

Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: "Розроблення проекту сонячної електростанції для забезпечення
безперебійного електропостачання комунального навантаження
багатоповерхового будинку"

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Єндяров І.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: Єрмілова Н.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: Галай В.М.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
механотроніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри автоматки
і електроприводу


О.В. Шефер
“ 2 ” вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Єндіярову Іллі Олексійовичу

1. Тема проекту (роботи) "**Розроблення проекту сонячної електростанції для забезпечення безперебійного електропостачання комунального навантаження багатоповерхового будинку**"
керівник проекту (роботи) Єрмілова Наталія Василівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від “09” 08 2024 року
№ 818-ф. а
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): Програма «ГрінДІМ» розроблена відповідно до Закону України «Про Фонд енергоефективності». Технічна документація на сонячні панелі, акумуляторні батареї, інвертори, комутаційне обладнання та кабельну продукцію. Характеристики енергоспоживання будинку. Існуюча електрична схема мереж будинку. План покрівлі будинку та комунальних приміщень для встановлення проектованого електрообладнання.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Описання типів сонячних станцій та фотомодулів, що використовуються для побудови сонячних електростанцій. Будова та принцип роботи фотомодулів, їх основні параметри, з'єднання і затінення. Вибір фотомодулів за технічними параметрами. Описання типів акумуляторних батарей, принцип роботи, технічні характеристики, технології їх виробництва, принципи з'єднання акумуляторних батарей. Вибір ємності акумуляторних батарей. Описання типів інверторів, принцип роботи, технічні характеристики. Вибір типу та потужності інверторів. Розрахунок та вибір апаратів захисту та допоміжного обладнання: з'єднувальних кабелів та систем кріплення. Вибір схеми приєднання сонячної електричної станції до існуючих електричних мереж житлового будинку для електропостачання навантаження ліфтових установок, аварійного освітлення сходових клітин, внутрішньо-домових переговорних пристроїв та пристроїв передачі даних (інтернет). Визначення вартості та рентабельності проекту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
- 1) Принципова електрична схема приєднання сонячної електричної станції;
 - 2) План розташування сонячних фотомодулів на покрівлі будинку;
 - 3) Елементи встановлення фотомодулів на покрівлі;
 - 4) План розташування електрообладнання в комунальних приміщеннях;
 - 5) Структурна схема сонячної електричної станції;
 - 6) Структурна схема моніторингу роботи сонячної електричної станції;
 - 7) Таблиця визначення вартості та рентабельності проекту;
 - 8) Висновки по роботі.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Дата	Квартал	Відсоток	
1	Описання типів сонячних фотомодулів, інверторів, акумуляторних батарей, що використовуються для сонячних електростанцій. Постановка задач на проектування	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Розрахунок сонячних фотомодулів та їх вибір	16.10.24	I	25%	Пл. 2
3	Розрахунок та вибір інвертора	05.11.24		40%	Пл. 4
4	Розрахунок необхідної ємності акумуляторних батарей та їх вибір	12.11.24		50 %	Пл. 5
5	Розрахунок та вибір апаратів захисту та допоміжного обладнання: з'єднувальних кабелів та систем кріплення	19.11.24	II	60%	Пл. 6
6	Розроблення структурної схеми сонячної електричної станції	26.11.24		70%	Пл. 7
7	Розроблення плану розташування електрообладнання в комунальних приміщеннях	04.12.23		80%	Пл. 8
8	Розрахунок економічної ефективності сонячної електричної станції	11.12.24		90%	Пл. 9
9	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	

Магістрант

Керівник роботи

Єндяров І.
(підпис)

Єрмілова І.
(підпис)

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. АНАЛІЗ ВІДОМОСТЕЙ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ І	
ВИКОРИСТАННЯ СЕС.....	
1.1. Способи використання сонячної енергії.....	8
1.2. Структура фотопанелей.....	10
1.3. Теоретична економічна ефективність.....	16
2. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕС.....	
2.1. Види сонячних електричних станцій.....	19
2.2. Види сонячних панелей.....	27
2.3. Будова та принцип роботи фотомодулів.....	32
2.4. Інвертори: типи, принцип роботи, технічні характеристики.....	40
2.5. Розрахунок та вибір типу інвертора.....	45
2.6. Описання типів акумуляторних батарей, принцип роботи, технічні характеристики, технології їх виробництва, принципи з'єднання акумуляторних батарей.....	50
2.7. Розрахунок та вибір ємності акумуляторних батарей.....	54
2.8. Розрахунок та вибір апаратів захисту та допоміжного обладнання для СЕС.....	59
2.9. Заземлення та блискавкозахист у системах сонячної електростанції (СЕС).....	62
2.10. Системи кріплення сонячних панелей: види, особливості та рекомендації.....	65
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	
3.1. Вплив небезпечних і шкідливих факторів на людину в період використання обладнання сонячної станції	69

3.2. Пожежна безпека	75
3.3. Оцінка впливів фотоелектричних станцій на навколишнє середовище	77
Висновки	79
Список використаних джерел	80
Додатки	81

Вступ

Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в якості заміни традиційним енергоносіям стає все актуальнішим останнім часом. Є ряд беззаперечних переваги їх використання, головними з яких є невичерпність і екологічна чистота. В той же час потреба у забезпеченні енергетичної безпеки країн, зменшення обсягів використання викопних копалин та зменшення шкідливих викидів – зумовили бурхливий розвиток відновлювальної енергетики як цілком самостійної та конкурентоспроможної галузі енергетики.

В моїй кваліфікаційній роботі було розглянуто галузь сонячної енергетики, напрямок, що є одним з найперспективніших та таких, що найшвидше розвиваються в наш час. Розвиток даної галузі є досить прогресивним. Це стосується використання фотомодулів для автономного живлення будинку, будівництва приватних мережевих сонячних електростанцій та побудови потужних СЕС на сприятливих для них територіях.

Альтернативою можуть стати відновлювані джерела енергії (ВДЕ), які мають численні переваги: вони невичерпні, екологічно чисті, і доступ до них може бути забезпечений у багатьох регіонах світу. В Україні, враховуючи стрімке зростання цін на енергоносії, яке перевищує рівень інфляції, та наростаючі екологічні проблеми, розвиток альтернативної енергетики став особливо актуальним. Встановлена потужність виробників енергії з ВДЕ зросла до 1673 МВт станом на кінець 2019 року.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження і розрахунок параметрів та умов, що є необхідними для проектування сонячної мережевої електростанції, а також економічний розрахунок, що включає терміни окупності за різних моделей експлуатації станції.

Для виконання цієї задачі необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Розрахувати необхідну кількість сонячних панелей.
- 2) Оптимально розташувати сонячні панелі на обраній ділянці.
- 3) Підібрати необхідне обладнання для сонячної станції та монтажу фотоелектростанції.
- 4) Розрахувати виробіток електроенергії станцією та термін окупності.

Об'єкт дослідження – процес генерації електричної енергії шляхом використання сонячних фотомодулів.

Предмет дослідження – сонячна електростанція для забезпечення комунального енергоживлення багатоповерхового будинку.

1. АНАЛІЗ ВІДОМОСТЕЙ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ СЕС

1.1 Способи використання сонячної енергії.

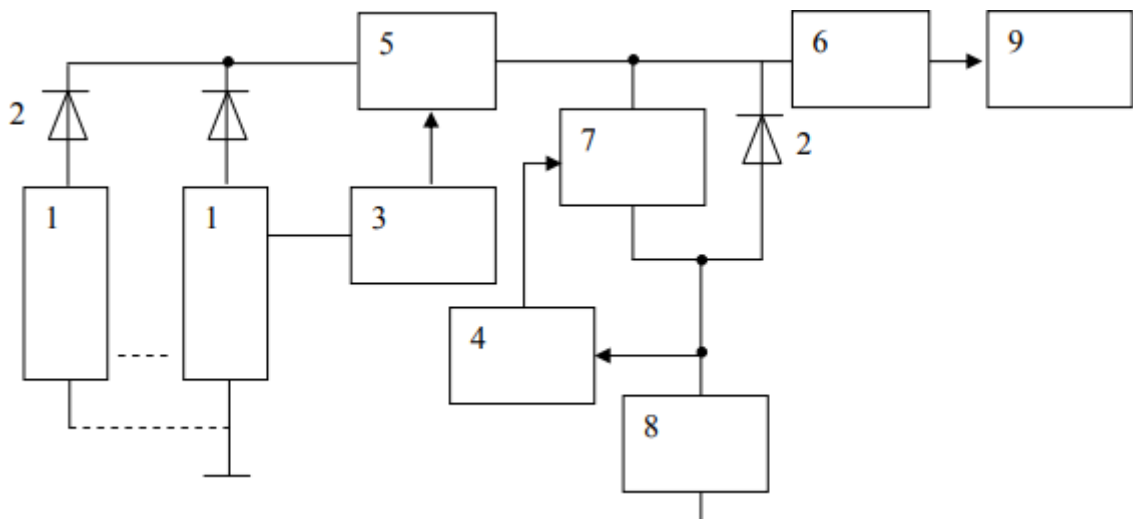
Сонячні електростанції (СЕС) умовно поділяють на два основних типи: термодинамічні та фотоелектричні.

Термодинамічні СЕС працюють за принципом нагрівання теплоносія за допомогою сонячного випромінювання, яке фокусується за допомогою спеціальних оптичних систем. Отримана теплова енергія перетворюється спочатку в механічну, а згодом — в електричну.

Фотоелектричні СЕС базуються на явищі прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію, яке було відкрито в 1839 році французьким фізиком Беккерелем [3]. Основними елементами таких станцій є кремнієві напівпровідникові фотодіоди. При поглинанні світла напівпровідниковим матеріалом фотони передають свою енергію електронам, що спричиняє утворення вільних носіїв заряду. Ці носії створюють потенційний градієнт у зоні переходу, викликаючи електричний струм через електроприймачі.

Типова напруга на одному фотоелементі становить близько 0,5 В, а щільність фотоструму досягає 200 А/м² за інтенсивності сонячного випромінювання 1 кВт/м².

Рисунок 1.1. Структурна схема фотоелектростанції:



- 1 - сонячні панелі;
- 2 - діоди;
- 3 - контролер пікової потужності;
- 4 - контролер зарядного струму;
- 5 -ключ;
- 6 - автономний інвертор;
- 7 - зарядний пристрій;
- 8 - акумуляторна батарея;
- 9 – навантаження.

Фотоелектрична станція складається з кількох основних елементів, серед яких головними є сонячна панель (фотоперетворювач), акумуляторна батарея із зарядним пристроєм, автономний інвертор для перетворення постійної напруги в змінну стандартної частоти та додаткові допоміжні компоненти. На рисунку представлено структурну схему такої системи.

Принцип роботи:

- Сонячні панелі (1) виробляють електроенергію, кількість якої залежить від інтенсивності сонячного випромінювання.
- Контролер пікової потужності (3) налаштовує генерацію електроенергії на максимально можливу потужність для поточних умов.
- Комутуючий пристрій (5) підключає панелі до інвертора (6), який живить змінним струмом навантаження (9).
- Надлишкова енергія, не використана на живлення навантаження, через зарядний пристрій (7) зберігається в акумуляторній батареї (8).

У разі відсутності сонячного світла система перемикається на живлення від акумулятора.

Захисні механізми:

- Діоди (2) у ланцюзі сонячних панелей запобігають розряджанню акумулятора через панелі в темний час доби.
- Діод у ланцюзі акумулятора захищає його від перенапруги та надмірного заряду.

Ця система забезпечує стабільне електроживлення навантаження незалежно від умов освітлення.

1.2 Структура фотопанелей

Сонячні панелі складаються з кількох фотоелектричних модулів, які з'єднуються послідовно-паралельно для досягнення необхідних показників потужності та напруги. Кожен модуль включає декілька фотоелементів (сонячних осередків), що є основними робочими елементами. Зазвичай потужність одного осередку становить близько 1 Вт, а його розмір – кілька квадратних міліметрів.

Більшість сучасних фотоелементів виготовлені з кремнієвих напівпровідникових фотодіодів. При потраплянні світла на напівпровідникову структуру енергія фотонів передається електронам, що призводить до утворення вільних носіїв заряду (електронів і дірок). Ці носії, розділені p-n переходом, створюють потенційний градієнт, який генерує електричний струм за умови підключення зовнішнього електричного кола.

Чинники, що впливають на характеристики фотоелементів:

Інтенсивність сонячного освітлення. Залежність вольт-амперної характеристики модуля від рівня освітленості представлена на рисунку 1.2. Зі зменшенням інтенсивності сонячного випромінювання вольт-амперна характеристика зміщується вниз, що свідчить про значне зменшення струму короткого замикання. Напруга холостого ходу при цьому зменшується незначно.

Величина навантаження. Параметри навантаження впливають на робочу точку модуля, яка визначається перетином вольт-амперної характеристики модуля і навантаження.

Робоча температура. Зі збільшенням температури потужність фотоелементів знижується, що вимагає додаткового регулювання параметрів

системи для підтримки стабільної роботи.

Таким чином, ефективність роботи сонячних панелей залежить від умов освітлення, температури та навантаження, що слід враховувати під час їх проектування і експлуатації.

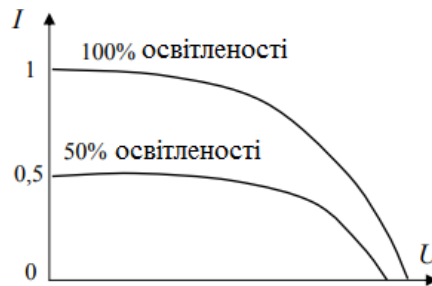


Рисунок 1.2 - Вольт-амперні характеристики модуля при різній інтенсивності сонячного випромінювання.

При зниженні інтенсивності сонячного випромінювання вольт-амперна характеристика фотоелемента зсувається вниз. Це свідчить про значне зменшення струму короткого замикання, тоді як напруга холостого ходу змінюється незначно.

Вплив кута падіння променів на інтенсивність опромінення:

Кут падіння сонячних променів (Q), відкладений від нормалі до приймальної поверхні панелі, є важливим фактором, що впливає на інтенсивність опромінення фотоелектричної панелі. Залежність струму навантаження (I) від кута Q описується формулою:

$$I = I_0 * \cos Q \quad (1.1)$$

де I_0 — максимальний струм за умови перпендикулярного падіння сонячних променів.

Ця залежність, відома як косинус Келлі, є точною для кутів Q у межах від 0° до 50° . При збільшенні кута падіння понад цей діапазон вихідні характеристики панелі починають відхилятися від цієї моделі. Зі зростанням кута до $Q = 85^\circ$ генерація електроенергії фактично припиняється.

Залежність ККД від інтенсивності сонячного випромінювання:

Коефіцієнт корисної дії (ККД) фотоперетворювача мало залежить від інтенсивності сонячної радіації в робочому діапазоні. На рисунку 1.3 графічно показано, що в межах інтенсивності сонячного випромінювання 800–1000 Вт/м² ефективність фотоперетворення змінюється незначно.

Таким чином, зниження потужності фотоелектричного модуля у хмарний день обумовлено переважно зменшенням сонячного випромінювання, що потрапляє на приймальну поверхню. При слабкій хмарності сонячна панель може виробляти до 80% своєї максимальної потужності, тоді як у похмуру погоду цей показник знижується до 30%.

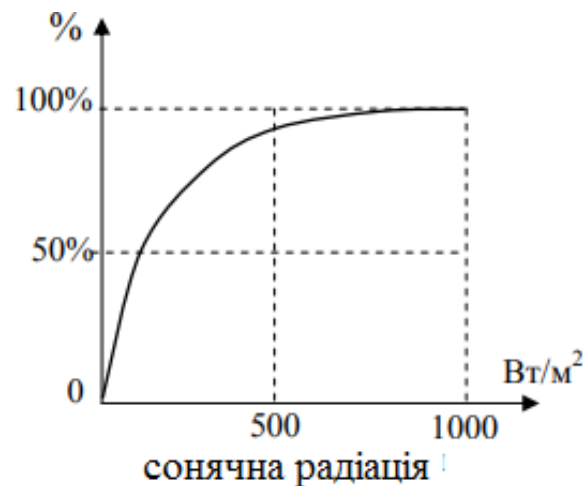


Рисунок 1.3. Залежність ефективності фотоперетворення від інтенсивності сонячного випромінювання.

Вплив погодних умов та затінення на роботу сонячних панелей

Аналіз графіка показує, що в діапазоні інтенсивності сонячного випромінювання 800–1000 Вт/м² ефективність фотоперетворення залишається майже незмінною. Отже, зниження потужності фотоелектричного модуля в хмарний день пов'язане насамперед із нестачею сонячної енергії, що досягає приймальної поверхні.

Умови хмарності:

- При слабкій хмарності сонячна панель може забезпечувати до 80% від максимальної потужності.
- У похмуру погоду потужність знижується приблизно до 30% через

обмежений доступ світла.

Тіньовий ефект:

Для великих сонячних панелей, що складаються з безлічі послідовно-паралельно з'єднаних осередків, особливу увагу слід приділити тіньовому ефекту.

Дія тіньового ефекту:

Якщо один з осередків у послідовному ланцюзі затінений повністю, він перестає бути джерелом енергії і перетворюється на споживача. Це спричиняє:

- Протікання струму через затінений осередок від освітлених осередків.
- Виділення теплової енергії через внутрішній опір затіненого осередку, що знижує ефективність роботи всієї панелі.
- Рішення для мінімізації тіньового ефекту:

Щоб зменшити втрати, спричинені тіньовим ефектом, послідовний ланцюг модулів поділяють на короткі ділянки за допомогою обхідних діодів. Ця схема показана на рисунку 1.4. Використання діодів дозволяє уникнути суттєвого зниження загальної потужності навіть у разі часткового затінення.

Вплив температури на потужність:

На рисунку 1.5 представлено залежність потужності сонячного модуля від температури. Зі збільшенням температури знижується потужність, яку генерує модуль, оскільки підвищення температури негативно впливає на ефективність напівпровідникових матеріалів.

Забезпечення стабільної роботи сонячних панелей вимагає врахування:

- Умов освітлення, включаючи інтенсивність випромінювання та кути падіння променів.
- Тіньового ефекту та його компенсації за допомогою обхідних діодів.
- Температурного режиму, що впливає на енергетичну ефективність модулів.

