своїй екологічності, ефективності та доступності, сонячні панелі стали популярним рішенням для забезпечення електроенергією як побутових споживачів, так і промислових об'єктів. Їх широке використання дозволяє зменшити залежність від традиційних джерел енергії, знизити викиди парникових газів та сприяти розвитку сталої енергетики.

Кращий вибір сонячних панелей залежить від кількох ключових факторів, серед яких тип панелі, ефективність перетворення енергії, вартість та умови експлуатації. Монокристалічні панелі є найефективнішими завдяки високому коефіцієнту корисної дії, проте вони мають вищу вартість. Полікристалічні панелі є більш доступними, але менш ефективними, що робить їх вигідними для великих площ. Тонкоплівкові панелі вирізняються гнучкістю та легкістю, однак їх ефективність залишається нижчою у порівнянні з традиційними рішеннями.

Вибір оптимального варіанту залежить від конкретних потреб користувача, кліматичних умов регіону та бюджету, виділеного на систему електропостачання, варіант панелі на рисунку 2.7.[20]



Рисунок 2.7 – Сонячна панель Longi

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики батареї Longi 550 Вт

Показники	Одиниця виміру	Значення
Потужність	Вт	550
Максимальна робоча температура	°C	85
Струм при максимальній потужності	А	13,04
Напруга при максимальній потужності	В	41,8
Тип панелі		Монокристалічна
ККД	%	21,4
Струм короткого замикання	А	13,92
Напруга холостого ходу	В	49.65
Ступінь захисту IP		68
Матеріал рамки	А	Алюміній

Продовження таблиці 2.8

Матеріал виготовлення модуля		Чистий кремній
Мінімальна робоча температура	°C	-40
Виробник		LONGi Solar
Кількість елементів	од	144
Країна виробник		Китай
Виробник		LONGi Solar
Тип підключення дротів		Роз'єми MC4
Вага	кг	27,2
Ширина	мм	1133
Товщина	мм	35
Довжина	мм	2256
Тип підключення дротів		Роз'єми MC4
Робоча температура	°C	-40...+85
Температурний коефіцієнт потужності	%/°C	-0,340
Температурний коефіцієнт напруги	%/°C	-0,265
Температурний коефіцієнт струму	%/°C	0,050

Переваги Longi Solar LR5-72HPH-550M:

- ККД вище 21%, що є одним із найвищих показників на сьогодні.
- Модуль відноситься до лінійки Hi-MO 5, де використовується «розумна пайка». Мінімізується відстань між комірками та максимізується захоплення світла.
- Завдяки технології Low LID Mono PERC: перший рік експлуатації <2% деградації, з 2 по 25 рік - не більше 0.55%;
- Оптимізовані стандартні кремнієві пластини M10 з домішками галію (182 мм) для виготовлення моно-PERC-модуля P-типу з найнижчою кришкою,

підвищеним затуханням та потужністю, а також тривалим термін надійності.

- Низький тепловий коефіцієнт та краща генерація при недостатньому освітленні.
- Технологія Half-cell.
- Рама 35 мм витримує снігове та вітрове навантаження до 5400 Па.

Монокристалічні панелі зазвичай мають високі Voc і ефективність завдяки однорідній структурі кремнію. ВАХ таких панелей є різкішою у порівнянні з полікристалічними, що демонструє їхню вищу продуктивність при аналогічних умовах, він представлений на рисунку 2.8.

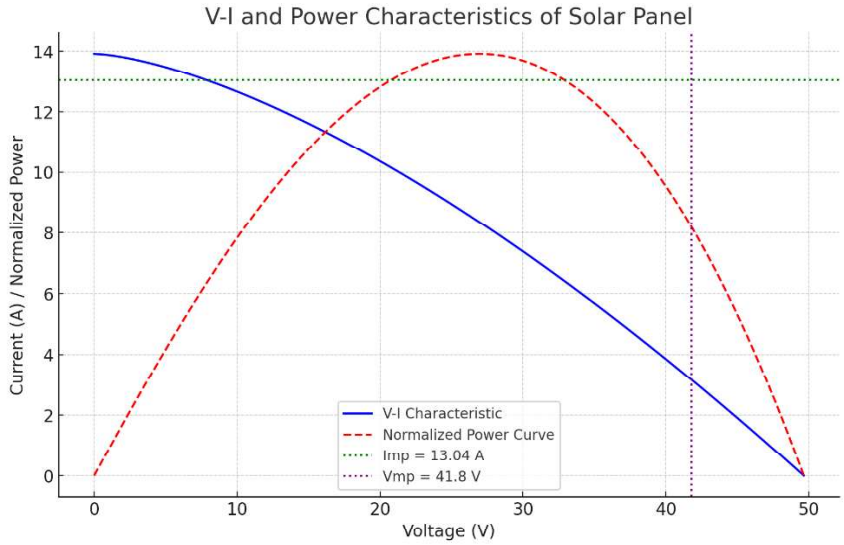


Рисунок 2.8 – ВАХ сонячної панелі Longi

Розглянемо полікристалічний варіант фотомодуля ,який показано на рисунку 2.9. [10]



Рисунок 2.9 – Сонячна батарея KOMAES

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики батареї KOMAES KM(P)190

Показники	Одиниця виміру	Значення
Максимальна потужність	Вт	190
Допуск до потужності	%	3
Напруга в точці максимальної потужності	В	19,1
Сила струму в точці максимальної потужності	А	9,95
Напруга холостого ходу (розімкнутий контур	В	22,9
Струм короткого замикання	А	10,5
Максимально допустима напруга при послідовному з'єднанні	В	1000
Ефективність батареї	%	19,2
Кількість фотоелектричних елементів	од	36

Продовження таблиці 2.9

Матеріал виготовлення фотоелемента		Полікристалічний кремній
Розмір фотоелемента	мм	157 x 157
Коефіцієнт втрати потужності при нагріві	%/°C	-0,5
Номінальна температура фотоелектричних елементів під час роботи	°C	47 ± 2
Діапазон робочих температур	°C	-40...+85
Габаритні розміри	мм	1480 x 670 x 30
Вага	кг	9,8
Тип підключення дротів		Роз'єми MC4

Технічні характеристики сонячної панелі надають базову інформацію про її продуктивність за стандартних умов, однак для більш глибокого аналізу необхідно дослідити її поведінку в реальних умовах експлуатації. Це можна зробити за допомогою Вольт-Амперної характеристики (ВАХ), яка графічно відображає залежність між струмом та напругою, демонструючи вплив зовнішніх факторів, таких як інсоляція та температура, який представлено на рисунку 2.10.

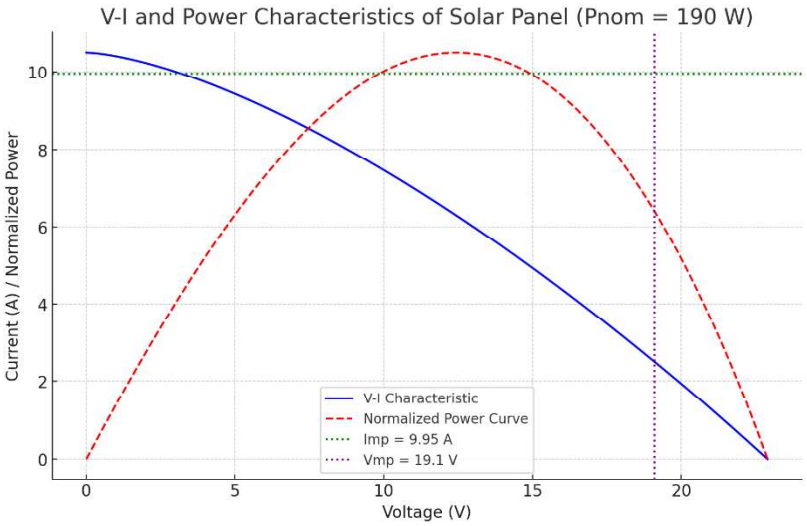


Рисунок 2.10 – ВАХ сонячної панелі KOMAES

Порівнюючи сонячні панелі Longi та KOMAES, вибір на користь панелі Longi мотивований кількома технічними та економічними факторами, які суттєво впливають на ефективність та довговічність роботи сонячної електростанції.