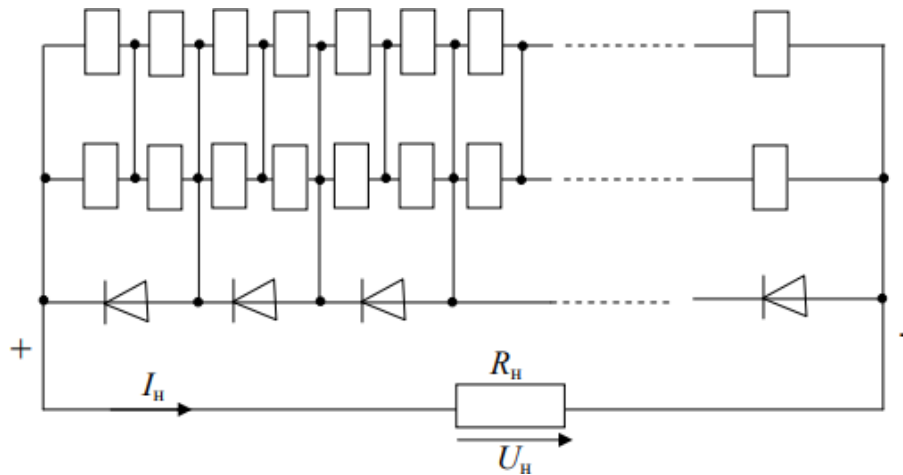


Рисунок 1.4 – Схема включення обхідних діодів.

На рисунку 1.5 зображений вплив температури на потужність фотомодулів.

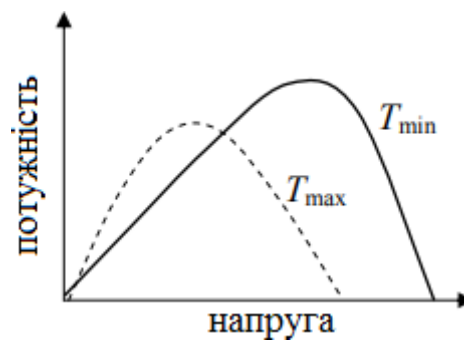


Рисунок 1.5 – Залежність потужностної характеристики від температури

Вплив температури та навантаження на роботу сонячних панелей:

Потужність, що генерується сонячним модулем, зростає за умов нижчої температури. Однак при цьому напруга, яка відповідає максимальній потужності, змінюється залежно від температури. Щоб забезпечити стабільну роботу системи, фотоелектростанції обладнуються **регулятором напруги**, який дозволяє адаптуватися до змін цих параметрів.

Визначення робочої точки:

Величина навантаження, підключеного до сонячної батареї, значно впливає на величину потужності, яка може бути знята з модуля.

- Робоча точка панелі визначається як точка перетину її вольт-амперної

характеристики з характеристикою навантаження.

- Аналогічно, робочу точку можна знайти як точку перетину енергетичних характеристик фотоперетворювача і навантаження.

На рисунку 1.6 зображено вольт-амперні та енергетичні характеристики фотоелектричних систем, які демонструють залежність потужності від параметрів системи. Максимальна потужність досягається при певному значенні опору навантаження.

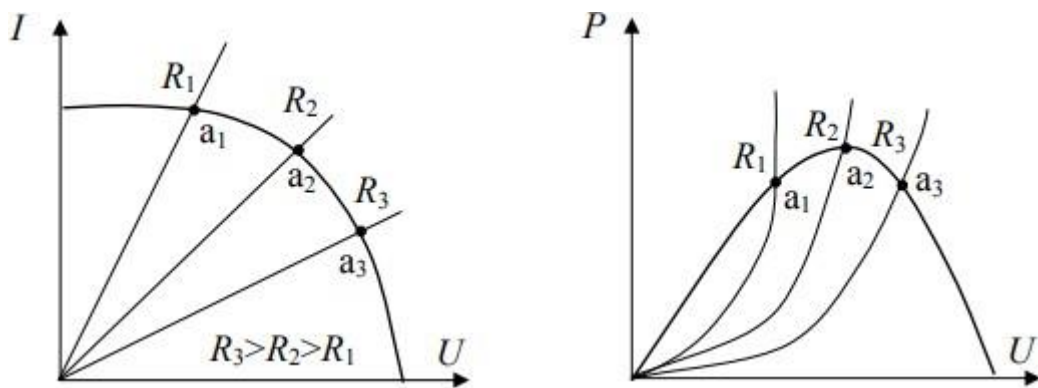


Рисунок 1.6 – Вольт-амперні та енергетичні характеристики

фотоелектричних систем

Ефективність кремнієвих сонячних елементів

Коефіцієнт корисної дії (ККД):

- Для промислових кремнієвих фотоелементів ККД становить 12–15%.
- Лабораторні зразки досягають ККД до 23%.

Виробництво:

Щорічний обсяг виробництва сонячних елементів перевищує 50 МВт із темпом зростання близько 30% на рік.

Каскадне з'єднання модулів:

Каскадне (послідовно-паралельне) з'єднання фотоперетворювачів дозволяє створювати фотоелектричні станції (ФЕС) потужністю до кількох сотень кіловат.

Розрахунок площі панелей:

Загальна площа сонячної панелі, необхідної для досягнення потрібної потужності, визначається:

- 1) Значеннями ККД фотоперетворення.
- 2) Рівнем освітленості поверхні панелі, який залежить від:
 - Часу доби.
 - Географічної широти.
 - Погодних умов.
 - Орієнтації панелі щодо сонячного випромінювання.

Ці фактори враховуються при проектуванні енергоустановок для досягнення оптимальної ефективності.

1.3 Теоретична економічна ефективність

Для аналізу економічної ефективності використання сонячних електростанцій (СЕС) враховуються такі показники: середньомісячна денна енергетична освітленість E , кВт/м²;

- середні річні суми сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кВт·год/м²;

- середньомісячні суми сумарної радіації на горизонтальну поверхню $E_{\text{мес}}$, кВт·год/м².

Технічно прийнятний рівень сонячної радіації в даний час може бути визначений з виразу:

$$E \geq 0,2 \text{ кВт/м}^2 \quad (1.1)$$

Основу будь-якої СЕС складають фотоелектричні модулі, середня питома вартість яких становить 40 ... 60 грн/Вт.

Для виробництва електричної енергії змінного струму стандартних

параметрів, крім власне фотоелектричного перетворювача, необхідний напівпровідниковий перетворювач постійної напруги, накопичувач електроенергії - акумуляторна батарея, що погоджують пристрої, комутаційна апаратура та ін. Питома вартість повнокомплектною СЕС відповідно зростає до $K_{уст} = 100\ 000 \dots 120\ 000$ грн/кВт встановленої потужності.

Повна вартість комплектного обладнання СЕС визначається з виразу:

$$K_{уст} = K_{уст.уд} * P_{СЕС} \quad (1.2)$$

До капітальних витрат на СЕС слід також віднести вартість проектних $K_{пр}$ і будівельних $K_{буд}$ робіт з визначення місцезнаходження і установки станції на місцевості.

Для визначення необхідної потужності фотоперетворювачів доцільно використовувати дані не про повну встановлену потужність споживачів електроенергії об'єкта електропостачання P , а про середньодобове споживання електроенергії W .

Експлуатація автономної ФЕС в режимі багаторічної безперервної роботи передбачає відсутність періодичної підзарядки АБ від зовнішнього джерела. Вцьому випадку сонячна батарея - єдине джерело енергії в системі, який при мінімумі її пікової потужності повинен повністю забезпечити електроенергією автономний об'єкт.

Для визначення потужності СЕС необхідно розрахувати загальну кількість електроенергії, яку може виробити один сонячний модуль за розрахунковий проміжок часу. Для розрахунку потрібно значення сонячної радіації, яке береться в період роботи станції, коли сонячна радіація мінімальна $E_{мес}$. У разі цілорічного використання - це грудень.

Визначивши значення сонячної радіації за цікавий для нас період і розділивши його на 1000, одержимо так звану кількість пікочасов, тобто умовний час, протягом якого сонце світить як би з інтенсивністю 1000 Вт/м².

Модуль потужністю P_M протягом обраного періоду виробить наступну кількість енергії:

$$W_M = \frac{k P_M E}{1000}, \text{кВт/год} \quad (1.3)$$

Де, E - значення інсоляції за обраний період, кВт·ч/м²; k - коефіцієнт, що враховує поправку на втрату потужності сонячних елементів при нагріванні насонці, а також похиле падіння променів на поверхню модулів протягом дня. Величина k приймається рівною 0,5 влітку і 0,7 в зимовий період. Різниця в його значенні взимку і влітку обумовлена меншим нагріванням елементів в зимовий період.

Повна потужність модулів СЕС визначається з виразу:

$$P_{\text{СЕС}} = \frac{30 * W}{W_M} P_M, \text{кВт} \quad (1.4)$$

Де, W – середньодобове поживання електроенергії об'єктом електропостачання, кВт·ч.

Критерієм для визначення раціонального режиму роботи СЕС (цілорічний або сезонний) можуть служити дані про сумарну радіацію на поверхні землі:

$$K_{\text{рад}} = \frac{E_{\text{год}}}{E_{\text{мес}}} \quad (1.5)$$

Де, $E_{\text{річ}}$ - середні річні суми сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кВт·год/м²; $E_{\text{мес}}$ - середньомісячна сума сумарної радіації на горизонтальну поверхню, мінімальна протягом року, кВт·год/м².

При значеннях $k_{\text{рад}}$ більше 50 можливо тільки сезонне застосування СЕС.

В експлуатаційні витрати СЕС входять витрати на обслуговування

$C_{акс}$ і ремонт $C_{рем}$:

$$C_{рем} = k_{рем} * p_H (K_{уст} + K_{стр}) \quad (1.6)$$

де, $k_{рем}$ - коефіцієнт витрат на ремонт.

Слід зазначити, що собівартість електроенергії мало залежить від потужності станції і визначається в основному інтенсивністю сонячної радіації.

2. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕС

2.1 Види сонячних електричних станцій

Сонячна електростанція (СЕС) — інженерна споруда, що перетворює енергію сонячного випромінювання на електричну енергію. СЕС поділяється на три види:

1) Мережева сонячна станція — це тип фотовольтаїчної електростанції, яка підключається до загальної електромережі. Вона працює за принципом виробництва електроенергії сонячними панелями та передачі надлишків у централізовану енергомережу.

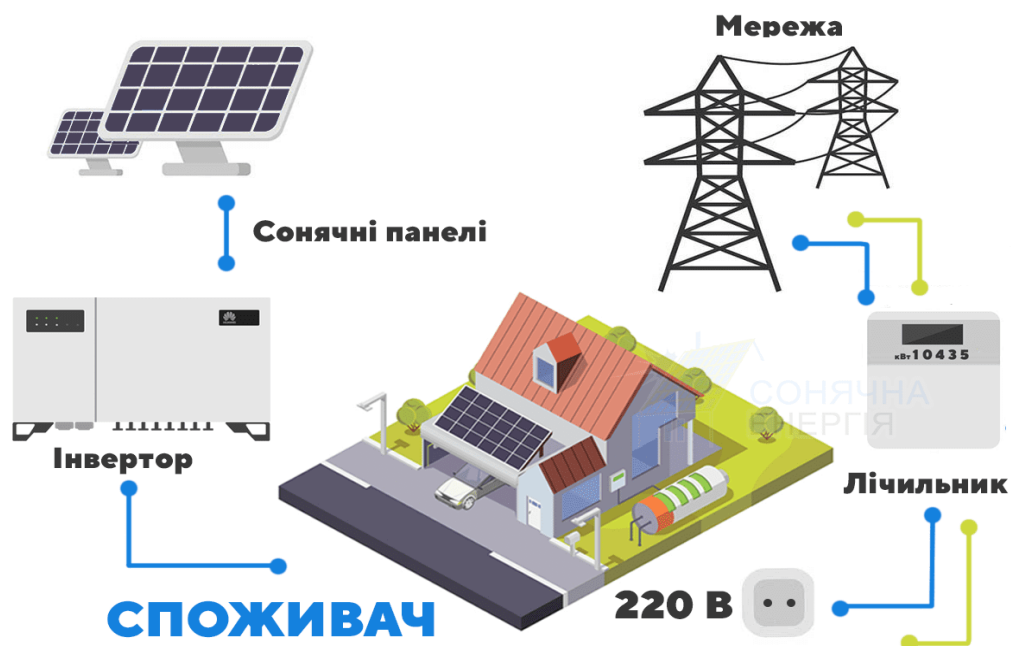


Рисунок 2.1 - Мережева сонячна станція

Основні компоненти мережевої станції:

- Сонячні панелі. Виробляють постійний електричний струм (DC) із сонячного світла. Виготовляються з монокристалічного або полікристалічного кремнію.
- Мережевий інвертор. Перетворює постійний струм (DC) у змінний струм (AC), що відповідає параметрам мережі. Контролює подачу енергії до мережі, забезпечуючи синхронізацію частоти й напруги.
- Лічильник електроенергії. Фіксує кількість виробленої та переданої в мережу електроенергії. Багато сучасних систем використовують двонаправлені лічильники, які враховують як виробництво, так і споживання.
- Кріплення. Конструкції для встановлення панелей на дахах, фасадах або на землі.

Принцип роботи:

- Генерація енергії. Сонячні панелі виробляють електроенергію вдень, коли є сонячне світло.
- Передача надлишків у мережу. Якщо станція виробляє більше енергії, ніж споживає об'єкт, надлишки відправляються в загальну електромережу.
- Зворотне отримання енергії. Уночі чи в похмуру погоду, коли власне виробництво недостатнє, споживач бере електроенергію з мережі.
- Балансування енергії. Наприкінці розрахункового періоду (зазвичай щомісяця або щорічно) споживач сплачує лише за різницю між спожитою та виробленою енергією.

Переваги мережевих станцій:

- Економія коштів. Власник платить тільки за різницю між спожитою та виробленою електроенергією.
- Відсутність акумуляторів. На відміну від автономних систем, мережева станція не потребує батарей для зберігання енергії, що значно знижує витрати на встановлення та обслуговування.
- Легке масштабування. Систему можна розширювати шляхом

додавання нових панелей.

- Довговічність. Сонячні панелі та мережеві інвертори мають тривалий термін служби (до 25 років і більше).

Недоліки:

- Залежність від електромережі. У разі відключення загальної мережі мережева станція також перестає працювати, навіть якщо є сонячне світло.

- Відсутність автономності. Без акумуляторів станція не здатна забезпечити енергопостачання вночі чи під час перебоїв у мережі.

Сфери застосування:

- Приватні домогосподарства. Встановлення на дахах для зниження витрат на електроенергію.

- Комерційні об'єкти. Використання для оптимізації витрат на енергопостачання підприємств.

- Громадські будівлі. Екологічно чисте енергопостачання для шкіл, лікарень тощо.

Мережеві сонячні станції є популярним рішенням для тих, хто прагне зменшити рахунки за електроенергію та внести свій внесок у розвиток екологічної енергетики.

2) Автономна сонячна станція — це система, яка працює незалежно від централізованої електромережі, забезпечуючи електроенергією об'єкти в ізольованих місцях або там, де немає доступу до загальної мережі. Такі станції зазвичай використовуються для дач, віддалених будинків, баз відпочинку або інших автономних потреб.

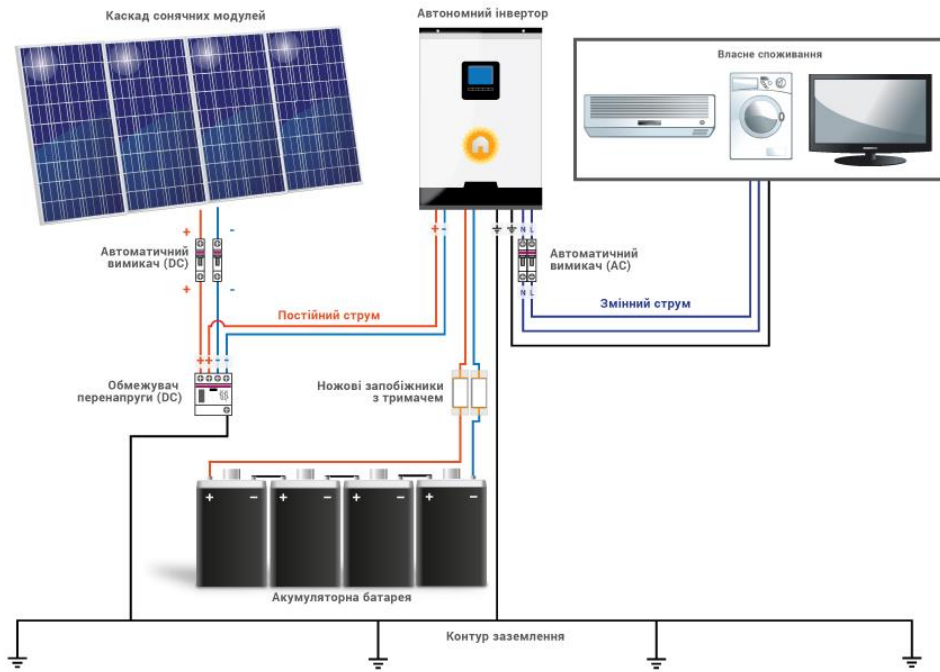


Рисунок 2.2 - Автономна сонячна станція

Основні компоненти автономної станції:

- Сонячні панелі. Генерують постійний струм (DC) із сонячного світла.
- Контролер заряду. Регулює заряд акумуляторів, запобігаючи їхньому перенапруженню чи розрядженню. Деякі моделі контролерів оптимізують процес зарядки (MPPT — Maximum Power Point Tracking).
- Акумуляторні батареї. Накопичують електроенергію, щоб забезпечити живлення вночі або в похмурі дні. Типи батарей: свинцево-кислотні, літій-іонні (ефективніші та довговічніші).
- Інвертор. Перетворює постійний струм із акумуляторів у змінний (AC), який використовується для живлення побутових пристроїв.
- Розподільний щиток. Забезпечує безпечний розподіл енергії до споживачів.

Принцип роботи:

- Денна генерація. Сонячні панелі генерують електроенергію, яка використовується для живлення об'єкта та заряджання акумуляторів.

- Зберігання енергії. Надлишок енергії накопичується в акумуляторах.

- Живлення вночі. У темний час доби або при недостатньому сонячному світлі станція використовує енергію, що зберігається в батареях.

- Резервні генератори (за потреби). У разі тривалого періоду відсутності сонячного світла автономна станція може бути оснащена додатковим генератором.

Переваги автономних станцій:

- Повна незалежність. Можливість забезпечити електроенергію в будь-якому місці, навіть без доступу до мережі.

- Надійність. Енергопостачання не залежить від перебоїв у централізованій мережі.

- Екологічність. Використання відновлюваної енергії зменшує вплив на навколишнє середовище.

- Інтеграція з іншими джерелами енергії. Станцію можна поєднувати з вітрогенераторами чи дизельними генераторами.

Недоліки автономних станцій:

- Висока вартість акумуляторів. Система накопичення енергії може значно збільшити загальну вартість станції.

- Обмежений ресурс батарей. Акумулятори мають обмежену кількість циклів заряд-розряд, що вимагає їхньої періодичної заміни.

- Залежність від погодних умов. У похмурі або зимові дні ефективність генерації може знижуватися.

- Потреба в обслуговуванні. Акумулятори та контролери заряду потребують регулярного догляду.

Сфери застосування:

- Віддалені місцевості. Забезпечення електроенергією гірські села, острови, віддалені ферми.

- Дачі та заміські будинки. Для мінімального енергоспоживання без підключення до мережі.

- Екстрені випадки. Живлення під час природних катастроф або в місцях, де немає стабільного доступу до енергії.

Факти та особливості:

- Популярність у світі. Автономні станції часто використовуються в Африці, Азії та на островах, де є значна кількість ізольованих регіонів.

- Новітні технології. Літій-іонні батареї значно збільшили ефективність та строк служби таких систем.

- Енергоефективність. Установка сучасних приладів з низьким енергоспоживанням (LED, індукційні плити) значно покращує роботу автономних систем.

Автономна сонячна станція є оптимальним рішенням для створення енергетичної незалежності, особливо там, де немає доступу до мережі.

3. Гібридна сонячна станція — це поєднання традиційної мережевої та автономної сонячної електростанції. Вона працює як від сонячних панелей, так і від централізованої електромережі, а також має систему зберігання енергії (акумулятори). Це дозволяє забезпечувати безперебійне електропостачання незалежно від погодних умов або стану енергомережі.

Основні компоненти гібридної станції:

- Сонячні панелі. Генерують електроенергію зі світла, як і в мережевих та автономних станціях.

- Гібридний інвертор. Виконує функції як мережевого, так і автономного інвертора. Контролює потоки енергії між панелями, акумуляторами, мережею і споживачами.

- Акумуляторні батареї. Зберігають надлишкову енергію, вироблену сонячними панелями, для використання вночі або під час відключення мережі.

- Контролер заряду. Забезпечує правильний заряд та розряд акумуляторів для їхньої довговічності.

- Лічильник електроенергії (за потреби). Враховує енергію, що споживається з мережі, і ту, яка подається до неї.

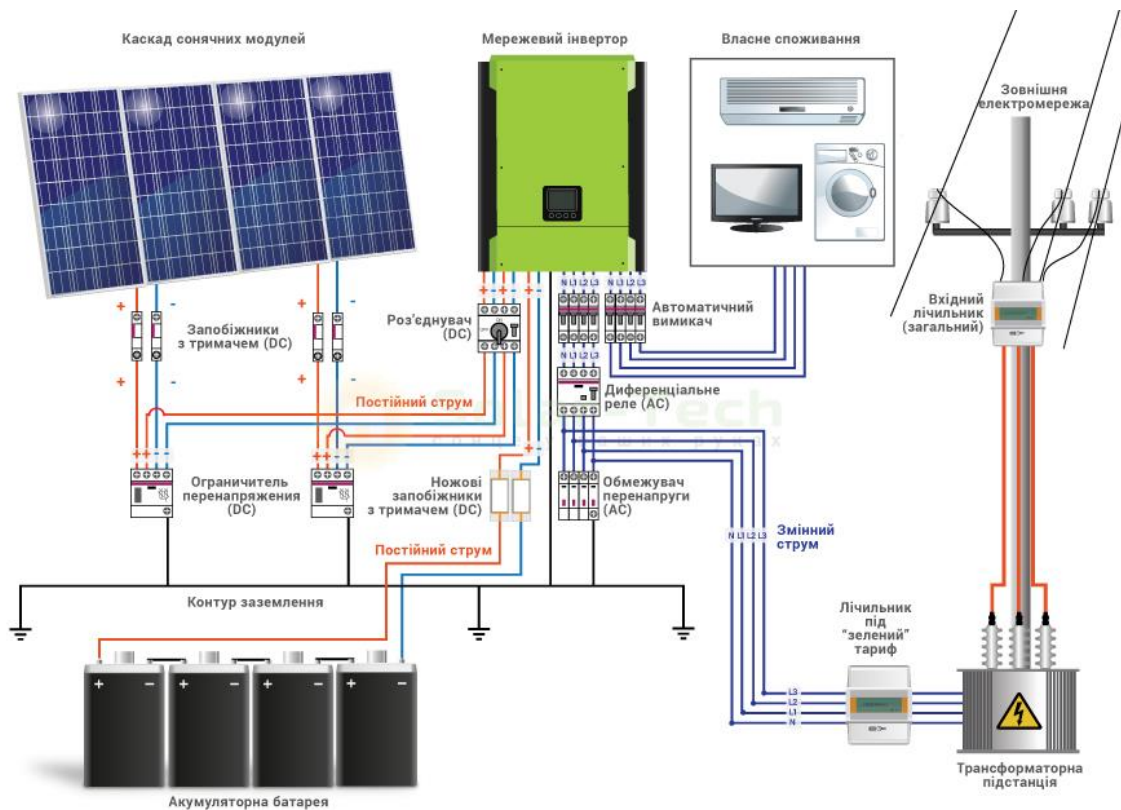


Рисунок 2.3 - Гібридна сонячна станція

Принцип роботи:

- Денна генерація. Сонячні панелі виробляють енергію, яка використовується для живлення споживачів. Надлишок енергії заряджає акумулятори або передається в мережу.
- Нічне живлення. Енергія з акумуляторів використовується для забезпечення споживачів у нічний час або при відключенні мережі.
- Живлення з мережі. Якщо сонячної енергії недостатньо, станція може брати енергію з загальної електромережі.
- Резервне джерело енергії. У разі відсутності мережі та вичерпання заряду акумуляторів система може бути доповнена генератором.

Переваги гібридних станцій:

- Безперебійне електропостачання. Система працює навіть у разі відключення централізованої електромережі.
- Ефективне використання енергії. Надлишкова сонячна енергія зберігається в акумуляторах або передається в мережу.
- Енергетична незалежність. Поєднання сонячної енергії з мережею дозволяє мінімізувати витрати на електрику.
- Масштабованість. Легко розширюється за рахунок додавання сонячних панелей чи акумуляторів.
- Екологічність. Використання відновлюваних джерел енергії зменшує викиди CO₂.

Недоліки:

- Висока вартість. Гібридна система дорожча за звичайну мережеву через акумулятори та складніший інвертор.
- Необхідність обслуговування. Акумулятори потребують періодичної заміни та догляду.
- Залежність від акумуляторів. Від ефективності та місткості батарей залежить якість роботи системи.

Сфери застосування:

- Приватні домогосподарства. Для забезпечення стабільного живлення та зменшення рахунків за електроенергію.
- Комерційні об'єкти. Для уникнення перебоїв у роботі офісів, магазинів або складів.
- Критична інфраструктура. Лікарні, школи, об'єкти, які потребують постійного живлення.
- Віддалені райони. У місцях із нестабільним електропостачанням або його відсутністю.

Чому варто обрати гібридну станцію:

- Це найкращий варіант для тих, хто прагне отримати гнучке рішення: використання сонячної енергії, збереження надлишків і резервування

живлення.

- Гібридні системи стають все доступнішими завдяки розвитку акумуляторних технологій, зокрема літій-іонних батарей.

2.2 Види сонячних панелей

Сонячні панелі (фотовольтаїчні модулі) класифікуються за матеріалами, з яких вони виготовлені, та за технологіями виробництва. Вибір панелі залежить від цілей, бюджету та умов встановлення. Ось основні види сонячних панелей:

1) Монокристалічні панелі.

Матеріал. Виготовлені з чистого монокристалічного кремнію.

Характеристики:

- Висока ефективність (15-22%). Завдяки структурі кристалів, які ефективно перетворюють сонячне світло в енергію.
- Тривалий термін служби. Працюють 25-30 років без значного зниження продуктивності.
- Естетика. Мають однорідний темний колір і найчастіше використовуються для дахових систем.
- Ціна. Вища, ніж у інших видів, через складність виробництва.

Переваги:

- Висока продуктивність на обмеженій площі.
- Стійкість до високих температур. Недоліки:
- Дорожче виробництво.

2) Полікристалічні панелі

Матеріал. Виготовлені з полікристалічного кремнію, що містить кілька кристалів у кожній ячейці.

Характеристики:

- Ефективність (13-18%). Нижча, ніж у монокристалічних, через неоднорідну структуру.
- Ціна. Дешевші, ніж монокристалічні панелі.
- Зовнішній вигляд. Мають синій відтінок і менш однорідну поверхню. Переваги:

- Економічність. Простота виробництва.
- Недоліки. Потребують більше місця для генерації такої ж кількості енергії, як монокристалічні панелі.



Рисунок 2.4 – Вид монокристалічної та полікристалічної панелі

3) Тонкоплівкові панелі

Матеріал. Виготовляються шляхом нанесення тонкого шару фотовольтаїчного матеріалу (кадмій-телурид, аморфний кремній, мідь-індій-галій-селенід) на основу.

Характеристики:

- Ефективність (7-13%). Нижча, ніж у кремнієвих панелей.
- Гнучкість. Можуть бути гнучкими, що дозволяє їх використовувати на різних поверхнях.
- Ціна. Зазвичай найдешевші через низькі витрати на виробництво.
- Переваги. Легкість і гнучкість. Хороша робота при слабкому освітленні.
- Недоліки. Коротший термін служби (10-15 років). Менша ефективність і вищі втрати енергії.



Рисунок 2.5 – Вид тонкоплівкової панелі

4) Гібридні панелі (HJT, HET)

Матеріал: Поєднують кристалічний кремній та тонкоплівкові матеріали.

Характеристики:

- Ефективність (20-24%). Поєднують переваги обох технологій, забезпечуючи високу продуктивність.
- Ціна. Значно дорожчі через складність виготовлення. Переваги:
- Найкраща ефективність. Висока стійкість до температур.
- Недоліки. Висока вартість.

5) Перовскітні панелі

Матеріал: Виготовлені на основі перовскітного шару, який здатний ефективно поглинати сонячне світло.

Характеристики:

- Ефективність (до 25%). Технологія ще розвивається, але вже демонструє високі показники.
- Ціна. Потенційно дешевші у виробництві, ніж кремнієві панелі.
- Гнучкість. Можливість нанесення на різні поверхні. Переваги:
- Висока ефективність. Широкий спектр застосувань.
- Недоліки. Короткий термін служби (наразі). Недостатня стабільність матеріалу.

6) Біфіційні панелі

Матеріал: Використовують монокристалічний кремній, але здатні генерувати енергію з обох сторін панелі.

Характеристики:

- Ефективність. Можуть збільшувати виробництво на 10-20% завдяки відбитому світлу.
- Ціна. Дорожчі за звичайні панелі. Переваги:
- Вища загальна генерація енергії.
- Ідеально підходять для монтажу на відбитих поверхнях (наприклад, білий гравій).
- Недоліки. Необхідність спеціального монтажу для максимальної ефективності.

7) Інтегровані сонячні панелі (BIPV)

Матеріал. Панелі інтегруються в будівельні конструкції (дах, фасад тощо).

Характеристики:

- Естетичність. Використовуються як елемент архітектури.
- Ефективність. Залежить від типу панелі (монокристалічна, полікристалічна чи тонкоплівкова).
- Переваги: Поєднання функціональності та дизайну панелей.

- Недоліки: Доволі висока вартість.



Рисунок 2.6 – Вид інтегрованої панелі в конструкції будівлі.

Таблиця 2.1 - Порівняння ефективності типів панелей:

Тип панелі	Ефективність (%)	Термін служби (роки)	Вартість
Монокристалічні	15-22	25-30	Висока
Полікристалічні	13-18	20-25	Середня
Тонкоплівкові	7-13	10-15	Низька
Гібридні (HJT, HET)	20-24	25-30	Дуже висока
Перовскітні	до 25	5-10 (поки що)	Потенційно низька

Вибір типу панелі залежить від ваших потреб: якщо потрібна максимальна ефективність — обирайте монокристалічні або гібридні, для бюджетного рішення — полікристалічні або тонкоплівкові.

2.3 Будова та принцип роботи фотомодулів

Фотомодуль (сонячна панель) складається з декількох основних компонентів, які забезпечують перетворення сонячного світла в електричну енергію.

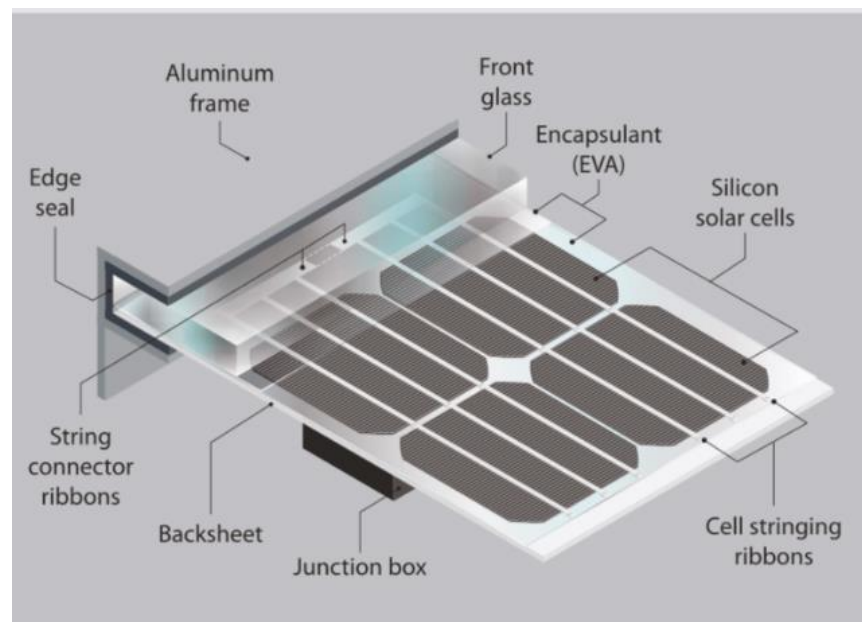


Рисунок 2.7 – Будова фотомодуля

Основні компоненти фотомодуля:

1) Фотоелементи (сонячні осередки):

- Виготовлені з напівпровідникових матеріалів (зазвичай кремній).
- Складаються з шару р-типу та n-типу, утворюючи р-n перехід.
- Перетворюють сонячне світло в постійний струм.

2) Захисне скло:

- Розташоване зверху для захисту фотоелементів від механічних

пошкоджень, пилу та атмосферних впливів.

- Пропускає максимальну кількість світла.

3) Антивідбивне покриття:

- Знижує втрати світла через відбивання.

4) Етиленвінілацетат (EVA):

Прозорий шар, що фіксує осередки та захищає їх від вологи.

5) Задня панель:

Захищає модуль знизу. Може бути з пластику або металізованого матеріалу для посилення міцності.

6) Рамка:

Зазвичай виготовляється з алюмінію. Забезпечує жорсткість конструкції та спрощує монтаж.

7) Розподільна коробка:

- Розташована ззаду.
- Містить діодні елементи (байпасні діоди) для зменшення втрат у разі затінення.

Принцип роботи:

- Поглинання світла. Фотоелементи поглинають фотони (частинки світла), що спричиняє вивільнення електронів у матеріалі напівпровідника.
- Генерація електричного струму. Вивільнені електрони утворюють електричний струм через p-n перехід.
- Постійний струм. Фотоелементи виробляють постійний струм (DC), який потім перетворюється інвертором у змінний (AC) для живлення електроприладів.

Основні параметри фотомодулів:

- Потужність (Вт). Максимальна потужність, яку може виробити модуль за стандартних умов (STC).
- Коефіцієнт ефективності (%). Відношення виробленої енергії до

енергії сонячного випромінювання, що падає на модуль.

- Напруга холостого ходу (V_{oc}). Максимальна напруга на виході модуля без підключення навантаження.
- Струм короткого замикання (I_{sc}). Максимальний струм при замкненні виходу модуля.
- Температурний коефіцієнт. Зміна потужності модуля при зміні температури.
- Розмір і вага. Габарити і маса модуля визначають зручність монтажу.

З'єднання фотомодулів. Фотомодулі можна з'єднувати в різний спосіб залежно від бажаної напруги та струму системи:

Послідовне з'єднання:

- Напруга сумується, а струм залишається незмінним.
- Використовується для підвищення загальної напруги.

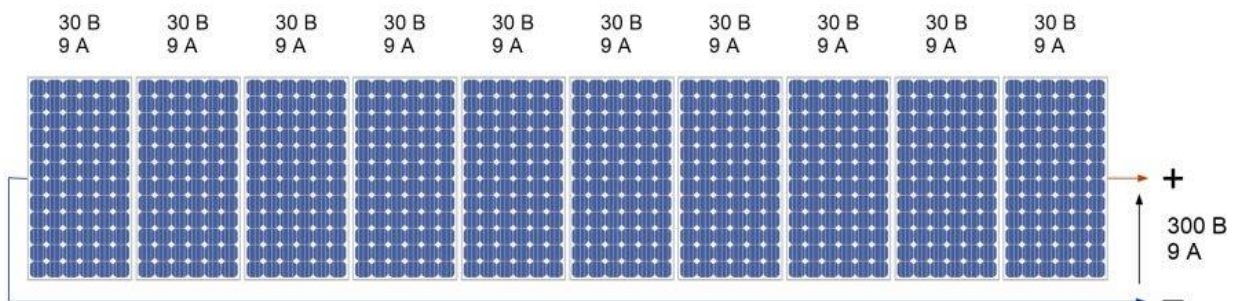


Рисунок 2.8 – Послідовне з'єднання фотопанелей.

Паралельне з'єднання.

- Струм сумується, а напруга залишається незмінною.

- Використовується для підвищення потужності.

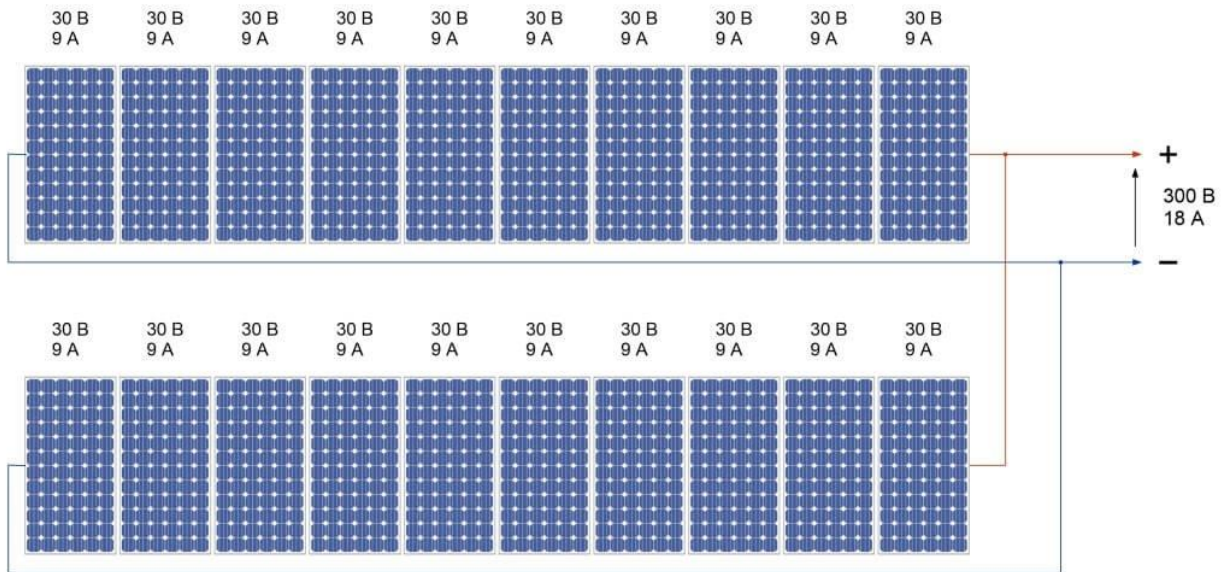


Рисунок 2.9 - Паралельне з'єднання фотопанелей

Комбіноване з'єднання.