По-перше, панель Longi є монокристалічною, що забезпечує значно вищий коефіцієнт корисної дії (ККД) — близько 21-22%. Це означає, що вона генерує більше енергії на одиницю площі порівняно з KOMAES, яка є полікристалічною панеллю з ККД в межах 19 %. Таким чином, для однакової площі розміщення Longi буде мати вищу продуктивність, що дозволяє ефективніше використовувати доступну площу для встановлення панелей.

По-друге, панель Longi має вищу потужність (550 Вт порівняно з 190 Вт у KOMAES), що дозволяє скоротити кількість панелей, необхідних для досягнення заданої потужності системи. Це важливо, оскільки установка меншої кількості панелей з високою потужністю знижує витрати на монтаж, обслуговування та зменшує простір, необхідний для розміщення системи.

Ще одним важливим аспектом є вища напруга на виході з панелі Longi 550 Вт, що складає 41,8 В у порівнянні з KOMAES 190 Вт відповідно 19,1 В. Це дозволяє використовувати панель Longi в більш ефективних системах з високою

напругою, що знижує втрати енергії при передачі електричного струму на великі відстані, зменшує навантаження на інвертор та знижує вимоги до кабелів.

Крім того, монокристалічні панелі, такі як Longi, мають кращу ефективність при слабкому освітленні та високих температурах, що є важливим фактором в умовах змінного клімату, особливо в жарких регіонах. Вони також мають меншу деградацію ефективності з часом, що дозволяє забезпечити стабільну роботу на тривалий період.

З точки зору економічності, хоча панель Longi має вищу початкову вартість, її вища потужність та ефективність дозволяють скоротити витрати на додаткові компоненти системи, такі як монтаж та електричні з'єднання. Це робить її вигідним вибором в довгостроковій перспективі.

2.5 Вибір та монтаж кабелів для сонячної електростанції: технічні характеристики та безпека

Після того як ми обрали сонячні панелі та інші основні компоненти системи, наступним важливим етапом є вибір кабелів і проводів, які забезпечують передачу електричної енергії від панелей до інвертора, акумуляторів та інших частин системи. Від правильного вибору матеріалу, перерізу та якості кабелів залежить не тільки ефективність роботи, але й безпека всієї сонячної установки.

При виборі кабелів та проводів для підключення сонячних панелей важливо враховувати низку технічних вимог та рекомендацій, оскільки від цього залежить ефективність, безпека та надійність роботи сонячної електростанції. Використання сонячних кабелів, які відповідають специфікаціям та вимогам експлуатації, є критично важливим для стабільної роботи системи та забезпечення її довговічності.

По-перше, якість кабелів має велике значення, оскільки вони повинні витримувати зовнішні впливи, такі як вологість, перепади температур, ультрафіолетове випромінювання, а також механічні навантаження. Для

сонячних електростанцій зазвичай використовують кабелі з ізоляцією, що має підвищену стійкість до УФ-випромінювання (наприклад, кабелі типу H1Z2Z2-K), оскільки вони повинні перебувати під прямим сонячним світлом на відкритому повітрі протягом тривалого часу без втрати своїх характеристик, його зображено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Кабель H1Z2Z2-K

Таблиця 2.10 – Технічна характеристика проводу H1Z2Z2-K

Показник	Одиниця виміру	Значення
Кількість жил		1
Площа поперечного перерізу	мм^2	6
Наявність утеплювача		так
Тип зовнішньої оболонки		теплотривка
Колір утеплювача		червоний
Скрутка жил		так
Матеріал провідника		мідь
Конструкція кабеля		гнучка
Виробник		Одескабель
Країна виробник		Україна

По-друге, важливим параметром є довжина кабелів, в нашому випадку 10 метрів, оскільки вона визначає ефективність передачі електричної енергії. Зі збільшенням довжини кабелів зростають електричні втрати, тому важливо правильно визначити необхідну довжину для підключення панелей до інвертора та акумуляторної системи, мінімізуючи ці втрати. При підключенні сонячних панелей через послідовне з'єднання, важливо врахувати падіння напруги, що може вплинути на ефективність системи. Чим коротші кабелі, тим менші втрати.

Щодо кількості кабелів, потрібно враховувати кількість панелей та їх спосіб з'єднання. Якщо панелі з'єднані послідовно, то потрібен один кабель для передачі струму від кожної групи панелей до інвертора. Якщо ж панелі з'єднані паралельно, кабелі підключаються від кожної панелі або групи панелей до інвертора, забезпечуючи більш гнучке налаштування системи, але потребуючи більшої кількості кабелів. Крім того, мідні кабелі є кращим вибором для сонячних установок через їх низькі електричні опори, що дозволяє мінімізувати втрати енергії.

Тип кабелю для з'єднання панелей та інших компонентів системи повинен відповідати певним вимогам: максимальна робоча температура, стійкість до механічних пошкоджень, а також клас ізоляції. Оскільки сонячні панелі працюють на постійному струмі (DC), потрібно використовувати спеціалізовані сонячні кабелі, які мають відповідну сертифікацію, наприклад, TUV або UL, що гарантує їх безпеку і відповідність міжнародним стандартам, як показано на рисунку 2.12 та 1.13.



Рисунок 2.12 – Geprüfte Sicherheit



Рисунок 2.13 – Underwriters Laboratories

Також важливо враховувати маркування та колір проводів, яке повинно відповідати вимогам стандартів для електричних установок. Зазвичай червоні проводи використовуються для позитивного полюса, а чорні для негативного, що дозволяє легко ідентифікувати підключення при монтажі та обслуговуванні.

Вибір перерізу проводу є одним з найважливіших аспектів при монтажі сонячної електростанції, оскільки він безпосередньо впливає на ефективність передачі енергії та безпеку системи.

Переріз проводу визначає, скільки електричного струму може безпечно проходити через кабель без перегріву або значних втрат енергії. Чим більший переріз кабелю, тим менші втрати напруги і, відповідно, менше нагрівання проводу. Однак використання надмірно великого перерізу може призвести до зайвих витрат на матеріали.

Зазвичай для сонячних систем використовуються мідні кабелі з розміром перерізу в межах 4-6 мм² для з'єднання панелей та інвертора, в залежності від відстані між ними та максимальної потужності, яку передають кабелі. Для довших ліній або при підключенні великої кількості панелей може знадобитися більший переріз, наприклад, 10 мм² або більше, щоб зменшити втрати напруги та перегрів.

Після вибору кабелів та проводів важливим етапом є забезпечення надійного з'єднання всіх компонентів системи. Для цього використовуються конектори, які забезпечують міцний і безпечний контакт між панелями, кабелями та іншими елементами. Правильний вибір та монтаж конекторів

гарантують ефективну передачу енергії і запобігають можливим електричним контактам або корозії. Розглянемо детальніше, які вимоги потрібно враховувати при їх виборі, які представленні у таблиці 2.12.



Рисунок 2.14 – Конектор MC4

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики MC4

Показник	Одиниця виміру	Значення
Модель		GEYA
Виробник		Китай
Номінальна напруга DC	В	1000
Номінальний струм	А	30
Опір контакту роз’єму	мОм	5
Ступінь водонепроникності		IP67
Безпека		Клас II
Рейтинг займистості		UL94-V0
Відповідний кабель	$мм^2$	2,5 - 6
Матеріал провідника з’єднувача		мідь, олово
Ізоляційний матеріал		PPO/PPE

Продовження таблиці 2.11

Зусилля вставлення	Н	50
Діапазон робочих температур:	°С	-40 до +85

Після вибору та монтажу кабелів і конекторів, важливо забезпечити належний захист всієї сонячної електростанції від можливих електричних аварій та зовнішніх впливів. Для цього необхідно встановити захисне обладнання, яке гарантуватиме безпеку як для самого обладнання, так і для користувачів.

Придбання захисного обладнання для сонячної електростанції є важливим кроком для забезпечення її безпечної та ефективної роботи. Захист від різноманітних несприятливих впливів навколишнього середовища та електричних ризиків є обов'язковим для будь-якої електричної системи, і в сонячній енергетиці це має особливу значущість.

По-перше, захист від перенапруги та коротких замикань є необхідним для запобігання пошкодженню електричних компонентів, таких як інвертори, акумулятори та кабелі. Перенапруга може виникнути через різке коливання напруги в мережі або через удар блискавки, що може призвести до серйозних пошкоджень обладнання. Встановлення спеціальних перекидачів (блискавкозахисту) та перенапругових захисних пристроїв дозволяє уникнути великих збитків, забезпечуючи стабільну роботу системи.

По-друге, захист від перезарядки та глибоких розрядів акумуляторів є важливим для збільшення терміну служби акумуляторів і забезпечення їх безпечної роботи. Невідповідні режими зарядки та розрядки можуть призвести до перегріву, вибуху або серйозного зниження ємності акумуляторів, що зробить систему менш ефективною. Контролери заряду допомагають забезпечити безпечний та оптимальний процес зарядки, зменшуючи ймовірність пошкоджень.

Не менш важливим є захист від теплових перевантажень. Високі температури, особливо влітку, можуть призвести до перегріву електричних компонентів, що, в свою чергу, може викликати їхній вихід з ладу або навіть пожежу. Для уникнення таких ситуацій встановлюються термозахисні автоматичні вимикачі та системи охолодження для критичних елементів.

Крім того, захист від несанкціонованого доступу до елементів системи є важливим для забезпечення безпеки як фізичної, так і електричної. Встановлення замків, систем контролю доступу та моніторингу допомагає уникнути випадкових або навмисних пошкоджень, що можуть привести до серйозних поломок або нещасних випадків, захисне обладнання проілюстровано на рисунках 2.15 та 2.16. [25]



Рисунок 2.15 – Шафа для комплекту автоматики



Рисунок 2.16 – Комплект захисту для сонячної станції

І, зрештою, не варто економити на захисному обладнанні, оскільки його встановлення дозволяє не тільки зберегти працездатність і ефективність сонячної електростанції, але й запобігти серйозним фінансовим витратам на ремонт або заміну пошкоджених компонентів. Безпечна експлуатація системи дозволяє зберегти інвестиції, забезпечити тривалий термін служби та уникнути непередбачуваних витрат, що, в свою чергу, підвищує загальну економічну доцільність проекту.

2.6 Закономірності руху Сонця по небосхилу

Згідно з методикою, викладеною в, розрахунок сонячного теплового колектора розпочинається з визначення енергоприходу на його поверхню. Для розрахунку енергоприходу необхідно знати закономірності руху Сонця по небосхилу. Це пояснюється тим, що енергоприхід значною мірою залежить від положення Сонця на небесній півсфері, а також орієнтації панелей СТК. Для розрахунку кількості сонячної енергії, що поступає на похилу поверхню, необхідно знати кути падіння сонячних променів на горизонтальну і похилу поверхні в цій місцевості.

Положення точки А на земній поверхні відносно сонячних променів в даний момент часу визначається трьома основними кутами – широтою місця розташування точки φ, годинним кутом ω і нахилом Сонця δ, як показано на рисунку 2.17.

Широта φ – це кут між лінією, що сполучає точку А з центром Землі О, і її проєкцією на площину екватора. Годинний кут ω – це кут, виміряний в екваторіальній площині між проєкцією лінії ОА і проєкцією лінії, що сполучає центри Землі і Сонця. Кут ω дорівнює 0 в сонячний полудень, а о 13 годині дорівнює 15°.

Нахил Сонця δ – це кут між лінією, що сполучає центри Землі і Сонця, і її проєкцією на площину екватора. [33, 41]

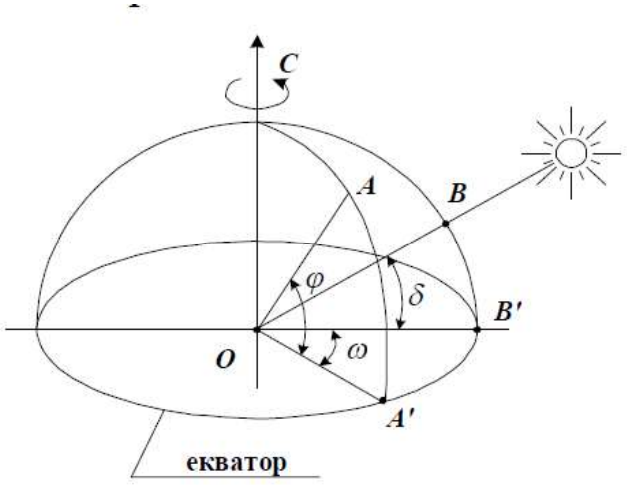


Рисунок 2.17 – Визначення кутів, зображення в екваторіальній площині

Кути, що визначають положення точки А на поверхні Землі

Нахил Сонця δ впродовж року безперервно змінюється – від (-23,27°) в день зимового сонцестояння 22 грудня до (+23,27°) в день літнього сонцестояння 22 червня і дорівнює нулю в дні весіннього і осіннього рівнодення (21 березня та 23 вересня).

Нахил Сонця в даний день визначається за формулою:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin\left[\frac{360° \cdot (284 + n)}{365}\right] \qquad (2.10)$$

де n - порядковий номер дня, відлічений від 1 січня;

δ_0=23,45°.

Разом з трьома основними кутами φ, ω і δ в розрахунках сонячної радіації використовують також зенітний кут z, кут висоти α і азимут Сонця α.

Кут висоти Сонця α – це кут у вертикальній площині між сонячним променем і його проєкцією на горизонтальну площину. Зенітний кут z – це кут між сонячним променем і нормаллю до горизонтальної поверхні в точці А.

Сума α і z дорівнює 90°. Азимут Сонця α – це кут в горизонтальній площині між проєкцією сонячного промені і напрямом на південь.

Зв’язок між додатковими і основними кутами встановлюється співвідношеннями:

зенітний кут:

$$\cos z = \cos\omega \cdot \cos\varphi \cdot \cos\delta + \sin\varphi \cdot \sin\delta \qquad (2.11)$$

кут висоти Сонця:

$$\alpha = 90 - z; \qquad (2.12)$$

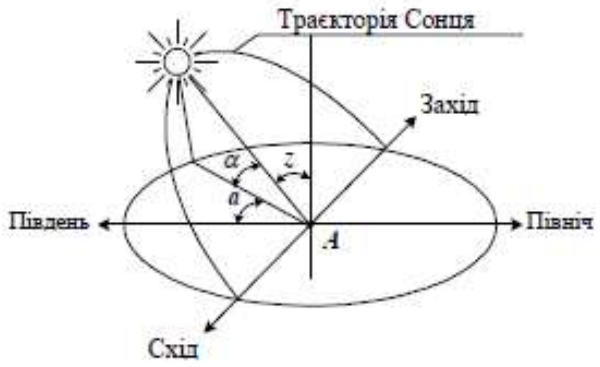


Рисунок 2.18 – Визначення кутів, зображення в горизонтальній площині

Кути, що визначають положення точки А на поверхні Землі відносно сонячних променів.