- Поєднання послідовного і паралельного з'єднань для створення потрібної конфігурації.

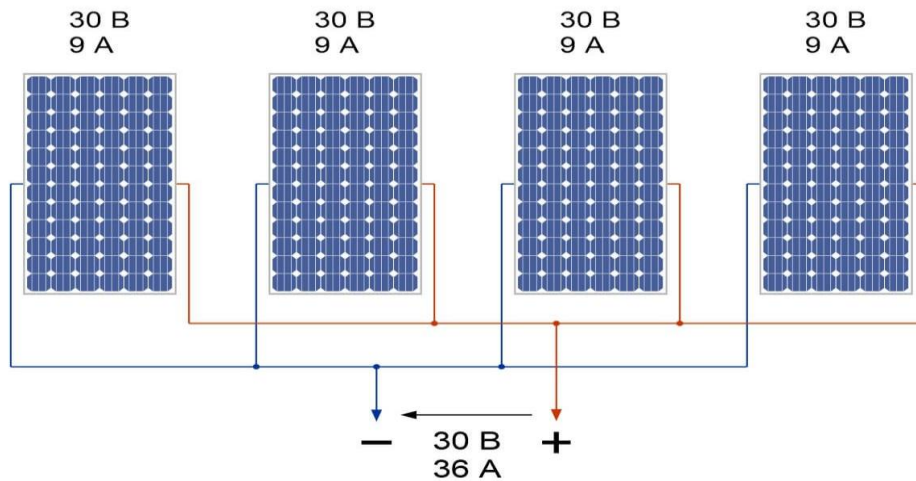


Рисунок 2.10 - Комбіноване з'єднання фотопанелей

Вплив затінення на роботу фотомодулів:

- Зменшення виробітку енергії. Навіть часткове затінення знижує продуктивність всього модуля. У послідовних з'єднаннях затінений модуль може зменшити виробіток всієї ланцюжка.

- Перегрів осередків (ефект гарячої точки). Затінена частина модуля може перегріватися, що знижує термін служби.
- Роль байпасних діодів. Байпасні діоди дозволяють струму обходити затінені елементи, мінімізуючи втрати енергії.

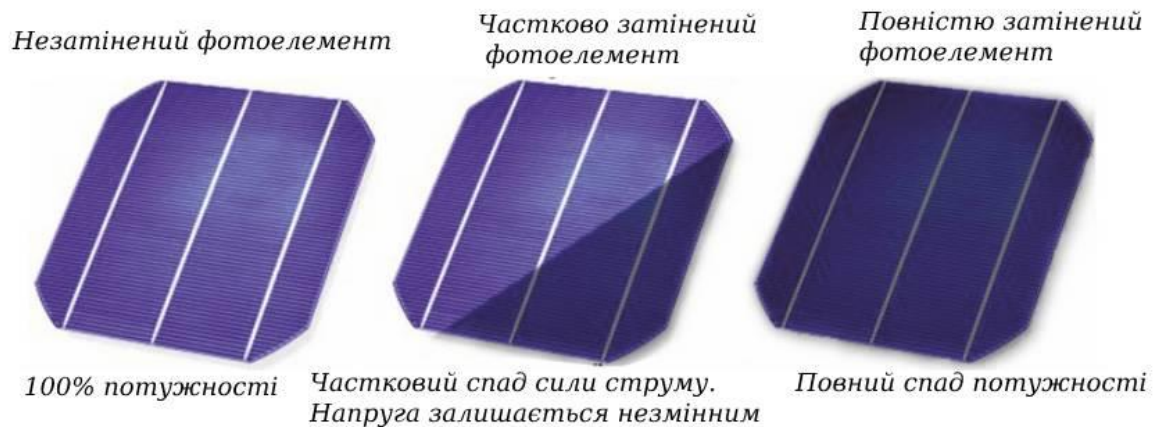


Рисунок 2.11 - Затінення фотоелемента

Аналіз електричного навантаження та споживання енергії будинком

Для забезпечення комунального електропостачання одного під'їзду:

Один ліфт – 5,5кВт

Інтернет – 0,1кВт

Домофон – 0,1кВт

Аварійне освітлення сходових клітин – 0,2кВт

Місячне споживання п'яти під'їздів: 5700 кВт·год.

Пікова потужність: 5,9 кВт.

В будинку 5 під'їздів, кожен з яких потребує окремої системи безперебійного електропостачання. Загальна потужність для всіх під'їздів:

$$P_{\text{заг}} = 5 \times 5,9\text{кВт} = 29,5\text{кВт}$$

Загальне місячне споживання 5 під'їздів:

$$W_{\text{заг}} = 5 \times 1140 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 5700 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вибір елементів СЕС:

Для забезпечення потреб, вибрано тип фотомодулів монокристалічні панелі Longi Solar LR7-72HGD-600M (потужність 600 Вт, двосторонні). Є високопродуктивними фотовольтаїчними модулями, що використовуються для промислових, комерційних та приватних сонячних електростанцій. Вони забезпечують високу ефективність і довговічність завдяки інноваційній технології виробництва.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики фотомодуля:

Характеристика	Значення
Тип осередків	Монокристалічні
Потужність модуля (STC)	600 Вт
Ефективність модуля	До 21,2%
Розміри панелі	2172 × 1303 × 35 мм
Вага	32 кг
Кількість осередків	144 (Half-cut)
Тип конструкції	Двостороння (Bifacial)
Температурний коефіцієнт	-0,35%/°C
Напруга холостого ходу (Voc)	41,2 В
Струм короткого замикання (Isc)	18,4 А
Робоча напруга (Vmp)	34,8 В
Робочий струм (Imp)	17,2 А
Максимальна напруга системи	1500 В
Тип скла	Антивідбивне, високопрозоре
Термін служби	25+ років

Особливості Longi Solar LR7-72HGD-600M:

Монокристалічні осередки. Осередки з чистого кремнію забезпечують високу ефективність навіть за умов слабого освітлення.

Двостороння технологія (Bifacial). Панелі виробляють енергію не лише з фронтальної сторони, а й із тильної, використовуючи відбите світло.

Збільшення продуктивності до 15-25% залежно від умов.

Half-cut технологія. Розділені осередки знижують втрати енергії через нагрівання. Збільшують стійкість до часткового затінення.

Надійність. Панелі сертифіковані для роботи у важких умовах: стійкі до снігового та вітрового навантаження (5400 Па та 2400 Па відповідно).

Температурна стабільність. Низький температурний коефіцієнт забезпечує високу продуктивність при високих температурах.

Антивідбивне скло. Підвищує поглинання світла. Стійке до подряпин, пилу та атмосферних впливів.

Висока напруга системи. Підтримує роботу у великих промислових системах до 1500В.

Переваги Longi Solar LR7-72HGD-600M

Висока ефективність. Дозволяє отримувати більше енергії на менших площах.

Зниження витрат. Завдяки високій продуктивності знижується вартість встановлення системи на одиницю виробленої енергії.

Гнучкість у використанні. Ідеально підходять для дахів, наземних установок, та у місцях із високим рівнем пилу або відбитого світла (наприклад, пустелі).

Екологічність. Зменшують викиди CO₂ за рахунок високої енергоефективності.

Довговічність. Панелі мають великий термін служби та збереження до 90% продуктивності через 25 років.

Рекомендації з монтажу:

Розташування. Орієнтувати панелі на південь із кутом нахилу, оптимальним для вашої широти.

Відстань між панелями. Забезпечити достатню відстань, щоб уникнути затінення.

Поверхня під панелями. Використовувати світловідбивні матеріали (білий гравій, дзеркальні поверхні) для підвищення ефективності двосторонньої технології.

Температурний режим. Забезпечити вентиляцію для уникнення перегрівання панелей.

Сфери застосування:

- Промислові сонячні електростанції.
- Комерційні будівлі (склади, офіси).
- Великі житлові будинки.
- Регіони з високим рівнем сонячного випромінювання (пустелі, гори).

Монокристалічні панелі Longi Solar LR7-72HGD-600M є ідеальним вибором для проектів, які потребують максимальної ефективності, тривалого терміну служби та високої продуктивності. Їхня двостороння технологія дозволяє збільшити загальне виробництво енергії, знижуючи вартість виробництва електроенергії.

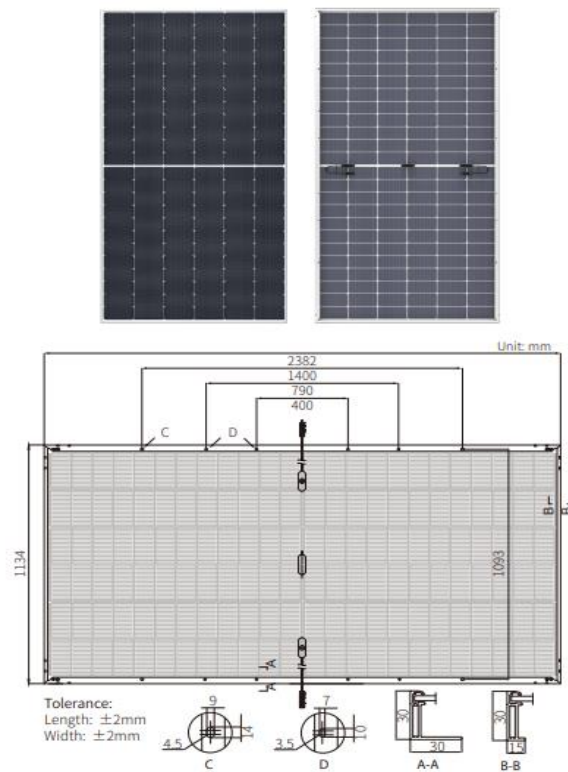


Рисунок 2.12 – Вигляд монокристалічної панелі
Longi Solar LR7-72HGD-600

2.4 Інвертори: типи, принцип роботи, технічні характеристики

Інвертор — це пристрій, що перетворює постійний струм (DC), вироблений сонячними панелями або акумуляторами, у змінний струм (AC), який використовується для живлення побутових або промислових приладів. Він є ключовим компонентом сонячної електростанції (СЕС), забезпечуючи стабільність та якість електропостачання.

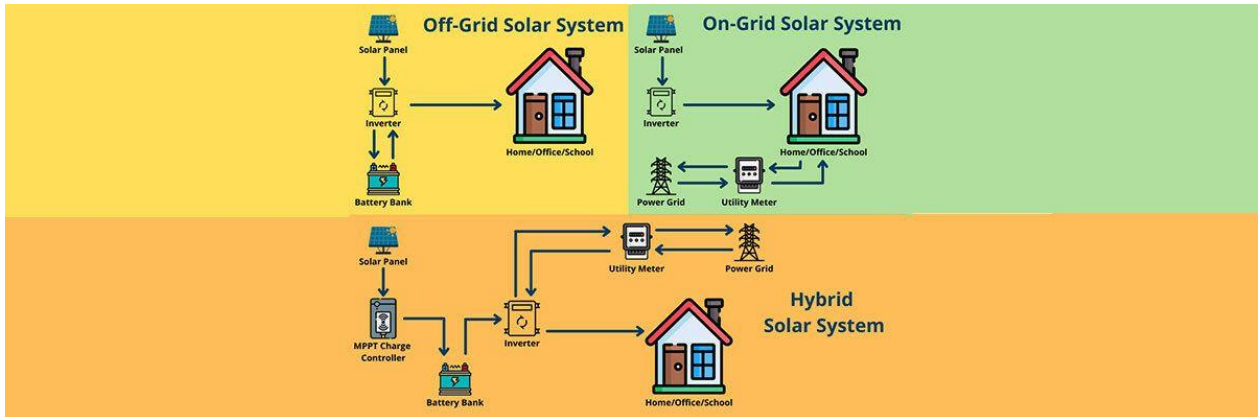


Рисунок 2.13 – Типи інверторів

Типи інверторів:

1) Мережеві інвертори (Grid-Tie Inverters)

Призначення. Використовуються в системах, підключених до загальної електромережі.

Особливості:

- Не мають акумуляторів.
- Працюють тільки за наявності зовнішньої мережі.
- Передають надлишок енергії до мережі.

Переваги:

- Простота конструкції.
- Високий ККД (до 98%).
- Знижена вартість системи.

Недоліки:

- Не забезпечують автономності.

2) Автономні інвертори (Off-Grid Inverters)

Призначення. Використовуються у системах, що працюють незалежно від мережі (в сільських районах або віддалених місцевостях).

Особливості:

- Працюють із акумуляторами.
- Зазвичай підтримують резервний генератор.

Переваги:

- Повна незалежність від мережі.

Недоліки:

- Залежність від ємності акумуляторів.
- Дорожча система.

3) Гібридні інвертори (Hybrid Inverters)

Призначення: Поєднують функції мережевого та автономного інвертора.

Особливості:

- Підтримують роботу з мережею, акумуляторами та сонячними панелями.
- Зберігають надлишкову енергію в акумуляторах.

Переваги:

- Забезпечують безперебійне живлення.
- Гнучкість в налаштуванні.

Недоліки:

- Дорожчі за мережеві інвертори.

4) Мікроінвертори (Micro-Inverters)

Призначення. Використовуються для індивідуального підключення кожної сонячної панелі.

Особливості:

- Зменшують втрати при затіненні або поломці окремої панелі.

Переваги:

- Вища ефективність на рівні панелей.

Недоліки:

- Вища вартість на одиницю потужності.
-

Принцип роботи інвертора

Перетворення постійного струму на змінний (DC -> AC):

- Постійний струм від сонячних панелей або акумуляторів проходить через силові транзистори.
- Інвертор формує змінний струм із частотою 50 Гц і напругою 220 В (або 380 В для трифазних систем).

Синхронізація з мережею (для мережевих і гібридних інверторів):

- Забезпечується відповідність частоти, фази та напруги виробленої енергії до параметрів електромережі.

Контроль і моніторинг:

- Більшість інверторів мають вбудовані системи відстеження точки максимальної потужності (MPPT), що забезпечують максимальну ефективність роботи панелей.

Захист і стабілізація:

- Інвертори захищають систему від перевантаження, короткого замикання та стрибків напруги.

Таблиця 2.2 - Основні технічні характеристики інвертора:

Параметр	Опис
Номінальна потужність	Потужність, яку інвертор може забезпечувати постійно (в кВт).
Пікова потужність	Максимальна потужність на короткий проміжок часу.
ККД (коефіцієнт корисної дії)	Відношення вихідної енергії до вхідної (зазвичай 90-98%).
Тип струму на виході	Однофазний (220 В) або трифазний (380 В).
Максимальна напруга системи	Найвища напруга, яку може витримати інвертор (наприклад, 1000 В або 1500 В).

Діапазон робочих температур	Температури, за яких інвертор працює без зниження продуктивності.
Тип охолодження	Пасивне (радіатори) або активне (вентилятори).
Моніторинг	Можливість відстеження продуктивності через дисплей або онлайн-платформи.
Захист	Захист від перенапруги, перевантаження, зворотної полярності.

Вибір інвертора

Для невеликих домогосподарств:

- Підходять мережеві або гібридні інвертори потужністю 3-10 кВт.

Для промислових систем:

- Використовуються трифазні інвертори із потужністю 10-50 кВт.

Для віддалених районів:

- Обираються автономні або гібридні інвертори з потужними акумуляторами.

Для складних систем:

- Мікроінвертори ідеальні для затінених територій або нерівномірного розташування панелей.

Популярні бренди інверторів:

- Huawei: Висока якість, підтримка інтелектуального моніторингу.
- SMA: Лідер у сфері мережевих інверторів.
- Fronius: Надійні гібридні інвертори з довговічним дизайном.
- GoodWe: Сучасні гібридні рішення.
- Victron Energy: Еталон у сфері автономних інверторів.

Тип інвертора залежить від вимог до системи (автономність, робота з мережею, резервування). Важливо враховувати потужність, ефективність,

можливість моніторингу та технічні параметри для забезпечення надійності роботи всієї СЕС.

2.5 Розрахунок та вибір типу інвертора

Потужність інвертора згідно з наданими даними:

- Пікове навантаження одного під'їзду становить 5,9 кВт.
- В будинку 5 під'їздів, кожен із власною системою.

Тож загальна пікова потужність для одного інвертора повинна покривати:

Навантаження одного під'їзду 5,9 кВт з урахуванням можливих втрат додатково додають 15–20% резерву. Отже, мінімальна потужність інвертора має бути:

$$5,9 \times 1,2 = 7,08 \text{ кВт}$$

Обраний інвертор SUN-8K-SG05 LP3-EU-SM2 задовольняє вимоги для одного під'їзду, адже його номінальна потужність 8,0 кВт перевищує розраховану з резервом.