При користуванні приведеними формулами для північної півкулі широта φ береться зі знаком «плюс», а для південного – зі знаком «мінус», нахил Сонця δ має знак «плюс» для літа (від весняного до осіннього рівнодення) і знак «мінус» в решту пору року. Кут ω змінюється від 0° в сонячний полудень до 180° опівночі, при ω < 90° він має знак «плюс», а при ω > 90° – знак «мінус» Азимут Сонця α змінюється від 0° до 180°.

Кут падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню, що має азимут α_n і кут нахилу до горизонту β, визначається за формулою:

$$\cos i = \sin\beta \cdot \left[\cos\delta \cdot \sin\alpha_n \cdot \cos\omega + \sin\omega_n \cdot \sin\omega - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha_n\right] + \\ + \cos\beta \cdot \left[\cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\varphi\right] \quad (2.13)$$

Кут падіння променів на горизонтальну поверхню (β = 0°):

$$\cos(i) = \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \quad (2.14)$$

Кут падіння променів на вертикальну поверхню (β = 90°):

$$\cos(i) = \cos(\delta) \cdot (\sin(\varphi) \cdot \cos(\alpha) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\alpha)) - \\ - \sin(\delta) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\alpha + \pi / 2) \quad (2.15)$$

Азимут вертикальний поверхні α, якщо вона орієнтована на південь, дорівнює 0°, на захід − (-90°), на схід − (+90°), на північ − 180°. Підставляючи значення α в останню формулу, отримуємо вираз для кута падіння променів на вертикальну поверхню цієї орієнтації.

Для похилої поверхні з південною орієнтацією ($\alpha_н$ = 0) маємо:

$$\cos(i) = \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \quad (2.16)$$

2.7 Розрахунок сонячної енергії, що надходить на земну поверхню

сонячної енергії, що надходить на земну поверхню, Вт/м^2:

$$I_n = I_{Bn} I_{Dn} I_{Rn} \quad (2.17)$$

де I_{Bn} - пряме сонячне випромінювання;

I_{Dn} - дифузне сонячне випромінювання;

I_{Rn} - відбите сонячне випромінювання.

Потік прямої сонячної радіації на похилу поверхню записується у вигляді

$$I_{Bt} = I_{Bn} \cos\theta \tag{2.18}$$

де θ – кут падіння.

Який дорівнює куту між сонячним променем і нормаллю поверхні та дається формулою

$$\cos\theta = \cos\beta \cdot \sin\alpha + \sin\beta \cdot \cos\alpha \cdot \cos(z - z_S) \tag{2.19}$$

де β - кут нахилу площадки до горизонтальної площини;

α - висота сонця;

z -азимут сонця;

z_S - азимут проекції нормалі до площадки на горизонтальну площину.

Котрі було зображено на (рис.2.19).

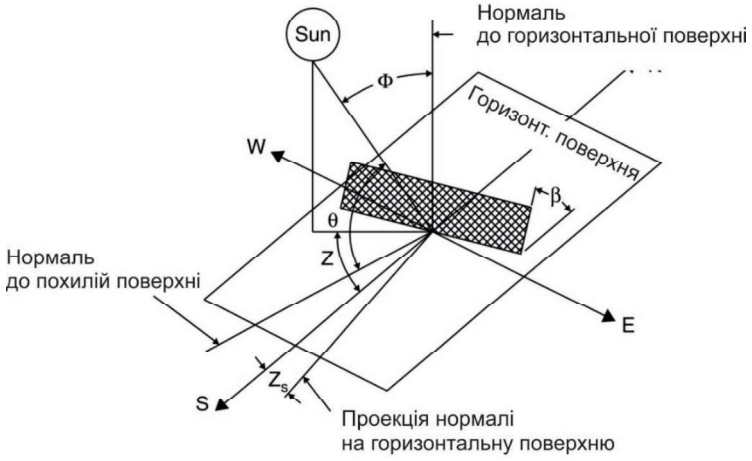


Рисунок 2.19 – Орієнтація похилої поверхні

Щодобова інсоляція W_{tot} (n) , яка визначає енергію генерації E_{PV} (n) за день, розраховується як сума погодинних середніх значень інтенсивності радіації:

$$W_{tot}(n) = \Delta h \sum_i I(n,i) \quad (2.20)$$

де Δ h – інтервал у годинах між сусідніми відліками (вимірюваннями);

I (n, i) - середнє значення радіації для і-го відліку n-го дня.

Якщо інсоляцію вимірювати у кВт·год, то годинна інсоляція буде дорівнювати інтенсивності радіації у кВт. Якщо у якості I (n, i) в формулі розглядається радіація I_t (n) і на похилу поверхню, то інсоляція W_{tot} (n) також відноситься до похилої поверхні. Відзначу, що інтенсивності прямої та дифузної радіації I_{Bt}, I_{Dt} на похилій поверхні виражаються через відповідні компоненти горизонтальної радіації I_B, I_D.

$$I_{Bn} = R_B I_B \quad (2.21)$$

де R_B - коефіцієнти транспозиції.

$$I_{Dn} = R_D I_D \quad (2.22)$$

де R_D - коефіцієнти транспозиції;

R_B - коефіцієнти транспозиції.

$$R_B = \frac{\cos\theta}{\cos\Phi},\ R_D = \frac{1}{2}(1+\cos\beta) \quad (2.23)$$

Як показують експериментальні дослідження в різних кліматичних зонах, оптимальний кут нахилу менше широти місцевості L на 10 ° – 20 °. Наприклад, у Німеччині для широти L = 48 ° оптимальним є кут β = 30 °. У північних широтах потрібно збільшувати кут нахилу, але потрібно пам'ятати, що зі збільшенням β зменшується дифузна компонента радіації, а вона істотна саме в похмурі дні, які

переважають на півночі. При обчисленні суми погодинних значень радіації треба розраховувати кут падіння q за формулою у відповідну годину.

Інтенсивність випромінювання I_{Rt}, яке відбивається від ландшафту та падає на похилу поверхню, обчислюється як:

$$I_{Rt} = \frac{1}{2}(1-\cos\beta)\rho_g(I_B I_D) \tag{2.24}$$

де ρ_g коефіцієнт відбиття (альбедо).

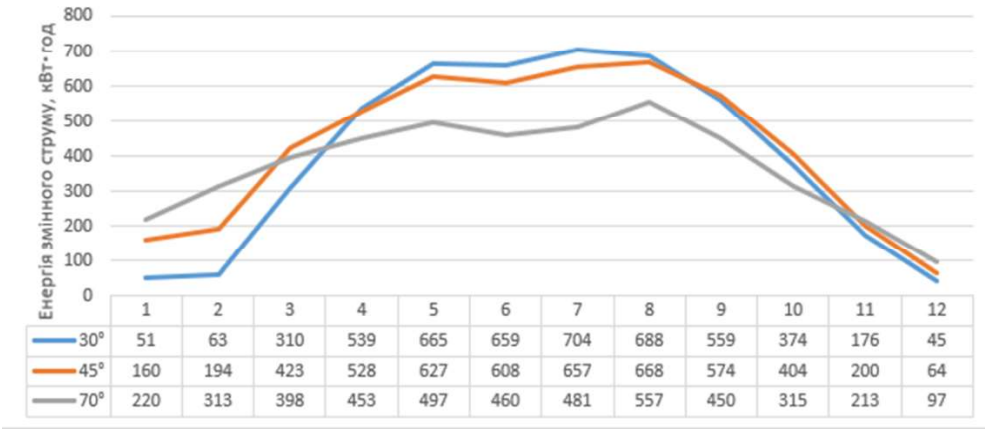
Який приймає значення $\rho_g = 0.1$ - 0.7 в залежності від природи відбиваючих об'єктів та календарного сезону.

Повна радіація на похилій поверхні дорівнює

$$I_t = I_{Bt} I_{Dt} I_{Rt} \tag{2.25}$$

де I_{Bt}, I_{Dt}, I_{Rt} подаються формулами.

Наведені вище формули для дифузної та відбитої радіації на похилій поверхні відносяться до відомої ізотропної моделі сонячної радіації.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30°	51	63	310	539	665	659	704	688	559	374	176	45
45°	160	194	423	528	627	608	657	668	574	404	200	64
70°	220	313	398	453	497	460	481	557	450	315	213	97

Рисунок 2.20 – Графік залежності виробітку енергії від зміни кута

При куті 45° виробіток за рік 5107 кВт·год , за той самий термін зі змінним кутом 5450 кВт·год. Пропонується зробити каркас для панелей з можливістю

ручної зміни кута нахилу відповідно до сезону. За для підвищення генеруючою здатності масиву.

Каркас регульований призначений для закріплення та оптимального позиціонування сонячних панелей з можливістю регулювання кута їх нахилу. Його основна необхідність полягає в забезпеченні максимальної ефективності роботи сонячної електростанції шляхом оптимального уловлювання сонячного випромінювання протягом року.

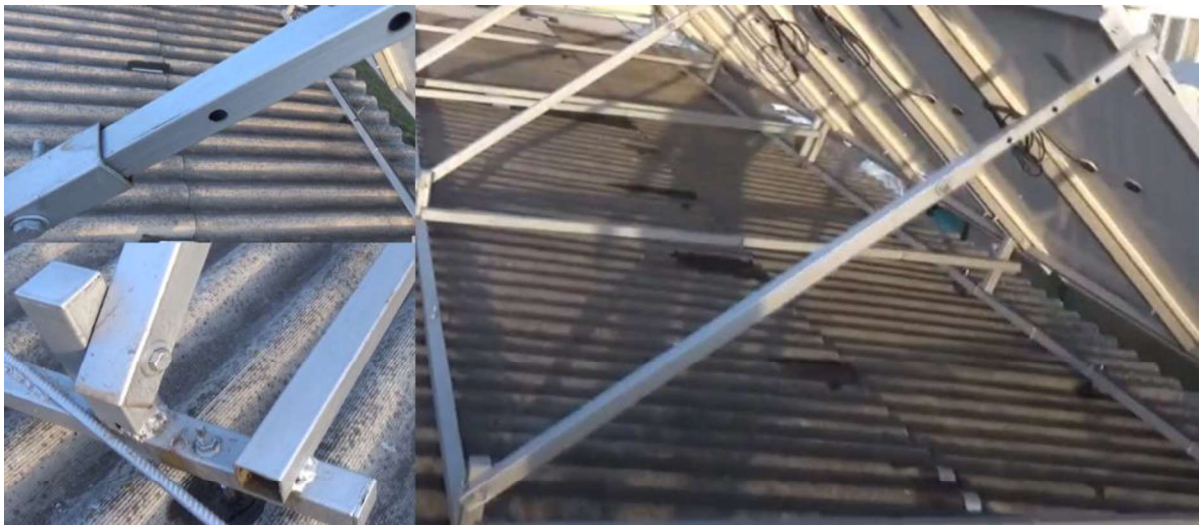


Рисунок 2.21 – Каркас регульований

Конструкція каркаса виготовлена з міцних матеріалів, що забезпечує стійкість до механічних навантажень та несприятливих погодних умов.

Регульована система дозволяє уникнути перевантажень панелей снігом чи пилом завдяки можливості зміни кута нахилу.

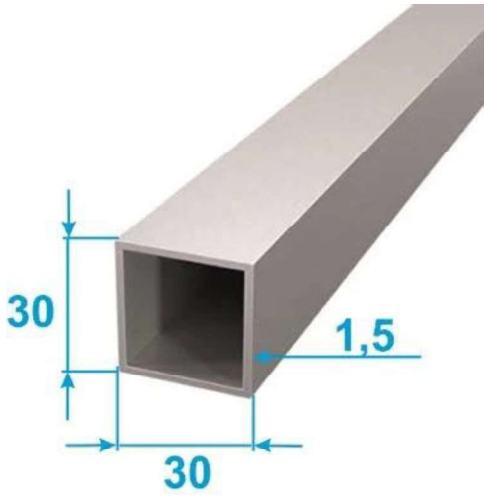


Рисунок 2.22 – Труба профільна

Регульований каркас дозволяє змінювати кут нахилу сонячних панелей залежно від сезону. У зимовий період, коли сонце перебуває низько над горизонтом, панелі можна нахиляти під більшим кутом. Влітку, коли сонце знаходиться вище, кут нахилу зменшується. Це дозволяє максимально використовувати сонячне випромінювання протягом усього року.

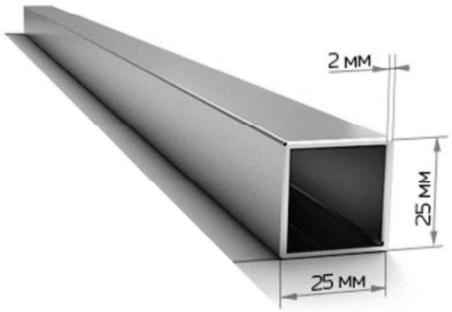


Рисунок 2.23 – Труба профільна

Завдяки збільшенню продуктивності системи та оптимізації роботи сонячних панелей у різні пори року регульований каркас забезпечує швидше повернення інвестицій в обладнання.

2.8 Висновки до розділу 2

У другому розділі здійснено детальний аналіз ключових етапів проектування систем автономного електропостачання на основі сонячної енергії. Перш за все, було визначено важливість точного розрахунку енергоспоживання об’єкту для ефективного функціонування системи. Цей етап є основою для подальшого вибору компонентів системи.

Було розглянуто критерії вибору інвертора, що є центральним елементом у перетворенні постійного струму від сонячних панелей у змінний, необхідний для живлення побутових пристроїв. Вибір інвертора залежить від параметрів енергоспоживання та особливостей системи електропостачання.

Окрему увагу приділено визначенню необхідної ємності акумуляторних батарей та їх кількості для забезпечення безперебійного електропостачання, особливо в періоди низької сонячної активності. Розглянуто також порівняння різних типів сонячних панелей та їх кількість, необхідну для досягнення бажаної потужності системи.

Важливим аспектом є правильний вибір та монтаж кабелів, що забезпечують безпеку та ефективність передачі електроенергії. Визначено технічні характеристики кабелів, які впливають на надійність системи.