Характеристика та опис гібридного інвертора

Гібридний інвертор **SUN-8K-SG05 LP3-EU-SM2** — це сучасний багатофункціональний пристрій, який використовується для перетворення постійного струму, отриманого від сонячних панелей, у змінний струм для живлення електроприладів або передачі в мережу. Цей інвертор підходить як для приватних домогосподарств, так і для комерційних об'єктів. Завдяки передовим технологіям пристрій забезпечує високу ефективність, стабільність роботи та широкий спектр функцій

Solar System Diagram

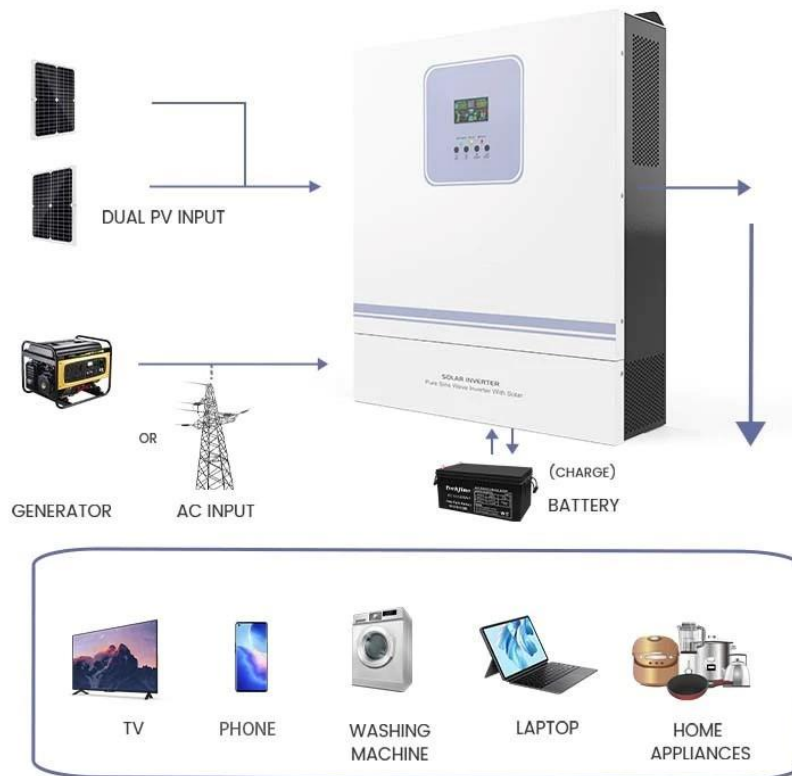


Рисунок 2.14 – Вид інвертора SUN-8K-SG05 LP3-EU-SM2

Основні характеристики:

Номінальна потужність: 8 кВт.

Максимальна потужність сонячного масиву: до 10 кВт.

Діапазон напруги МРРТ: 120-450 В.

Кількість МРРТ-трекерів: 2, що дозволяє підключати різні масиви панелей.

Вихідна напруга: 230 В (однофазна) або 400 В (трифазна).

Частота: 50/60 Гц (автоматичне визначення).

ККД: до 98%.

Тип акумуляторів: Li-іон або свинцево-кислотні.

Діапазон температури роботи: від -25°C до +60°C.

Ступінь захисту: IP65 (захищений від пилу та води, що дозволяє встановлення на відкритому повітрі).

Інтерфейси зв'язку: Wi-Fi, RS485, CAN, підтримка мобільного додатка.

Розміри: приблизно 560 x 420 x 200 мм.

Технічні характеристики:

Номінальна потужність:

- 8,0 кВт, що підходить для систем середньої та високої потужності, наприклад, багатоквартирних будинків або невеликих комерційних об'єктів.

Напруга системи:

- Робоча напруга акумуляторної системи – 40-60 В.
- Сумісна з більшістю літій-іонних і свинцево-кислотних акумуляторів.

Струм:

- Максимальний струм зарядки/розрядки – 190 А, що забезпечує швидкий заряд акумуляторів і підтримку високих навантажень.

Тип інвертора:

- Гібридний інвертор: підтримує одночасну роботу з мережею, сонячними панелями та акумуляторами.

Вихідна форма сигналу:

- Чиста синусоїда, що забезпечує безпечну роботу навіть чутливих до якості електроживлення пристроїв (комп'ютери, медичне обладнання).

Робочий діапазон напруги DC:

- Широкий діапазон напруги для підключення сонячних панелей, дозволяючи гнучкість у проектуванні СЕС.

Ефективність:

- До 98%, що мінімізує втрати при перетворенні енергії.

Функціональні можливості:

Режим гібридної роботи. Інвертор одночасно працює з кількома джерелами енергії:

- Сонячні панелі.
- Акумулятори.

- Зовнішня електромережа.

Інтелектуальне управління зарядом:

- Автоматичне керування процесом заряджання акумуляторів залежно від наявності сонячної енергії, стану акумуляторів і потреб у навантаженні.

Перехід в автономний режим:

- Забезпечує безперебійне живлення у разі відключення зовнішньої електромережі.

Захист системи. Вбудований захист від:

- Перенапруги.
- Короткого замикання.
- Перевантаження.
- Перегріву.

Моніторинг та управління:

- Вбудований РК-дисплей або інтерфейси для віддаленого контролю параметрів роботи.
- Можливість підключення до системи моніторингу через інтернет.

Застосування:

- Житлові будинки: ідеально підходить для багатоквартирних будинків, де потрібне безперебійне електропостачання.
- Комерційні об'єкти: офіси, магазини, склади.
- Автономні системи: використовується в місцях, де відсутній доступ до централізованої мережі.

Переваги інвертора:

- Гнучкість у використанні: підтримка роботи з мережею та автономними джерелами.
- Надійність: високий рівень захисту від зовнішніх впливів.
- Економічність: оптимізація використання енергії, особливо у поєднанні з СЕС.
- Сумісність: широкий діапазон напруги та струмів дозволяє

інтегрувати інвертор із різними компонентами.

Враховуючи потреби та використання гібридних систем:

- Гібридний інвертор дозволяє одночасно працювати з мережею, сонячними панелями та акумуляторами. Це важливо для забезпечення безперебійного електропостачання.

- Напруга 40-60 В відповідає стандартним характеристикам для акумуляторних систем у подібних установках.

- Ток 190 А дає можливість підтримувати роботу системи з достатнім запасом навіть під час пікових навантажень.

Цей інвертор є сучасним рішенням для систем із високими вимогами до енергоефективності та автономності.

Вибір інвертора в системі:

Для кожного під'їзду обирається окремий інвертор:

Кількість інверторів = кількість під'їздів = 5.

Потужність кожного інвертора 8 кВт, що покриває вимоги з урахуванням пікового навантаження.

Узгодження з фотопанелями:

Фотопанелі Longi Solar LR7-72HGD-600M мають потужність 600 Вт.

Для одного під'їзду потрібно:

$5,9 \text{ кВт} / 0,6 \text{ кВт} \approx 10$ панелей (з запасом).

Обраний інвертор здатний обробляти потужність цих панелей та працювати в режимі балансування енергії між мережею, акумулятором і навантаженням.

Рекомендації:

- Підтвердити сумісність обраного інвертора з іншими компонентами системи (панелями, акумуляторами).

- Розглянути систему моніторингу для кожного інвертора для відстеження ефективності та швидкого виявлення збоїв.

- Переконалися, що схеми захисту (автоматичні вимикачі, запобіжники) відповідають номінальним характеристикам інверторів.

2.6 Описання типів акумуляторних батарей, принцип роботи, технічні характеристики, технології їх виробництва, принципи з'єднання акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї – це пристрої для зберігання енергії, які перетворюють хімічну енергію в електричну. Вони широко використовуються у відновлюваній енергетиці, електротранспорті, та побутових потребах.

Основні типи акумуляторів:

1) Свинцево-кислотні акумулятори (SLA, AGM, Gel):

Принцип роботи. Хімічна реакція між свинцем (позитивний електрод), діоксидом свинцю (негативний електрод) і електролітом (сірчана кислота).

Характеристики:

- Низька вартість.
- Напруга однієї комірки: 2 В (звичайна батарея – 6 або 12 В).
- Ресурс: 300–500 циклів заряд-розряд.

Технології виробництва:

- AGM (Absorbent Glass Mat): електроліт утримується в скловолокні.
- Gel: електроліт у вигляді гелю.
- Переваги: доступність, висока пускова потужність.
- Недоліки: велика вага, чутливість до глибокого розряду.

2) Літій-іонні акумулятори (Li-ion):

Принцип роботи. Літій-іони переміщуються між анодом (графіт) і катодом (оксиди металів) через електроліт.

Характеристики:

- Щільність енергії: висока (до 200 Вт·год/кг).
- Ресурс: 500–2000 циклів.
- Напруга комірки: 3,6–3,7 В.

Технології виробництва. Використовують катоди з оксидів літію, нікелю, кобальту, алюмінію.

Переваги. Легкість, довговічність, швидка зарядка.

Недоліки. Висока вартість, ризик займання при неправильному використанні.

3) Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄):

Принцип роботи. Схожий на Li-іон, але використовує катод із залізо-фосфатного матеріалу.

Характеристики:

- Щільність енергії: середня (до 160 Вт·год/кг).
- Ресурс: 2000–5000 циклів.
- Напруга комірки: 3,2 В.

Переваги. Висока безпека, тривалий термін служби, стійкість до глибоких розрядів.

Недоліки. Менша щільність енергії, ніж у Li-іон.

4) Нікель-кадмієві (NiCd) та нікель-металгідридні (NiMH)

акумулятори:

Принцип роботи. Переміщення іонів між нікелевими і кадмієвими/металгідридними електродами.

Характеристики:

- NiCd: висока стійкість до температур, довговічність (500–1500 циклів).
- NiMH: вища щільність енергії, ніж у NiCd, але коротший термін служби.

Переваги. Надійність.

Недоліки. Токсичність (NiCd), ефект пам'яті.

Принципи з'єднання акумуляторних батарей:

Послідовне з'єднання:

- Напруга підсумовується, а ємність залишається незмінною.
- Наприклад, 4 батареї по 12 В 100 А·год дадуть 48 В 100 А·год.
- Використовується для систем із високою напругою.

Паралельне з'єднання:

- Ємність підсумовується, а напруга залишається незмінною.
- Наприклад, 4 батареї по 12 В 100 А·год дадуть 12 В 400 А·год.
- Використовується для збільшення ємності систем.

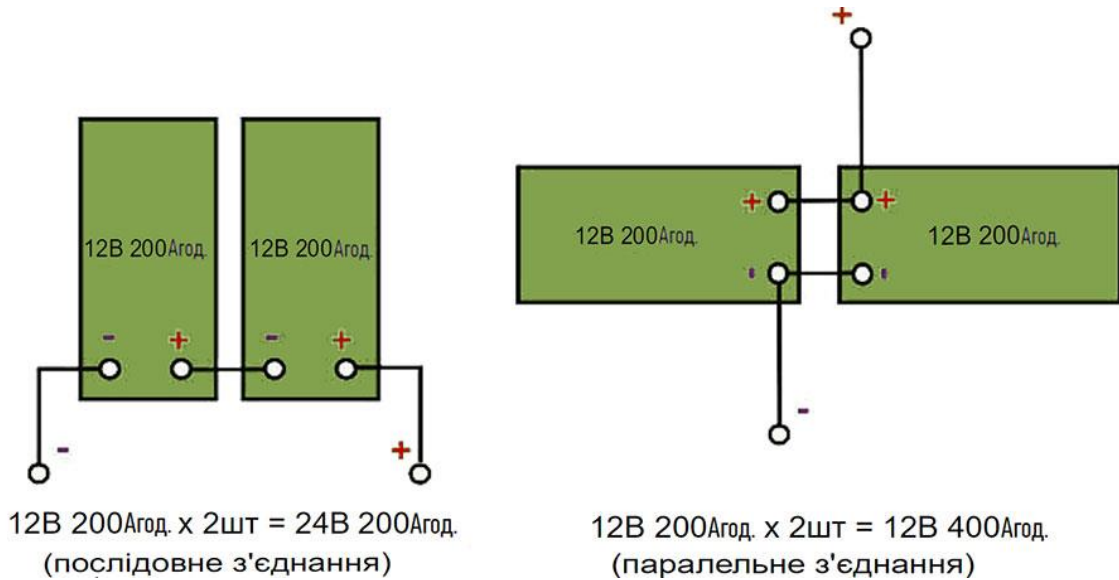


Рисунок 2.15 - Паралельне з'єднання АКБ

Комбіноване з'єднання:

- Поєднання послідовного та паралельного з'єднань для досягнення потрібної напруги і ємності. Наприклад, два блоки по 24 В 200 А·год, з'єднані
 - послідовно, дадуть 48 В 200 А·год.

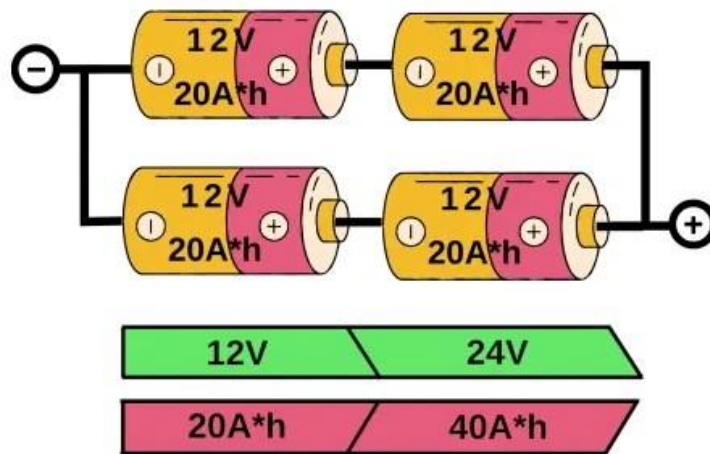


Рисунок 2.15 - Комбіноване з'єднання АКБ

Технології виробництва акумуляторів:

Електродні матеріали:

- Використання наноматеріалів для підвищення ємності (у сучасних літій-іонних батареях).
- Покриття катодів і анодів спеціальними матеріалами для запобігання деградації.

Електроліт:

- Рідкий (свинцево-кислотні, літій-іонні).
- Гелеподібний (Gel, літєвий полімер).
- Твердотільний (нові літєві батареї).

Контроль якості:

- Автоматизоване тестування на стійкість до температур, напруги, циклічного використання.

Критерії вибору акумуляторів:

- Потужність і ємність (Вт·год, А·год).
- Тривалість життя (цикли заряд-розряд).
- Безпека (стійкість до перегріву, механічних пошкоджень).
- Вартість і співвідношення ціна/якість.
- Екологічність (токсичність, можливість переробки).

2.7 Розрахунок та вибір ємності акумуляторних батарей.

На основі наданих даних, обчислимо необхідну ємність акумуляторних батарей для забезпечення безперебійного комунального електропостачання одного під'їзду.

Основні вхідні дані:

Місячне споживання для п'яти під'їздів: 5700 кВт/год

Пікова потужність навантаження для одного під'їзду: 5,9 кВт.

Тип акумулятора:

Літій-залізо-фосфатний (LiFePO₄) Kerworth, 48 В, 100 А·год, що забезпечує:

$$48\text{В} \times 100 \text{ А/год} = 4800\text{Вт/год} = 4,8 \text{ кВт/год.}$$

Рекомендована глибина розряду (DoD) для LiFePO₄: 80% (можна використовувати 80% ємності без шкоди для довговічності).

Тривалість роботи від батарей без підзарядки (умови автономності): 5 годин (приклад нічного періоду або відключення мережі).

Розрахунок необхідної ємності акумуляторів:

Для забезпечення електропостачання протягом 5 годин комунального навантаження потрібно:

$$5,9\text{кВт} \times 5\text{годин} \times 0,5\text{коеф.} = 14,75\text{кВт/год.}$$

З урахуванням допустимої глибини розряду (80%):

$$29,5\text{кВт} / 0,8 = 36,8 \text{ кВт/год}$$

Кількість акумуляторів:

Ємність одного акумулятора Kerworth LiFePO₄ 48 В / 100 А·год становить 4,8 кВт·год:

$$14,7 \text{ кВт/год} / 4,8 \text{ кВт/год} \approx 3 \text{ акумуляторів}$$

Отже, для одного під'їзду потрібно 3 акумуляторів (з округленням у більшу сторону для резерву).

Розрахунок для всього будинку:

В будинку 5 під'їздів, тому загальна кількість акумуляторів:

$$3 \text{ акумуляторів} \times 5 = 15 \text{ акумуляторів.}$$

Для 3 акумуляторів Kerworth LiFePO4 48V/100Ah (5100Wh), оптимальним рішенням є паралельне з'єднання всіх батарей для досягнення необхідної ємності, зберігаючи напругу на рівні 48 В. Нижче описано схему та деталі такого з'єднання.

Схема з'єднання для 3 акумуляторів

Тип з'єднання:

- Паралельне з'єднання: усі позитивні клеми акумуляторів з'єднуються між собою, те ж саме робиться з негативними клемми.
- Напруга залишається 48 В, ємність акумуляторів підсумовується.

Результат з'єднання:

- Сумарна напруга: 48 В (не змінюється).
- Сумарна ємність: $100 \text{ А/год} \times 3 = 300 \text{ А/год}$.

Енергетична місткість:

$$48\text{В} \times 300\text{А/год} = 14,4 \text{ кВт/год}$$

Елементи захисту та управління:

Система BMS (Battery Management System):

- Контролює напругу, струм і температуру кожного акумулятора.
- Запобігає глибокому розряду, перенапрузі або перегріву.

Запобіжники або автоматичні вимикачі:

- Для кожного акумулятора ставиться індивідуальний запобіжник, який захищає систему у разі виходу одного з елементів з ладу.

Кабелі:

- Використовуються кабелі з відповідним перерізом, щоб витримати загальний струм системи.

Для 800 А·год рекомендується переріз кабелів не менше 50–70 мм².

Схема підключення до інвертора:

З'єднання з інвертором:

- Загальний позитивний вихід (з паралельного з'єднання) підключається до входу інвертора.
- Те ж саме робиться із загальним негативним виходом.

Переваги такої схеми:

- Стабільна напруга для роботи інвертора (48 В).
- Збільшення ємності до 14,4 кВт·год, що забезпечує тривалий час автономної роботи.

Опис та характеристики акумулятора Kerworth LiFePO4 48V/100Ah (5100Wh):

Kerworth LiFePO4 48V/100Ah – це літій-залізо-фосфатний акумулятор, призначений для систем резервного живлення (ДБЖ), сонячних електростанцій та інших енергоємних систем. Завдяки своїм характеристикам він ідеально підходить для забезпечення стабільного та безпечного зберігання електроенергії.



Рисунок 2.16 – Вид АКБ Kerworth LiFePO4 48V/100Ah

Основні характеристики:

Тип хімії. Літій-залізо-фосфат (LiFePO4), відомий своєю стабільністю та довговічністю.

Напруга. Номінальна – 48 В.

Ємність. 100 А·год, що еквівалентно 5100 Вт·год (5,1 кВт·год) з урахуванням виробничого округлення.

Робочий цикл:

- Більше 2000–5000 циклів при глибині розряду до 80%.
- Висока тривалість служби, що перевищує 10 років при правильній експлуатації.

Глибина розряду (DoD).

Рекомендована 80%. Можливий розряд до 100%, але це знижує ресурс акумулятора.

Розмір та вага:

- Компактний корпус, зазвичай в металевій або жорсткій пластиковій оболонці.

- Вага близько 40–50 кг залежно від модифікації.

Ефективність. Енергоефективність заряду/розряду – до 96–98%.

Робочий температурний діапазон:

- Заряд: від 0°C до +45°C.
- Розряд: від -20°C до +60°C.

Безпека:

- Стійкий до перегріву, перенапруги, короткого замикання та механічних пошкоджень.

- Вбудована система управління батареями (BMS), яка контролює температуру, напругу та захищає від критичних ситуацій.

Особливості та переваги:

Безпека. LiFePO₄ – найстабільніший хімічний склад серед літєвих акумуляторів. Немає ризику вибуху або займання при нормальній експлуатації.

Довговічність. Значно перевищує термін служби свинцево-кислотних акумуляторів. Висока кількість циклів без суттєвої втрати ємності.

Екологічність. Не містить важких металів (кадмію, свинцю) та токсичних компонентів.

Велика енергоємність. Забезпечує більше енергії на одиницю ваги у порівнянні зі свинцево-кислотними акумуляторами.

Сумісність. Підходить для використання з сучасними інверторами та системами управління енергією.

Призначення:

Системи безперебійного живлення (ДБЖ): Для офісів, серверних, медичного обладнання.

Сонячні електростанції: Використовується для акумулявання енергії та забезпечення автономності.

Електротранспорт: Живлення електромобілів, електроскутерів тощо.

Резервне живлення: Забезпечує електроенергію в разі аварійних відключень мережі.

Таблиця 2.3 - Порівняння з іншими акумуляторами:

Параметр	Керworth LiFePO4	Свинцево- кислотні (AGM/Gel)	Літій-іонні (Li-ion)
Щільність енергії	120–160 Вт·год/кг	30–50 Вт·год/кг	150–200 Вт·год/кг
Кількість циклів	2000–5000	300–500	500–2000
Глибина розряду	До 100%	50–70%	80–90%
Вага	Легший	Важчий	Найлегший
Ціна	Вища	Низька	Найвища

Рекомендації з експлуатації:

Захист батареї: Використовується систему управління батареями (BMS) для уникнення перевантажень.

Температурний режим: Не перевищуйте рекомендовані температури для заряду та розряду.

Обслуговування: LiFePO₄ не потребують регулярного обслуговування, як свинцево-кислотні батареї.

2.8 Розрахунок та вибір апаратів захисту та допоміжного обладнання для СЕС

Допоміжне обладнання забезпечує ефективну, безпечну та надійну роботу системи сонячної електростанції (СЕС).

Автоматичні вимикачі

Призначення: Захищають систему від перевантаження та коротких замикань. У разі аварійного збільшення струму або напруги автоматичний вимикач відключає ділянку системи, запобігаючи пошкодженню інвертора, акумулятора або фотопанелей.

Для захисту інвертора, акумулятора та фотопанелей від перевантаження та короткого замикання обираються автоматичні вимикачі. З урахуванням характеристик інвертора (48 В, 8600 Вт) розрахунковий струм визначається за формулою:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{8600}{48} \approx 179\text{А} \quad (2.2)$$

Необхідно обрати автоматичний вимикач постійного струму на 200 А з характеристикою С або D для захисту інвертора.

Запобіжники

Призначення: Захищають окремі компоненти, як-от акумуляторні блоки, від струмів, що перевищують допустимі значення. Одноразово відключають пошкоджену ділянку, забезпечуючи безпеку інших елементів.

Для захисту акумуляторної системи встановлюються запобіжники, розраховані на 150% максимального струму акумулятора. Для батареї типу Kerworth LiFePO₄ (48 В, 100 А) підійдуть запобіжники на 150 А.

Реле захисту

Призначення: Моніторять параметри системи, такі як напруга, струм, температура. Автоматично вимикають обладнання, якщо показники виходять за допустимі межі (наприклад, перенапруга або низька напруга в акумуляторі).

Для моніторингу напруги та струму в системі доцільно встановити багатофункціональне реле захисту, яке відключатиме систему при перевищенні заданих параметрів.

Кабелі

Призначення: Передають електроенергію між компонентами системи (фотопанелі → інвертор → акумулятор → споживач).

Забезпечують ефективну передачу струму з мінімальними втратами енергії. Використання спеціалізованих кабелів з подвійною ізоляцією захищає від механічних пошкоджень, перегріву та ультрафіолетового випромінювання. Допомагають уникати коротких замикань та займань.

Вибір з'єднувальних кабелів базується на номінальному струмі та допустимому падінні напруги. Для системи розрахунок виконується так:

Кабелі між фотопанелями та інвертором:

Потужність кожної панелі: 600 Вт.

Напруга системи (за стандартом): 48 В.

Струм панелі:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{600}{48} \approx 12,5\text{А} \quad (2.3)$$

Враховуючи довжину кабелів та умови експлуатації, слід обрати кабелі перерізом 4 мм² для кожної панелі, що забезпечить мінімальне падіння напруги.

Кабелі між акумуляторами та інвертором:

Максимальний струм: 179 А.

Рекомендований переріз для силових кабелів на такому струмі – 50 мм².

Кабелі мають бути мідними з подвійною ізоляцією, стійкою до ультрафіолету та температурних впливів, особливо для зовнішнього використання.

Розподільчі щити

Призначення: Організують зручне підключення та управління компонентами СЕС. Упорядковують з'єднання кабелів. Містять апарати захисту та контролю (автоматичні вимикачі, реле, запобіжники). Полегшують обслуговування системи.

Контролери заряду

Призначення: Регулюють заряд акумуляторів від фотопанелей. Запобігають перезаряду або глибокому розряду акумуляторів. Оптимізують тривалість роботи акумуляторної системи.

Інше допоміжне обладнання:

- Клеми та роз'єми. Забезпечують надійне і безпечне з'єднання кабелів.
- Ізоляційні матеріали. Захищають від коротких замикань і механічних пошкоджень.
- Сенсори та моніторингова система. Відстежують ефективність роботи системи в режимі реального часу.

2.9 Заземлення та блискавкозахист у системах сонячної електростанції (СЕС)

Ефективне заземлення та блискавкозахист є критично важливими компонентами СЕС, адже вони забезпечують безпеку, надійність і

довговічність роботи системи, а також захищають користувачів і обладнання від негативних наслідків електричних перевантажень чи ударів блискавки.

ЗАЗЕМЛЕННЯ

Заземлення в СЕС використовується для відведення небезпечних струмів у землю. Воно виконує декілька важливих функцій:

Основні функції заземлення:

Захист обладнання: У разі пробією ізоляції або замикання на корпус струм відводиться у землю, запобігаючи пошкодженню обладнання.

Безпека користувачів: Запобігає ураженню електричним струмом у разі контакту з обладнанням, яке опинилося під напругою.

Захист від перенапруги: Допомогає знизити електричні перенапруги, спричинені ударами блискавки або аваріями в мережі.

Зниження статичної електрики: Заземлення видаляє накопичену статичну електрику, що може виникати внаслідок погодних умов чи тертя.

Основні елементи системи заземлення:

Заземлювальний контур:

- Складається з металевих електродів (зазвичай сталевих з мідним покриттям), які закопуються в землю.

- Контур може бути горизонтальним (дроти в землі) або вертикальним (металеві стержні).

Заземлювальні провідники:

- З'єднують обладнання (інвертори, панелі, металеві конструкції) із заземлювальним контуром.

- Виконуються з міді або сталі з ізоляцією, стійкою до корозії.

Шина заземлення:

- Центральний вузол для підключення всіх заземлювальних провідників.

Вимоги до заземлення

Опір заземлення: Не повинен перевищувати 4 Ом для забезпечення ефективного відведення струму.

Матеріали: Всі заземлювальні елементи мають бути антикорозійними та довговічними.

Розташування: Контур заземлення розташовується подалі від місць, де можуть знаходитися люди, щоб уникнути впливу потенційного розтікання струму.

Заземлення в СЕС

Фотопанелі: Заземлюються їхні металеві рами, щоб уникнути накопичення статичної електрики.

Інвертори: Заземлення захищає електроніку від перенапруг і пробую.

Кріплення панелей: Заземлення всієї конструкції захищає її від електричного пробую чи статичної електрики.

БЛИСКАВКОЗАХИСТ

Блискавкозахист забезпечує захист СЕС і будівлі від пошкоджень, спричинених прямим ударом блискавки або вторинними ефектами, такими як електромагнітні імпульси.

Основні функції блискавкозахисту:

- Захист обладнання від фізичних пошкоджень і перегріву.
- Захист від пожежі, яка може виникнути через іскри або нагрівання від блискавки.
- Зниження ризику виходу з ладу чутливих електронних компонентів, як-от інвертори чи акумулятори.

Основні компоненти системи блискавкозахисту:

- Громовідвід (захисний штир). Уловлює удар блискавки. Зазвичай встановлюється на найвищій точці будівлі або поруч із панелями.
- Стумовідвід. Металевий провідник, який відводить струм від громовідводу до заземлювального контуру. Використовуються товсті мідні або алюмінієві дроти.
- Заземлювальний контур блискавкозахисту. Відводить струм блискавки у землю, мінімізуючи ризик перенапруги для обладнання.

Типи блискавкозахисту:

- Зовнішній блискавкозахист. Встановлюється зовні будівлі для перехоплення прямих ударів блискавки. Складається з громовідводів, струмовідводів і заземлення.

- Внутрішній блискавкозахист. Захищає електричні ланцюги та обладнання від перенапруги. Включає пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП), які встановлюються на вході інвертора та біля споживачів. Особливості блискавкозахисту для СЕС:

Фотопанелі. Уразливі через розташування на даху, тому обов'язково мають бути інтегровані в систему блискавкозахисту.

Інвертор і акумулятори. Чутливі до імпульсних перенапруг, які можуть виникнути навіть без прямого удару блискавки.

Заземлення та блискавкозахист — це ключові системи безпеки в СЕС, що:

- Гарантують надійну роботу обладнання.
- Захищають від пожеж і пошкоджень.
- Забезпечують безпеку людей.

Ігнорування цих систем може призвести до значних матеріальних втрат і ризику для життя користувачів.

2.10 Системи кріплення сонячних панелей: види, особливості та рекомендації

Системи кріплення є важливим елементом при встановленні сонячних панелей, оскільки вони забезпечують надійність конструкції, оптимальний кут нахилу для максимальної продуктивності та стійкість до погодних умов. Вибір

системи кріплення залежить від типу даху, місця встановлення, кліматичних умов і конструктивних особливостей панелей.

Призначення систем кріплення:

- Забезпечення надійного кріплення панелей на різних поверхнях.
- Створення оптимального кута нахилу для максимального поглинання сонячного випромінювання.
- Захист від механічних пошкоджень і несприятливих погодних умов (вітер, сніг, дощ).
- Полегшення монтажу та обслуговування панелей.
- Зменшення ризику корозії та механічного зносу.

Основні види систем кріплення

Системи кріплення поділяються за типом поверхні, на якій встановлюються панелі, та за способом монтажу.

Системи кріплення для дахів:

Пласкі дахи. Для плоских дахів використовуються баластні або нахилені системи кріплення:

Баластні системи:

- Панелі встановлюються без проникнення у поверхню даху.
- Для стабільності конструкція обтяжується баластами (бетонні блоки або інші важкі матеріали).
- Знижують ризик пошкодження гідроізоляції.

Регульовані системи з нахилом:

- Дозволяють налаштувати кут нахилу (зазвичай 15–30°) для кращого поглинання сонячної енергії.
- Використовуються у регіонах із низькою широтою або недостатньо високим сонячним горизонтом.

Скатні дахи. На скатних дахах використовуються кріплення з проникненням у покрівлю або без нього:

Кріплення з проникненням:

- Панелі монтуються до основи даху через спеціальні кронштейни.

- Використовуються для черепичних, шиферних та металевих дахів.

Без проникнення:

- Панелі кріпляться на спеціальних рейках, які затискаються до покрівлі.
- Часто застосовуються для металочерепиці чи профнастилу.

Системи для ґрунтових конструкцій

Стаціонарні системи:

- Панелі монтується на металеві або алюмінієві рами, які фіксуються у ґрунті за допомогою бетонних фундаментів або забивних опор.
- Використовуються для великих сонячних станцій.

Трекерні системи:

- Оснащені механізмом, який слідкує за рухом сонця.
- Забезпечують до 25% більшу ефективність порівняно зі стаціонарними системами, але коштують дорожче.

Мобільні системи:

- Переміщувані конструкції для тимчасових установок (наприклад, на фермах чи будівельних майданчиках).

Інтегровані системи:

Фасадні системи:

- Панелі встановлюються вертикально на стіни будівлі.
- Естетичний вигляд і додаткова функція захисту стін від атмосферних впливів.

Інтеграція в покрівлю:

- Панелі стають частиною покрівельного матеріалу, замінюючи черепицю чи шифер.
- Естетично привабливий варіант для новобудов.

Матеріали для систем кріплення

Алюміній:

- Легкий, корозійностійкий матеріал.
- Оптимальний для дахових і наземних систем.

Нержавіюча сталь:

- Дуже міцна, підходить для регіонів із сильними вітрами чи сніговим навантаженням.
- Використовується для стаціонарних і баластних конструкцій.

Оцинкована сталь:

- Бюджетний варіант із захистом від корозії.
- Застосовується у великих комерційних установках.

Вибір оптимального кута нахилу

Північна півкуля - панелі орієнтуються на південь.

Кут нахилу:

- Оптимальний для максимальної продуктивності визначається як широта місцевості $\pm 15^\circ$.
- Наприклад, якщо широта 50° , оптимальний кут становить $35-50^\circ$.

Регулювання нахилу:

- У деяких конструкціях передбачено сезонне коригування кута для підвищення ефективності.

Монтажні аксесуари:

- Рейки та профілі. Основа для закріплення панелей.
- Кронштейни. Елементи для кріплення до поверхні (дах, стіна, ґрунт).
- Затискачі. Забезпечують фіксацію панелей на рейках.
- Герметизуючі елементи. Захищають місця проникнення від протікання.
- Заземлювальні аксесуари. Спеціальні компоненти для інтеграції панелей у заземлювальну систему.

Вимоги до систем кріплення

Міцність: Має витримувати максимальне навантаження вітру та снігу (розраховується за місцевими кліматичними умовами).

Стійкість до корозії: Усі елементи мають бути захищені від атмосферного впливу.

Естетика: Особливо важлива для житлових будинків.

Легкість монтажу: Конструкції повинні бути зручними для установки.

Нормативні вимоги:

Дотримання місцевих будівельних норм і правил (ДБН, ДСТУ).

Розрахунки навантажень мають виконуватися згідно з нормативами для конкретного регіону (наприклад, вітрові та снігові навантаження).

Сертифікація матеріалів для використання у відповідних кліматичних умовах.

Переваги правильно підібраної системи кріплення

- Забезпечує максимальну продуктивність панелей.
- Гарантує тривалу експлуатацію без частих ремонтів.
- Захищає від пошкоджень через погодні умови.
- Підвищує естетичність і функціональність установки.

Система кріплення — це ключовий компонент для успішної реалізації проєкту СЕС. Її вибір має враховувати конструктивні особливості будівлі, кліматичні умови та вимоги до ефективності. Використання якісних матеріалів і професійний монтаж забезпечують довговічність і безпечність системи.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Вплив небезпечних і шкідливих факторів на людину в період використання обладнання сонячної станції

Основним небезпечним та шкідливим фактором при роботі з електричними приладами в нашому випадку це прилади, які використовувалися для фотоелектричної станції безумовно є струм, який проходить через всі можливі струмопровідні частини обладнання.

Охорона праці – це система збереження життя та здоров'я працівників під час трудової діяльності. Адже саме завдяки дотримання звичайних правил техніки безпеки можливо скоротити випадки виробничого травматизму на 80-90%, сама такий відсоток травм виникає через недотримання техніки безпеки безпосередньо на робочому місці.

Електробезпека – це система основних організаційних та технічних заходів, які захищають людину від небезпечної дії електричного струму, дуги, поля, а також від статичної електрики. Вона показує практичний та теоретичний рівень готовності персоналу до проведення робіт. Так як допуск неознайомленого персоналу до електричних установок, має немалі ризики.

Групи допуску з електробезпеки:

- I група – надається кожному з персоналу, котрий в період робочого часу на установі має справу із електроприладами та будь-якою електричною технікою.

Надається працівнику після прослуховування на підприємстві інструктажу з техніки безпеки. Після проходження інструктажу працівник має обов'язково поставити підпис в журналі інструктажу I групи допуску.

- II група надається працівника, які безпосередньо працюють з електричним обладнанням. Але в них не має можливість самостійного підключення електрообладнання в мережу.

- III група дає змогу працівнику виконувати різні види робіт з електрообладнанням, проводити обслуговування та первинний огляд електрообладнання та бути керівниками певних робіт, які стосуються електричних установок до 1000 В і слідкувати за їх виконанням.
- IV група надається керівникам з великим професійним стажем(начальнику підрозділу, бригадиру, головному енергетику), надає змогу працювати з установками понад 1000 В.
- V група надається працівникам, які можуть працювати з потужними електричними установками, також мають змогу випробовувати електрообладнання на підвищених напругах.

Електроустановки – це все обладнання яке включає в себе(машини та апарати, лінії електропередач і все допоміжне обладнання разом із спорудою та приміщенням в якому розміщенні електроустановки), яке призначене для:

- Виробітку електричної енергії.
- Передавання електричної енергії.
- Трансформації електричної енергії.
- Перетворення і розподілу електроенергії в інші її види.

Причини потрапляння людей під напругу:

1) Безпосередній дотик до неізовльованих струмовідних частин електричних установок, які знаходяться під напругою також дотик до ізовльованих частин з пошкодженою ізоляцією.

2) Дотик до металічних частин конструкції, які опинилися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

3) Ураження напругою кроку.

4) Дія електричної дуги.

Наслідками дії електричного струму є наступні чинники:

- 1) Чинники, що мають електричний характер:
- Напруга
 - Сила струму

- Опір людського тіла
- Вид та частота струму

2) Чинники неелектричного характеру:

- Час дії струмом
- Проходження струму через людське тіло
- Індивідуальні особливості

2) Чинники виробничого характеру:

- Включення людини в електромережу
- Умови зовнішнього середовища

Сила струму є основним чинником ураження людини. Різна величина струму спричиняє вплив, різного ступеня на організм людини.

Основні види порогового значення сили струму на організм людини:

- Відчутний пороговий струм – величина значення найменшої сили струму, проходячи через тіло людини викликає відчутні подразнення шкіри.
- Пороговий невідпускаючий струм – величина найменшого струму при якому не можливе самостійне звільнення людини від струму через виникнення судомних скорочень м'язів.
- Пороговий фібриляційний струм – величина найменшого струму при якому він проходить скрізь людське тіло і викликає фібриляцію серця, що є смертельно небезпечним.

В таблиці 3.1 вказані значення змінного та постійного струму та їх вплив на організм людини, який розшифровується вище.