Досліджено закономірності руху Сонця по небосхилу, що дозволяє оптимізувати розташування сонячних панелей для максимальної продуктивності. На основі цих даних проведено розрахунок кількості сонячної енергії, яка надходить на земну поверхню, що є вирішальним фактором для ефективності системи.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний аналіз є важливим етапом у розробці та впровадженні технічних проєктів, оскільки дозволяє визначити фінансову доцільність та

ефективність запропонованого рішення. У контексті сучасних викликів енергетичної галузі, таких як постійне зростання цін на традиційні енергоресурси та необхідність зменшення негативного впливу на довкілля, актуальність використання відновлюваних джерел енергії є особливо високою. Встановлення сонячної електростанції є одним із перспективних рішень, що сприяє підвищенню енергонезалежності, зниженню експлуатаційних витрат та забезпеченню стабільного енергопостачання.

Головною метою економічного аналізу є обґрунтування фінансової вигоди від впровадження проєкту, розрахунок початкових інвестицій, поточних витрат та очікуваного прибутку або економії в довгостроковій перспективі. Поставлене завдання включає оцінку ефективності системи на основі ключових показників: терміну окупності, чистої приведеної вартості (NPV), внутрішньої норми рентабельності (IRR) та інших параметрів.

У межах цього проєкту розглядається встановлення автономної сонячної електростанції потужністю 4,2 кВт, що складається з фотомодулів, інвертора, акумуляторної батареї, кабельної інфраструктури, захисного обладнання та кріплень. Основні параметри системи включають технічні характеристики обладнання, його термін служби, рівень втрат енергії та коефіцієнт ефективності. Також передбачається аналіз витрат на придбання, монтаж та обслуговування обладнання, а також розрахунок економії на електроенергії у порівнянні з традиційними джерелами енергії.

3.1 Оцінка початкових витрат

Ефективне використання сонячної енергії потребує якісного обладнання та оптимізації витрат. У цьому розділі розглядаються деталі початкових інвестицій, включаючи вартість сонячних панелей, інвертора, акумуляторних батарей та супутніх матеріалів. Таблиця нижче представляє структуру витрат і слугує основою для подальшого розрахунку економічної ефективності системи.

Таблиця 3.1 – Вартість обладнання

Обладнання	Кількість	Ціна
Інвертор	1	20000
Сонячна панелі	8	32000
Акумулятори	4	44000
Кабелі	20	950
Конектори	2	98
Шафа захисту	1	500
Комплект захисної автоматики	1	5000
Кріплення	1	6000
Всього		108548

Вартість доставки – транспортування обладнання від постачальника до місця монтажу, що залежить від відстані та обсягу вантажу.

Податкові витрати – включають мита та податки, які можуть виникнути під час придбання або ввезення обладнання.

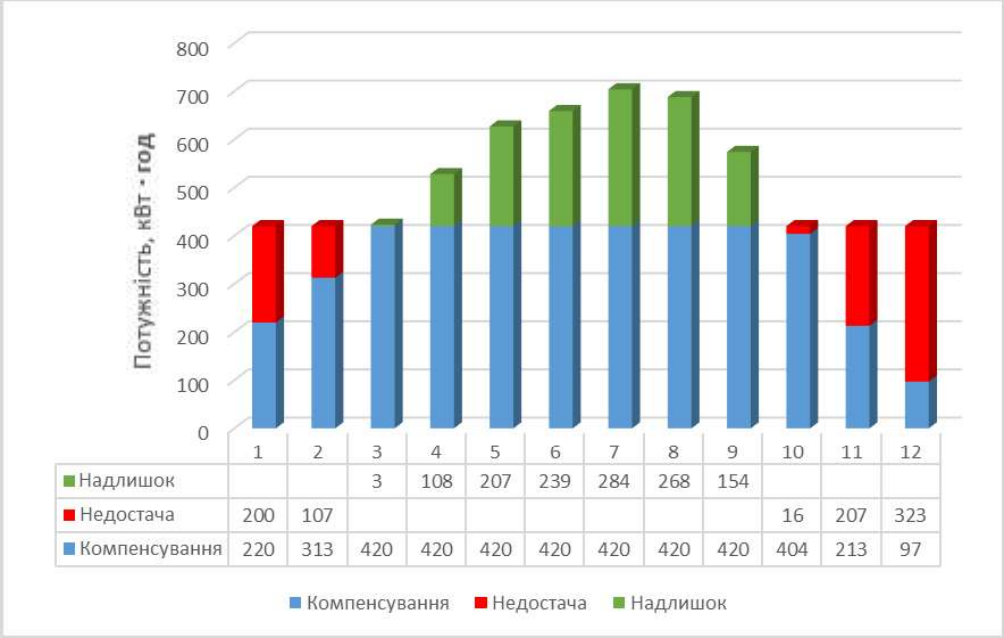
Непередбачені витрати – резервний бюджет для покриття можливих додаткових витрат, що можуть виникнути в процесі монтажу, наприклад, через необхідність доопрацювання конструкції, заміни компонентів або вирішення технічних проблем.

Вартість монтажу включає витрати на встановлення кріплень, монтаж сонячних панелей, прокладання кабельних ліній, підключення інвертора, акумуляторів та захисного обладнання. Пусконалагоджувальні роботи передбачають перевірку системи на працездатність, налаштування параметрів інвертора та контролерів, а також тестування ефективності генерації енергії. Загальна вартість робіт залежить від складності проєкту, кількості встановлюваних панелей та місця монтажу (дах або відкрита територія).

Для спрощення розрахунків наведені вище фактори не враховуються.

3.2 Розрахунок економічної ефективності капітальних вкладень

Варто пояснити, що прибуток, у даному контексті виражає надлишкову енергію за яку ми як споживачі потенційно мали б сплатити грощі, але сонячна енергія безкоштовна. Надлишок буде зберігатись у акумуляторних батареях, графік продуктивності системи подано на рисунку 3.1.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Надлишок			3	108	207	239	284	268	154			
Недостача	200	107								16	207	323
Компенсування	220	313	420	420	420	420	420	420	420	404	213	97

Рисунок 3.1 – Графік середньомісячної продуктивності системи

Прибуток від надлишку енергії, грн:

$$E_{заг} = E_p \cdot T = 5450 \cdot 4{,}32 = 23544 \qquad (3.1)$$

де $E_р$ - річний виробіток;

Т - тариф на електроенергію.

Після введення в експлуатацію регульованого каркасу.

ROE (Return on Equity, рентабельність власного капіталу) – це фінансовий показник, що вимірює, наскільки ефективно компанія використовує власний капітал для отримання прибутку. Він демонструє віддачу на інвестиції власників компанії (акціонерів), %:

$$ROE = \frac{Чистийприбуток}{Власнийкапітал} \cdot 100\% = 18,3 \quad (3.2)$$

3.3 Показники ефективності проєкту

Таблиця 3.1 - Розрахунок терміну окупності

Рік	Витрати, тис. грн.			Збереження, тис. грн.				Потік коштів, тис. грн.	Кумулятивний потік
	Обладнання	Електроенергія	Всього	Електроенергія	Обслуговування	Продаж	Всього		
0	102,5	3,685	106,185	0	0	0	0	-106,185	-106,365
1	6	3,685	9,685	22,062	0	0	22,062	12,377	-93,988
2	0	3,685	3,685	23,544	0	0	23,544	19,859	-74,129
3	0	3,685	3,685	23,544	0	0	23,544	19,859	-54,27
4	0	3,685	3,685	23,544	0	0	23,544	19,859	-34,411
5	0	3,685	3,685	23,544	0	0	23,544	19,859	-14,552
6	0	3,685	3,685	23,544	0	0	23,544	19,859	5,307
Всього			134,295	Всього			139,782		

$$\frac{x - x_1}{y - y_1} = \frac{x - x_2}{y - y_2} \quad (3.3)$$

де $x_1 = 5$;

$x_2 = 6$;

$y_1 = -14,5$;

$y_2 = 5,3$.