Таблиця 3.1 – Значення постійного та змінного струму та типи ураження людини

Вид струму	Відчутний пороговий струм, мА	Пороговий невідпускачий струм, мА	Пороговий фібриляційний струм, мА	Смертельно небезпечний струм, мА
Змінний струм частотою	0,5 – 1,5	6 – 10	80 – 100	50
50 Гц Постійний струм	5 – 7	50 – 80	300	50

Миттєву зупинку серця викликає струм більше 5 А. Під час нормальному режимі роботи установки струм, що проходить через тіло людини не має перевищувати 0,3 мА для значення змінного струму і 1 мА для постійного струму.

За ступенем можливої небезпеки приміщення поділяються на:

1) Приміщення підвищеного рівня небезпеки мають такі ознаки:

- Відносна вологість перевищує показник 75% впродовж тривалого часу.
- Впродовж тривалого часу в приміщенні показники температури перевищують 35 °С.
- Струмopрoвіднa підлога виготовлена з металу, залізобетону, цегли, тощо.
- Можливе опинення під напругою певних елементів електричного обладнання. Наприклад, певних металевих елементів, металевого корпусу, тощо.

2) Приміщення, що є особливо небезпечними мають ознаки:

- Відносна вологість повітря знаходиться близько 100%.
- Наявність хімічно активного середовища в приміщенні.
- Виникнення двох і більше умов, які можуть викликати підвищену небезпеку.

2) Приміщення без підвищеної небезпеки – це приміщення в яких відсутні всі ознаки, які зустрічаються в приміщеннях з різними рівнями небезпеки.

Можливі схеми включення в електричну мережу людини:

- Дотик людини до нульового проводу. При даному дотику струм не буде проходити через людину, тобто $I_{л}=0$.
- Дотик людини до фазного проводу. Струм, що буде протікати через людину буде безпосередньо залежати від опору людини (R) і від опору, що залежить від умов зовнішнього середовища(r) (чим безпечніше середовище, тим більше опір). Отже, струм людини визначається за формулою $I_{л}=U/R+r$.
- Дотик людини до нульового та фазного проводу одночасно. В даному випадку через тіло людини буде протікати максимально можливий струм і також буде прикладена вся можлива напруга $I_{л}=U/R$. Отже схема одночасного дотику до нульового і фазного проводу вважається дуже небезпечно.

Основні методи та засоби захисту від дії електричного струму:

- Захисне заземлення – це з'єднання металевих струмопровідних частин електричної установки з землею.
- Занулення – це з'єднання металевих частин електричного обладнання з нульовим проводом.
- Захисне відімкнення – це захист в якому при небезпеці ураження струмом працівника, відбувається автоматичне вимикання електричної установки.

- Захисна ізоляція – це захист, який захищає від дотику людини до частин, які знаходяться під напругою. Ізоляційний опір електричного устаткування повинен бути 2,5 МОм, а освітлювальних проводів – вище 0,5 МОм.
- Огороджувальні пристрої.
- Блокування – знімає напруга із частин електричної установки по яким протікає струм під час роботи з ними без знімання напруги.
- Засоби захисту індивідуального використання – це засоби, які використовуються при обслуговуванні електричного устаткування (діелектричне взуття, захисні рукавиці, захисні окуляри та каски діелектричні килими, ізолюючі підставки, ізолюючі накладки).

Техніка безпеки під час роботи з фотоелектричними модулями:

Під час установки і монтажу фотоелектричних модулів необхідні високий рівень технічних знань та підготовки з охорони праці. В фотоелектричних модулях відбувається генерація постійного струму під час потрапляння на них сонячного світла. Виходячи з цього, можливе виникнення електричної дуги під час непередбаченого вимкнення провідника постійного струму від контролера, який розташований в даному електричному ланцюгу.

Під час виконання робіт над фотоелектричними модулями потрібно виконувати декілька основних правил:

- Ніколи не вимикати фотоелектричні модулі під навантаженням.
- Контакти і проводи мають бути в робочому стані, не бути вологими та забрудненими.

Під час роботи з фотоелектричними модулями, яка і з іншим електричним обладнанням є небезпека ураження електричним струмом. Так яка напруга на сонячних панелях виникає при мінімальному освітленні, необхідно використовувати автоматичні вимикачі та запобіжники для того, щоб безпечно вимкнути панелі з мережі.

До пошкодження модулів може також призвести неправильне підключення елементів і недотримання полярності. Для запобігання травм при монтажі і пошкодження обладнання, забороняється встановлення фотоелектричних модулів під час сильних поривів вітру. Перед встановленням сонячних панелей необхідно провести етап перевірки впливу погодних умов та механічного навантаження на них. Фотоелектричні модулі мають бути заземлені згідно з правилами безпеки для того щоб знизити ризик враження струмом або пожежу.

3.2 Пожежна безпека

Пожежа – це невідконтрольне горіння, що розповсюджується по всій території, яка не призначена для розпалу вогню.

Для виникнення пожежі необхідно мати 3 основних чинники, що її викликають: наявність горючої речовини в будь-якому її види; наявність кисню; наявність відкритого вогню або мінімальної іскри.

Пожежі в залежності від горіння різних типів речовин поділяють на відповідні класи:

- Клас А – викликане горінням речовин, які перебувають в твердому агрегатному стані, даний процес супроводжується їх тлінням
- Клас В – викликають речовини, які знаходяться у рідкому стані, вода не є розчинником цих речовин.
- Клас С – викликане горінням різного типу газів.
- Клас Д – горіння легких металів, але не включаючи лужні та метеловмістні сполуки.
- Клас Е – викликане горіння електричних установок, які безпосередньо знаходяться під напругою.

Для простішої оцінки рівня пожежної небезпеки, приміщення поділяють за критеріями небезпеки споруди – це спосіб класифікувати характеристики небезпеки приміщення за кількістю знаходження вибухонебезпечних речовин. По категорії вибухонебезпеки приміщення можна поділити на 5 категорій.

До вибухонебезпечної категорії А можна віднести такі речовини, як горючі гази та речовини температура спалаху яких не вище 28 °С. Також до цієї категорії можна віднести речовини мають схильність до вибуху при взаємодії з водою, повітрям або між собою.

Категорія Б являється вибухо- і пожежонебезпечною до неї можна віднести такі речовини як вибухонебезпечний пил і категорія легкозаймистих речовин температура спалаху яких може бути вище 28 °С.

До пожежонебезпечної категорії В можна віднести горючі речовини, які можуть перебувати у рідкому та твердому агрегатних станах, а також речовини, які мають невеликий ступінь займання, мають здатність агресивної взаємодії в водою, повітрям та одне з одним.

Категорія В включає в себе певну ланку негорючих речовин, які перебувають в розплавленому або гарячому стані, які можуть при нагріванні виділяти іскри або навіть полум'я. Також до цієї категорії можна віднести горючі гази та деякі тверді речовини, які мають змогу утилізації як палива.

До категорії Д в основному відносяться матеріали, які перебувають в холодному стані, а також негорючі речовини.

В період експлуатації фотоелектричних модулів основними чинниками створення пожежної небезпеки можуть бути: матеріали, які використовуються(ізолюючі матеріали різного призначення, лако-фарбове покриття деяких видів установок), а також струмове перенавантаження та можливі струми короткого замикання

В період експлуатації фотоелектричних модулів основними чинниками створення пожежної небезпеки можуть бути: матеріали, які використовуються (ізолюючі матеріали різного призначення, лако-фарбове покриття деяких видів установок), а також струмове перенавантаження та можливі струми короткого замикання.

3.3 Оцінка впливів фотоелектричних станцій на навколишнє середовище

Оцінка впливів на мікроклімат та клімат:

Діяльність виробництво фотоелектричної станції не буде мати вплив на мікроклімат та клімат навколишнього середовища.

Оцінка впливів на середовище повітря:

В період експлуатації фотоелектричної станції відсутні можливі джерела викидів в повітря. Але можливий вплив може спричинити, який можливий саме при будівництві станції, забруднюючим чинником в даному випадку виступає будівельна техніка та викиди пилу в повітря.

Оцінка впливів на водне середовище:

Діяльність фотоелектричної станції не впливає на гідрологічні та гідрогеологічні параметри водних об'єктів. Тому що фотоелектрична станція розміщена на даху гуртожитку, відсутні виробничі та побутові стічні води, що не дає можливість забрудненню підземних та відкритих водойм.

Оцінка впливів на ґрунт:

Істотний вплив на ґрунт відбувається через викопування траншеї за для прокладення кабельної лінії до ТП (трансформаторної підстанції).

Загальні висновки:

В даному розділі проведено аналіз можливих небезпечних факторів, які можуть створювати небезпеку для людини, а також були розглянуті методи по забезпеченню умов праці для людини.

Висновки

У магістерській роботі розглянуто проектування сонячної електростанції для забезпечення безперебійного електропостачання комунального навантаження багатоповерхового житлового будинку, розташованого за адресою: вул. Панянка, 65Б у м. Полтава.

Актуальність теми зумовлена:

- Забезпеченням роботи ліфтових установок, аварійного освітлення, інтернет-мереж і домофонів під час графіків відключення електроенергії.
- Зниженням витрат на електроенергію для комунальних потреб ОСББ через генерацію сонячної енергії.
- Реалізацією економічно вигідного проекту через державний «Фонд Енергоефективності» та програму «ГрінДІМ».

Результати дослідження:

- Розроблено технічну документацію для впровадження СЕС відповідно до вимог Програми.
- Виконано вибір і розрахунок кількості сонячних панелей, інверторів і акумуляторів для покрівлі будинку.
- Показано технічну доцільність моніторингу параметрів станції для оптимізації її роботи.
- Проведено економічний аналіз, який підтвердив вигідність і окупність проекту.

Результати роботи свідчать про доцільність впровадження проекту як з економічної, так і з екологічної точок зору. Це дозволяє зменшити витрати мешканців на комунальні послуги, забезпечити енергонезалежність будинку та підвищити комфорт проживання.

Список використаних джерел

- 1) Сонячна енергетика в Україні - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com>.
- 2) Ціна сонячної енергії в Україні. Цікаві факти: її використання та вплив на землю - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://kssolar.com.ua>.
- 3) Енергія сонця - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.sae.gov.ua>.
- 4) Сонячна енергетика - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://eenergy.com.ua>.
- 5) Потенціал розвитку сонячної енергетики в Україні - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://ekotechnik.ua>.
- 6) Що таке сонячна енергетика і чи потрібна вона Україні - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua>.
- 7) Сонячні електростанції - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://rent techno.ua/ua>.
- 8) Що таке сонячні електростанції та де їх будують - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://greentechtrade.com.ua>.
- 9) Сонячні батареї - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://pidruchniki.com>.
- 10) Сонце – як джерело енергії - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://alternative-energy.com.ua>.
- 11) Сонячні батареї, як альтернативне джерело енергії - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://vesti.dp.ua>.
- 12) Характеристики солнечных батарей - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://electricvdome.ru>.
- 13) Види і характеристики сонячних батарей – детальний розбір - [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://greentechtrade.com.ua>.

- 14) Солнечные батареи: характеристики и особенности использования - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://stroy-podskazka.ru>.
- 15) Характеристики солнечных батарей - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <http://elektrik.info>.
- 16) Корисна інформація (статті) по сонячній енергетиці - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://sun-energy.com.ua>.
- 17) Сонячна енергетика - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://pidruchniki.com>.
- 18) Обзор контроллеров (аппаратной платформы) Arduino - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://supereyes.ru>.
- 19) Что такое платформа Ардуино и для чего она нужна - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <http://electricalschool.info>.
- 20) Arduino для новичков: использование контроллера - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://arduinoplus.ru>.
- 21) ARDUINO PLATFORM - DIFFERENTIAL GAP CONTROL (SOLAR TRACKER) - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://www.dave-auld.net>.
- 22) Система ориентирования на Солнце - [Электронный ресурс] - Режим доступа до ресурсу: <https://blog.avislab.com>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

1. ANALYSIS OF INFORMATION ON THE DESIGN AND USE OF SES

1.1 Methods using solar energy.

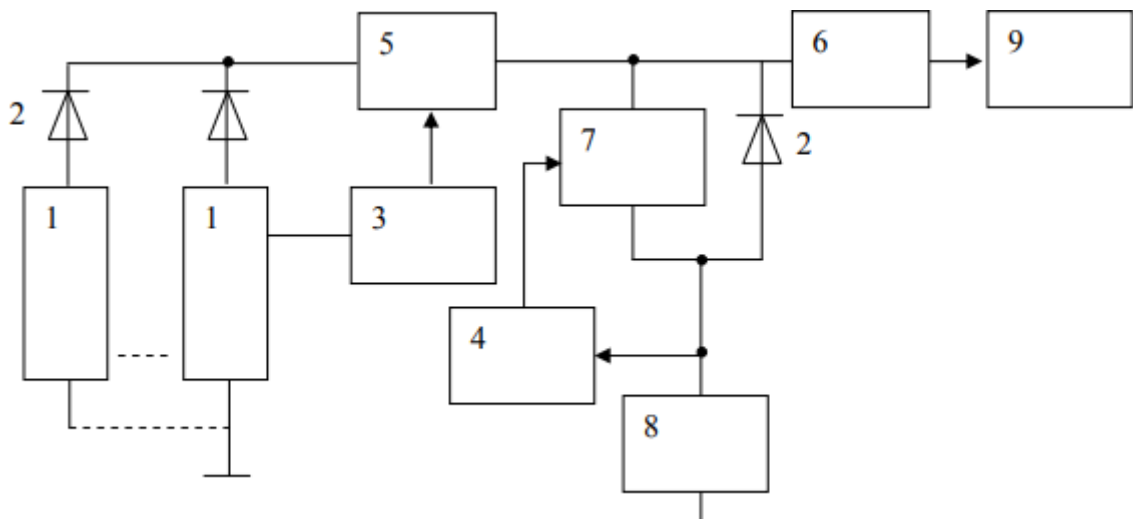
Solar power plants (SPPs) are conventionally divided into two main types: thermodynamic and photovoltaic.

Thermodynamic solar power plants operate on the principle of heating a coolant using solar radiation, which is focused using special optical systems. The resulting thermal energy is converted first into mechanical energy, and then into electrical energy.

Photovoltaic solar power plants are based on the phenomenon of direct conversion of solar radiation into electrical energy, which was discovered in 1839 by the French physicist Becquerel [3]. The main elements of such stations are silicon semiconductor photodiodes. When light is absorbed by the semiconductor material, the photons transfer their energy to electrons, which causes the formation of free charge carriers. These carriers create a potential gradient in the transition zone, causing an electric current through the electroreceptors .

The typical voltage across a single photovoltaic cell is about 0.5 V, and the photocurrent density reaches 200 A/m² at a solar radiation intensity of 1 kW/m².

Figure 1.1. Structural diagram of a photovoltaic power plant :



- 1 - solar panels;
- 2 - diodes;
- 3 - peak power controller;
- 4 - charging current controller;
- 5 - switch;
- 6 - stand-alone inverter;
- 7 - charger;
- 8 - battery;
- 9 - load.

A photovoltaic station consists of several main elements, the main ones being a solar panel (photoconverter), a battery with a charger, a stand-alone inverter for converting direct voltage into alternating voltage of standard frequency, and additional auxiliary components. The figure shows a block diagram of such a system.

Working principle:

- Solar panels (1) produce electricity, the amount of which depends on from the intensity of solar radiation.
- The peak power controller (3) adjusts the electricity generation to the maximum possible power for the current conditions.
- A switching device (5) connects the panels to an inverter (6), which supplies alternating current to the load (9).
- Excess energy not used to power the load is stored in the battery (8) via the charger (7).

In the absence of sunlight, the system switches to battery power.

Defense mechanisms:

- Diodes (2) in the solar panel circuit prevent the battery from being discharged through the panels during the dark.
- A diode in the battery circuit protects it from overvoltage and overcharging.

This system provides stable power supply to the load regardless of lighting conditions.

1.2 Structure photo panels

Solar panels consist of several photovoltaic modules, which are connected in series-parallel to achieve the required power and voltage. Each module includes several photovoltaic cells (solar cells), which are the main working elements. Typically, the power of one cell is about 1 W, and its size is a few square millimeters. Most modern photovoltaic cells are made of silicon semiconductor photodiodes. When light strikes the semiconductor structure, the energy of the photons is transferred to electrons, which leads to the formation of free charge carriers (electrons and holes). These carriers, separated by a pn junction, create a potential gradient that generates an electric current when an external electrical circuit is connected.

Factors affecting the characteristics of photovoltaic cells:

Intensity of solar illumination. The dependence of the current-voltage characteristic of the module on the level of illumination is presented in Figure 1.2. With a decrease in the intensity of solar radiation, the current-voltage characteristic shifts downward, which indicates a significant decrease in the short-circuit current. The open-circuit voltage decreases slightly.

Load magnitude. Load parameters affect the operating point of the module, which is determined by the intersection of the voltage-current characteristic of the module and the load.

Operating temperature. As temperature increases, the power of photovoltaic cells decreases, requiring additional adjustment of system parameters to maintain stable operation.

Thus, the efficiency of solar panels depends on lighting, temperature, and load conditions, which should be taken into account during their design and operation.

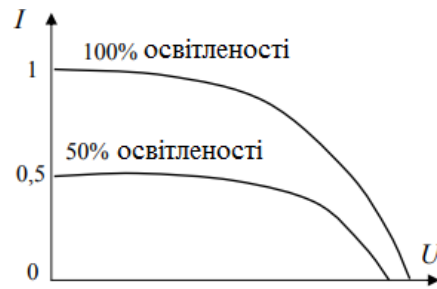


Figure 1.2 - Volt-ampere characteristics of the module at different intensities solar radiation.

As the intensity of solar radiation decreases, the current-voltage characteristic of the photovoltaic cell shifts downward. This indicates a significant decrease in the short-circuit current, while the open-circuit voltage changes only slightly.

The influence of the angle of incidence of rays on the intensity of irradiation: The angle of incidence of sunlight (Q), subtracted from the normal to the receiving surface of the panel, is an important factor affecting the intensity of irradiation of a photovoltaic panel. The dependence of the load current (I) on the angle Q is described by the formula:

$$I = I_0 * \cos Q \quad (1.1)$$

where I_0 is the maximum current under the condition of perpendicular incidence of sunlight.

This relationship, known as the Kelly cosine, is accurate for angles Q between 0° and 50° . As the angle of incidence increases beyond this range, the panel's output characteristics begin to deviate from this model. As the angle increases to $Q = 85^\circ$ electricity generation virtually ceases.

Dependence of efficiency on solar radiation intensity :

The efficiency of the photoconverter depends little on the intensity of solar radiation in the operating range. Figure 1.3 graphically shows that within the solar radiation intensity range of $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$, the photoconversion efficiency changes slightly.

Thus, the reduction in the power of a photovoltaic module on a cloudy day is mainly due to the reduction in solar radiation reaching the receiving surface. In light cloudiness, a solar panel can produce up to 80% of its maximum power, while in cloudy weather this figure drops to 30%.