Термін окупності = 5,73 року.

Чиста приведена вартість (NPV) — різниця між доходами та витратами з урахуванням дисконтування.

$$NVP = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (3.4)$$

де CF_t: грошові потоки в кожен рік t;

r - ставка дисконту;

C_0 - початкові інвестиції;

t - період розрахунку;

n - загальна тривалість проекту.

Таблиця 3.2 - ЧПВ при ставці дисконту 10%, 15%

Рік	Поток коштів, тис. грн.	КД 10%	ДВ при 10%, тис. грн.	КД 15%	ДВ при 15%, тис. грн.
0	-106,2	1	-106,2	1	-106,2
1	12,377	0,909	11,3	0,87	9,8
2	19,859	0,826	16,4	0,756	12,4
3	19,859	0,751	14,9	0,658	9,8
4	19,859	0,683	13,6	0,572	7,8
5	19,859	0,621	12,3	0,497	6,1
6	19,859	0,564	11,2	0,432	4,8
		ЧПВ	-26,50	ЧПВ	-37,54

- Якщо NPV>0, проєкт вигідний.
- Якщо NPV<0 проєкт не забезпечує необхідної віддачі.

3.4 Екологічна цінність від виробництва електроенергії в приватному господарстві.

Сонячні електростанції (СЕС) є ефективним інструментом у боротьбі зі змінами клімату та забрудненням навколишнього середовища. Перехід на використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, дозволяє не лише забезпечити потреби в електроенергії, а й значно зменшити негативний вплив на екологію.

Одним із ключових показників екологічної користі СЕС є зниження викидів вуглекислого газу (CO_2) в атмосферу. Для порівняння, при виробництві 1 кВт·год електроенергії на теплоелектростанціях (ТЕС) кількість CO_2, що викидається в атмосферу, залежить від типу палива:

- вугілля - 1,12 кг,

- нафта - 0,94 кг,
- газ - 0,57 кг.

Сонячна електростанція, яка за рік генерує в середньому 4400 кВт·год, запобігає викиду значної кількості CO_2. Наприклад, якщо цю енергію було б вироблено на ТЕС із газовим паливом, кількість викидів вуглекислого газу становила б, кг:

$$4400 \cdot 0,57 = 2508 \tag{3.5}$$

Цей обсяг викидів еквівалентний кількості CO_2, яку можуть поглинути протягом життя 60 дерев, враховуючи, що одне дерево поглинає близько 42 кг CO_2 за своє існування.

Отже, використання СЕС дозволяє не лише скоротити споживання не відновлюваних джерел енергії (вугілля, нафти, газу), а й зберегти природний баланс, запобігаючи вирубуванню лісів, необхідних для абсорбції вуглекислого газу.

Окрім цього, перехід на сонячну енергію сприяє зменшенню залежності від викопного палива, що є вичерпним ресурсом, та знижує ризики, пов’язані з викидами інших шкідливих речовин, таких як сірчисті сполуки та оксиди азоту, які утворюються при спалюванні палива на ТЕС.

3.5 Висновки до розділу 3

Розділ 3 присвячений економічному аналізу встановлення автономної системи електропостачання на основі сонячної енергії. Основною метою є оцінка витрат на обладнання, монтаж і подальше обслуговування, а також визначення терміну окупності системи за рахунок зниження витрат на традиційні джерела енергії.

Окупність настає через 5,73 роки, це за умови часткової автономності, а випадку повної автономності термін окупності збільшиться у двічі. Також

визначено чисту приведену вартість СЕС, проєкт не забезпечує необхідної віддачі. Це пояснюється тим, що станція не комерційна. Вона призначена не для заробітку, а для покриття власних потреб. Станція окупається, але не приносить прибутку та попри все залишається надійним джерелом електроенергії.

Додатково було розглянуто екологічну цінність такої системи. Використання сонячної енергії дозволяє зменшити викиди парникових газів, знизити залежність від викопних джерел енергії та сприяє збереженню довкілля. У приватному господарстві це сприяє покращенню екологічної обстановки на локальному рівні та формуванню більш сталого підходу до енергоспоживання.

ВИСНОВКИ

Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, вітрової та інших, відкриває перспективи для суттєвого зменшення залежності від традиційних викопних палив. Цей підхід сприяє скороченню викидів парникових газів, забезпечує поступовий перехід до енергетичної стійкості та зменшує вплив людської діяльності на глобальне потепління. Впровадження таких технологій стає ключовим напрямком розвитку енергетики в умовах глобальних екологічних викликів.

Сучасні автономні енергетичні системи створені для максимальної адаптації до умов змінного енергоспоживання та нерівномірного енерговиробництва. Вони інтегрують високотехнологічні інвертори, контролери заряду та акумуляторні системи, які дозволяють оптимізувати процеси накопичення і розподілу електроенергії. Завдяки цим компонентам забезпечується стабільна робота системи навіть за умов коливання інтенсивності відновлюваних джерел, наприклад, унаслідок зміни погодних умов.

Незважаючи на високі початкові інвестиції, впровадження автономних енергетичних систем демонструє значні економічні переваги у довгостроковій перспективі. Підвищення енергетичної незалежності користувачів, зниження витрат на енергопостачання та мінімізація впливу зростаючих цін на традиційні енергоносії роблять такі системи все більш привабливими для домогосподарств і підприємств. Розрахунки показують, що автономні системи окупають себе протягом терміну їхньої експлуатації, забезпечуючи додаткову економію завдяки низьким витратам на обслуговування.

Перспективи автономних енергетичних систем виходять за межі економічної вигоди. У глобальному контексті вони сприяють децентралізації енергетичної інфраструктури, забезпечуючи надійне електропостачання навіть у регіонах з обмеженим доступом до традиційних мереж. Це не лише підвищує енергетичну доступність, а й стимулює розвиток локальних економік. У

майбутньому автономні системи можуть стати фундаментом децентралізованої енергетичної моделі, спрямованої на максимальну ефективність використання відновлюваних ресурсів і глобальну енергетичну трансформацію.

Подальший розвиток автономних енергетичних систем на базі відновлюваних джерел енергії має вирішальне значення для досягнення сталого розвитку та енергетичної незалежності. Інновації в області зберігання енергії, такі як розробка нових типів акумуляторів із більшою ємністю та тривалим терміном служби, відкривають можливості для ще більшої ефективності таких систем.

Крім того, інтеграція смарт-технологій, зокрема автоматичних систем моніторингу та управління енергоспоживанням, дозволяє максимально адаптувати автономні системи до потреб користувачів і умов експлуатації. Це сприяє більш раціональному використанню виробленої енергії та зменшенню втрат у процесі її перетворення і передачі.

Важливим аспектом також є масштабованість таких систем: можливість поступового розширення потужностей у відповідності до зростаючих потреб споживачів робить їх зручним рішенням як для приватних домогосподарств, так і для великих підприємств.

Суспільна підтримка і державні програми стимулювання переходу на відновлювані джерела енергії значно спрощують фінансування таких проєктів. Відтак, співпраця між урядами, бізнесом та громадськістю може пришвидшити впровадження автономних енергетичних систем і забезпечити ефективне використання наявних ресурсів.

На тлі глобальних екологічних викликів і потреби зниження залежності від викопних палив, розробка та вдосконалення систем автономного електропостачання є не просто актуальним завданням, а стратегічним пріоритетом для енергетичної безпеки та сталого розвитку у світі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Gelich N., Panasiuk Y., Onishchyk V. Альтернативна енергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. Економічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2020. № 22. С. 143–151. (дата звернення: 08.09.2024).
2. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 24. Ст. 155; 2017. № 27-28. Ст. 312; 2019. № 23. Ст. 89. (дата звернення: 08.09.2024).
3. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. URL : http://saee.gov.ua/uk. (дата звернення 03.09.2024)
4. Шеркунов М. Р. Підвищення енергоефективності автономних і мережевих енергетичних систем на базі відновлювальних джерел енергії в приватних домогосподарствах : автореф. дипл. … магістр : Тернопіль, 2018. 10 с.
5. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. Київ: Національний технічний університет України «КПІ», 2012. 495 с.
6. Яковчук П. Є., Цяпа В. Б., Комаров В. І., СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Львів, 2006. № 563. С. 211–218 (дата звернення: 18.09.2024).
7. Бекіров Е. А. Автономні джерела електроживлення на базі сонячних батарей. Сімферополь: ВД «Аріал», 2011. 484 с.
8. Немикіна О. В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії: навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 188 с.
9. Типи сонячних батарей // URL : http://tehnonovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/types-sun-battery-ua.html (дата звернення: 01.09.2024).
10. Рисунок «Сонячна батарея KOMAES». URL : *https://shop.mtk.com.ua/id/solnechnaya-batareya-komaes-kmp190-1086.html* (дата звернення 02.09.2024)
11. Рисунок «Гібридний інвертор ALLURE Prime». URL : https://prom.ua/ua/p2247939787-gibridnyj-invertor-allure.html?srsltid=AfmBOoq6Vn8CxS8PVT5r5SrZNECKdYCSGlGhbWy5_ig_xXSSKoX4L4mI (дата звернення 02.09.2024)
12. Швець Е. Ю. Технологія та матеріали сонячної енергетики : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 240 с.
13. Кудрі С.О. Відновлювані джерела енергії : монографія. Київ : НАНУ ІВЕ. 2020. 392 с.
14. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 11.06.2017 № 555-IV // Верховна Рада України. URL : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15. (дата звернення 02.09.2024)
15. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / А.А. Барило та ін., за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: НАНУ ІВЕ України, 2020. 82 с.

16. Girnyk, L.V. (2014), “Alternative energy sources as a condition for the formation of energy independence of the country”, Bulletin of the Eastern European University of Economics and Management. Series: Economics and Management, vol. 2, pp. 43–50.
17. Sivitska, S. Vartsaba, V. and Filonych, O. (2018), “Buildings Energy-Efficient Renovation Investment”, International Journal of Engineering & Technology, vol. 7 (3.2), pp. 408–412.
18. Онищенко В., Щуров І., Даценко В. Сонячна енергетика в Україні: аналіз та роль у забезпеченні економічної безпеки: науковий журнал. *Економіка і регіон*. 2022. № 1. С. 6–12.
19. Рисунок «Кабель H1Z2Z2-K». URL: https://globalkabel.com.ua/p2350637652-kabel-1h6-dlya.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIoPztiPqkigMVfkGRBR28ggczEAQYASABEgLXt_D_BwE
20. Рисунок «Сонячна батарея 550Вт моно, LR5-72HPH-550M». URL : https://solar-markets.com.ua/ru/soniachna-batareia-550vt-mono-lr5-72hph-550m-longi-9bb-half-cell/ (дата звернення: 08.09.2024).
21. Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії: Закон України від від 13.04.2017 р. *Відомості Верховної Ради України* N 27-28, ст.312 URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1220-17#Text (дата звернення: 08.08.2024).
22. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо надання фінансової державної підтримки суб’єктам підприємництва : Постанова Кабінету Міністрів України від 21.06.2024 р. № 229. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/229-2023-%D0%BF#Text (дата звернення: 16.09.2024).
23. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та "зеленої" трансформації енергетичної системи України : Закон України від 04.06.2024 р. № 3764-IX. *Відомості Верховної Ради України* 2023. № 82. Ст. 301. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20/#Text (дата звернення: 08.09.2024).
24. Радомський О. М. Підвищення стабільності електропостачання приватного домоволодіння в період стабілізаційних відключень. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : тези доп. всеукр. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 17-20 жовт. 2023 р.). Запоріжжя, 2023. С. 37–38.
25. Рисунок «Комплект захисту для сонячної станції». URL: https://prom.ua/ua/p1474743932-schit-pod-avtomaty.html (дата звернення: 08.09.2024).
26. Єрохов В. Ю. Альтернативна енергетика з використанням сонячних елементів : навч. вид. Львів : Політехніка, 2015. 116 с. URL : https://vseosvita.ua/library/embed/01009kki-e916.docx.html (дата звернення: 08.09.2024).

27. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни // В. Омельченко, А. Конеченков ; за ред. В. Омельченка. 11 листопада 2022. URL: https://razumkov.org.ua/article/ssector-vidnovlyu-energetyky-ukrainy-do-pid-chas-ta-pislya-vijni (дата звернення: 09.09.2024).
28. Огляд сучасних фотоелектричних систем. URL : http://www.rusnauka.com/pdf/235661.pdf (дата звернення: 07.08.2024)
29. Дем'янчук В. В. Сонячна енергія як альтернатива електроенергії в сільському господарстві: *Студентський вісник НУВГП*. Рівне, 2018. № 2. С. 14–16.
30. Бондаренко Д. В. Еквівалентні схеми акумуляторів електроенергії, які підключені до сонячних фотоелементів: *Відновлювана енергетика.* Київ, 2019. № 3. С. 30–34.
31. Буратинський І. М., Нечаєва Т. П., Шульженко С. В. Оптимізація структури обладнання фотоелектричної сонячної електростанції. *Проблеми загальної енергетики*. 2020. № 2. С. 17-22 URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001188035 (дата звернення: 08.09.2024).
32. Поновлювані та альтернативні джерела енергії: методичні вказівки. уклад.: Яримбаш Д.С. Запоріжжя, ЗНТУ, 2018. 38 с.
33. Гаєвський О. Ю., Іванчук В. Ю. Фотоенергетика: практикум : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Гаєвський О. Ю., Іванчук В. Ю. Київ, 2023. 30 с.
34. Dovgalyuk O. et al. Analysis of Operation Modes of Electric Networks with Solar Power Plants / 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Istanbul, Turkey, 2020, pp. 196-201.
35. Стаднік М. І., Рубаненко О. О., Бондаренко С. В. Визначення рівня генерації електроенергії на сонячній електростанції відносно її встановленої потужності. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця: 2016. № 3. С. 213-220.
36. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Череватий В. О., Ул'янець О. А. Сонячна енергія – основні види та типи сонячних електростанцій // *Автомобіль та електроніка. Сучасні технології*. 2017. № 12. С. 12–21. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/veit_2017_11_6. (дата звернення: 08.09.2024).
37. Макаренка П. М., Калініченка О. В., Аранчій В. І. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти : монографія. Полтава, 2019. 603 с.
38. Рисунок «Конектор MC4». URL : https://www.aliexpress.com/item/1005004618995608.html#nav-specification (дата звернення: 08.09.2024).
39. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підручник / за ред. доктора технічних наук, професора Клименка В. В.; уклад. Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плєшков С. П., Скрипник О. В., Саченко А. І. М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2023. 268 с.

40. Гаєвський О. Ю. Математичні задачі у відновлюваній енергетиці: розрахунково-графічна робота : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 28 с.
41. Гаєвський О. Ю. Фотоенергетика. Сонячна радіація і фотоелектричні модулі. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 150 с.