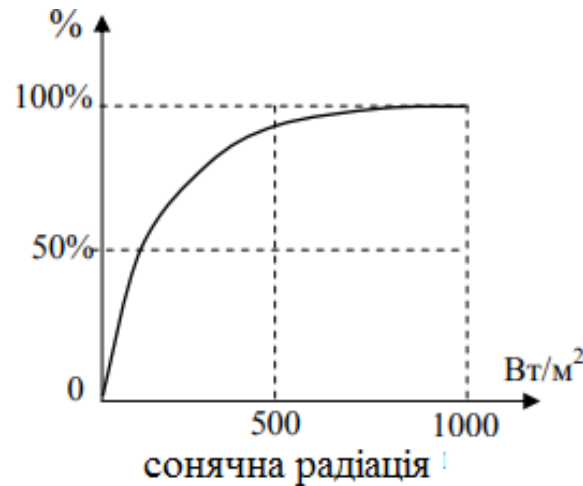


Figure 1.3. Dependence of photoconversion efficiency on intensity solar radiation.

The impact of weather conditions and shading on the performance of solar panels. Analysis of the graph shows that in the range of solar radiation intensity of 800–1000 W/m², the photoconversion efficiency remains almost unchanged. Therefore, the decrease in the power of the photovoltaic module on a cloudy day is primarily due to the lack of solar energy reaching the receiving surface.

Cloud conditions:

- In light cloud cover, the solar panel can provide up to 80% of maximum power.
- In cloudy weather, power is reduced to approximately 30% due to limited access to light.

Shadow effect:

For large solar panels consisting of many series-parallel connected cells, special attention should be paid to the shadow effect.

The action of the shadow effect:

If one of the cells in a series circuit is completely shaded, it ceases to be a source of energy and becomes a consumer. This causes:

- Current flow through the shaded cell from the illuminated cells.

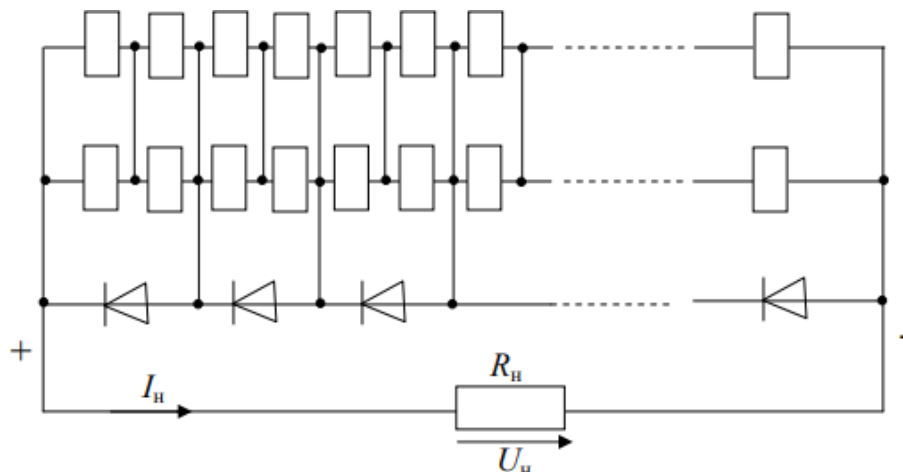
- Heat energy is released due to the internal resistance of the shaded cell, which reduces the efficiency of the entire panel.
- Solution to minimize shadowing: To reduce the losses caused by shadowing, the series circuit of modules is divided into short sections using bypass diodes. This scheme is shown in Figure 1.4. The use of diodes avoids a significant reduction in the total power even in the case of partial shading.

Effect of temperature on power :

Figure 1.5 shows the dependence of the power of a solar module on temperature. As the temperature increases, the power generated by the module decreases, since an increase in temperature negatively affects the efficiency of semiconductor materials.

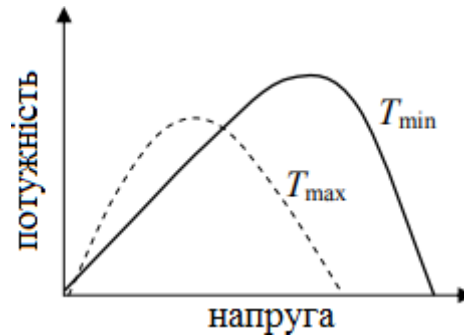
Ensuring stable operation of solar panels requires taking into account:

- Lighting conditions, including radiation intensity and angles of incidence of rays.
- Shadow effect and its compensation using bypass diodes.
- Temperature conditions that affect the energy efficiency of modules.



Drawing 1.4 – Scheme inclusion bypass diodes.

On Figure 1.5 is shown influence temperatures on power photovoltaic modules .



Drawing 1.5 – Dependence powerful characteristics from temperatures

The effect of temperature and load on the operation of solar panels :

The power generated by a solar module increases at lower temperatures. However, the voltage corresponding to the maximum power varies depending on the temperature. To ensure stable operation of the system, photovoltaic plants are equipped with **a voltage regulator** that allows them to adapt to changes in these parameters.

Definition of the operating point :

The amount of load connected to a solar panel significantly affects the amount of power that can be extracted from the module.

- The operating point of a panel is defined as the intersection point of its voltage-current characteristic with the load characteristic.
- Similarly, the operating point can be found as the intersection point of the power characteristics of the photoconverter and the load.

Figure 1.6 shows the current-voltage and energy characteristics of photovoltaic systems, which demonstrate the dependence of power on system parameters. Maximum power is achieved at a certain value of the load resistance.

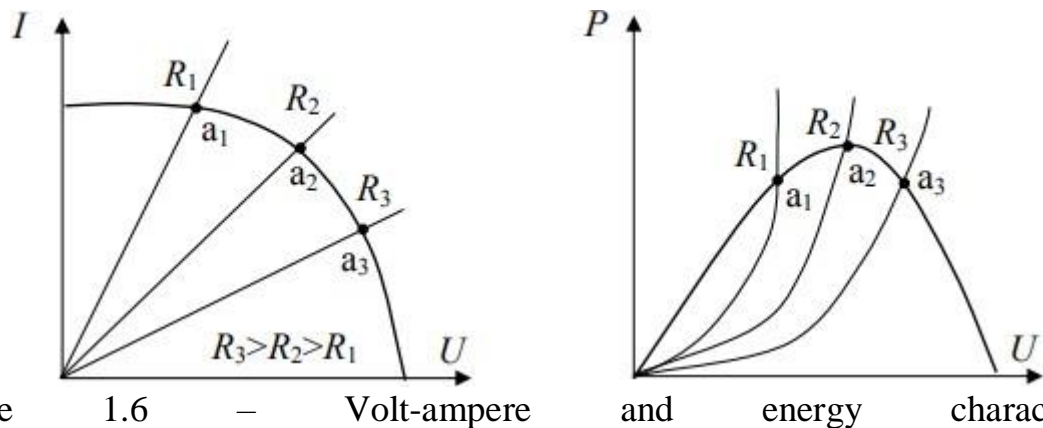


Figure 1.6 – Volt-ampere and energy characteristics of photovoltaic systems

Efficiency of silicon solar cells

Efficiency (EFC):

- For industrial silicon photovoltaic cells, the efficiency is 12–15%.
- Laboratory samples achieve efficiencies of up to 23%.

Production:

The annual production volume of solar cells exceeds 50 MW with a growth rate of about 30% per year.

Cascade connection of modules:

Cascade (series-parallel) connection of photoconverters allows you to create photovoltaic power plants (PVs) with a capacity of up to several hundred kilowatts.

Calculation of the area of the panels :

The total area of the solar panel required to achieve the desired power is determined by:

- 1) Photoconversion efficiency values .
- 2) The level of illumination of the panel surface, which depends on:
 - Time of day.
 - Geographic latitude.
 - Weather conditions.
 - Panel orientations relative to solar radiation.

These factors are taken into account when designing power plants to achieve optimal efficiency.

1.3 Theoretical economic efficiency

To analyze the economic efficiency of using solar power plants (SPPs), the following indicators are taken into account: average monthly daytime energy light THERE ARE, kW/m^2 ;

- average annual amounts of total radiation on a horizontal surface, $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$;
- average monthly amounts total radiation on horizontal surface E_{mes} , $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$.

Technically acceptable level solar radiation in present time maybe be determined with expression:

$$E \geq 0,2 \text{ кВт}/\text{м}^2(1.1)$$

The basis of any solar power plant is photovoltaic modules, the average specific cost whose constitutes 40 ... 60 UAH/W

For production electric energy variable current standard parameters, except actually photovoltaic converter, necessary semiconductor transformer permanent voltage, storage device electricity - rechargeable battery, What agree devices, switching equipment, etc. The specific cost of a complete solar power plant increases accordingly to $T_{\text{the month}} = 100\,000 \dots 120,000 \text{ UAH}/\text{kW}$ installed power.

Complete cost complete equipment SES is determined with expression:

$$K_{\text{yCT}} = K_{\text{yCT.yd}} * P_{\text{CEC}}(1.2)$$

The capital costs of solar power plants should also include the cost of project K_{pr} and construction works to determine the location and installation of the station on area.

For definition necessary power photoconverters expedient use data not about full established power consumers electricity object electricity supply R , and about daily average consumption electricity W .

Operation of an autonomous photovoltaic power plant in a mode of long-term continuous operation provides absence periodic recharge AB from external sources. IN In this case, the solar battery is the only source of energy in the system, which at minimums its peak power should fully to provide electricity off-line object.

To determine the capacity of a solar power plant, it is necessary to calculate the total number electricity that one solar module can produce at the estimated interval time. For calculation need value solar radiation, which is taken in period works stations, When sunny radiation minimal E_{mes} . IN case year-round use - It is December.

Having determined value solar radiation by interesting for us period and having divided it by 1000, we get the so-called number of picohours, that is, conditional time, for whose sun shines as would with intensity 1000 W/m^2 .

Module power R_m for chosen one period will produce next number energy:

$$W_M = \frac{k P_M E}{1000}, \text{кВт/год} (1.3)$$

Where, E - the value of insolation for the selected period, $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$; k - the coefficient that takes into account amendment on loss power solar elements at heating on the sun, as well as the oblique incidence of rays on the surface of the modules during the day. The value of k is taken to be 0.5 in summer and 0.7 in winter. The difference in its value in winter and summer is due to less heating of the elements in winter period.

Complete power modules SES is determined with expression:

$$P_{CEC} = \frac{30 * W}{W_M} P_M, \text{кВт} (1.4)$$

Where, W – average daily electricity consumption by the facility electricity supply, $\text{kW} \cdot \text{h}$.

The criterion for definition rational regime works SES (year-round or seasonal) can serve data about total radiation on surfaces lands:

$$K_{\text{рад}} = \frac{E_{\text{год}}}{E_{\text{мес}}}(1.5)$$

Where, E is the average annual sum of total radiation on a horizontal surface, $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$; $E_{\text{мес}}$ - average monthly sum of total radiation on the horizontal surface, minimum during the year, $\text{kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$.

At values k_{councils} more 50 possible seasonal only application SES.

IN operational costs SES are included costs on service S_{ax} and repair With :

$$C_{\text{рем}} = k_{\text{рем}} * p_{\text{H}}(K_{\text{уст}} + K_{\text{стр}})(1.6)$$



where, $k_{\text{рем}}$ - coefficient expenses on repair.

It should be noted that the cost of electricity depends little on the capacity. stations and is determined in basically intensity solar radiation.

Three Phase Hybrid Inverter

SUN-3/4/5/6/8/10/12K-SG05LP3-EU-SM2



- 100** 100% unbalanced output, each phase; Max. output up to 50% rated power
-  AC couple to retrofit existing solar system
- 10** Max. 10 pcs parallel for on-grid and off-grid operation; Support multiple batteries parallel
- 240** Max. charging/discharging current of 240A
- 48** 48V low voltage battery, transformer isolation design
- 6** 6 time periods for battery charging/discharging
-  Support storing energy from diesel generator

Deye

Stock Code: 605117.SH

Model	SUN-3K-SG05 LP3-EU-SM2	SUN-4K-SG05 LP3-EU-SM2	SUN-5K-SG05 LP3-EU-SM2	SUN-6K-SG05 LP3-EU-SM2	SUN-8K-SG05 LP3-EU-SM2	SUN-10K-SG05 LP3-EU-SM2	SUN-12K-SG05 LP3-EU-SM2
Battery Input Data							
Battery Type	Lead-acid or Lithium-ion						
Battery Voltage Range (V)	40-60						
Max. Charging Current (A)	70	95	120	135	190	210	240
Max. Discharging Current (A)	70	95	120	135	190	210	240
Charging Strategy for Li-ion Battery	Self-adaption to BMS						
Number of Battery Input	1						
PV String Input Data							
Max. PV Access Power (W)	6000	8000	10000	12000	16000	20000	24000
Max. PV Input Power (W)	4500	6000	7500	9000	12000	15000	18000
Max. PV Input Voltage (V)	800						
Start-up Voltage (V)	160						
MPPT Voltage Range (V)	200-650						
Rated PV Input Voltage (V)	550						
Max. Operating PV Input Current (A)	20+20						
Max. Input Short-Circuit Current (A)	30+30						
No. of MPP Trackers/ No. of Strings MPP Tracker	2/1+1						
AC Input/Output Data							
Rated AC Input/Output Active Power (W)	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000
Max. AC Input/Output Apparent Power (VA)	3300	4400	5500	6600	8800	11000	13200
Rated AC Input/Output Current (A)	4.6/4.4	6.1/5.8	7.6/7.3	9.1/8.7	12.2/11.6	15.2/14.5	18.2/17.4
Max. AC Input/Output Current (A)	5/4.8	6.7/6.4	8.4/8	10/9.6	13.4/12.8	16.7/16	20/19.2
Max. Continuous AC Passthrough (grid to load) (A)	45						
Peak Power (off-grid) (W)	2 times of rated power, 10s						
Power Factor Adjustment Range	0.8 leading to 0.8 lagging						
Rated Input/Output Voltage/Range (V)	220/380V, 230/400V 0.85Un-1.1Un						
Rated Input/Output Grid Frequency/Range(Hz)	50/45-55, 60/55-65						
Grid Connection Form	3L+N+PE						
Total Current Harmonic Distortion THDi	<3% (of nominal power)						
DC Injection Current	<0.5% In						
Efficiency							
Max. Efficiency	97.6%						
Euro Efficiency	97.0%						
MPPT Efficiency	>99%						
Equipment Protection							
Integrated	DC Polarity Reverse Connection Protection, AC Output Overcurrent Protection, Thermal Protection, AC Output Overvoltage Protection, AC Output Short Circuit Protection, DC Component Monitoring, Overvoltage Load Drop Protection, Ground Fault Current Monitoring, Arc Fault Circuit Interrupter (optional), Power Network Monitoring, Island Protection Monitoring, Earth Fault Detection, DC Input Switch, DC Terminal Insulation Impedance Monitoring, Residual Current (RCD) Detection, Surge protection level						
Surge Protection Level	TYPE II(DC), TYPE II(AC)						
Interface							
Communication Interface	RS485/RS232/CAN						
Monitor Mode	GPRS/WIFI/Bluetooth/4G/LAN(optional)						
General Data							
Operating Temperature Range ()	-40 to +60°C, >45°C Derating						
Permissible Ambient Humidity	0-100%						
Permissible Altitude	3000m						
Noise (dB)	≤55						
Ingress Protection(IP) Rating	IP 65						
Inverter Topology	Non-Isolated						
Over Voltage Category	OVC II(DC), OVC III(AC)						
Cabinet Size (WxHxD mm)	386×660×250 (Excluding Connectors and Brackets)						
Weight (kg)	35.2						
Type of Cooling	Intelligent Air Cooling						
Warranty	5 Years/10 Years the Warranty Period Depends the Final Installation Site of Inverter, More Info Please Refer to Warranty Policy						
Grid Regulation	IEC 61727, IEC 62116, CEI 0-21, EN 50549, NRS 097, RD 140, UNE 217002, OVE-Richtlinie R25, G99, VDE-AR-N 4105						
Safety / EMC Standard	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2						

Hi-MO 7

LR7-72HGD

585 620M

- Високоєфективні модулі для побутових електростанцій
- Удосконалена технологія елементів HPBC забезпечує чудову ефективність і потужність модуля
- Bifaciality високого класу та відмінний температурний коефіцієнт забезпечують високий вихід енергії
- Якість життєвого циклу ONGi забезпечує довгострокову продуктивність

12 12-річна гарантія на матеріали та процеси

30 30-річна гарантія на додаткову лінійну потужність

Повна сертифікація системи та продукції

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730

ISO9001:2015: ISO Quality Management System

ISO14001: 2015: ISO Environment Management System

ISO45001: 2018: Occupational Health and Safety

IEC62941: Guideline for module design qualification and type approval

LONGI



23.0%

Максимальна
потужність модуля

0~3%

Допустиме
відхилення

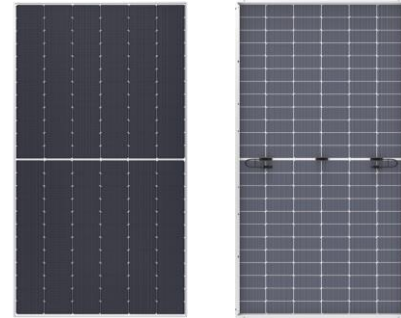
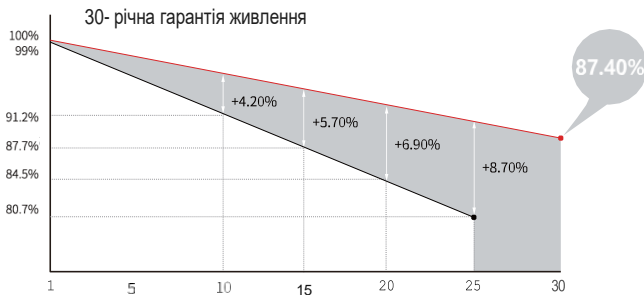
<1%

Деградація в
перший рік

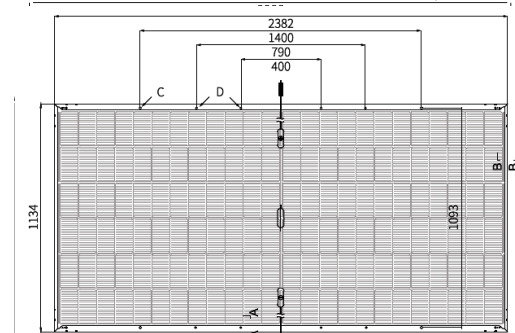
HALF-CELL

Зниження робочої
температури

Підвищена ефективність



Розміри, мм



Допустиме відхилення:
Довжина: ± 2мм
Висота: ± 2мм

Механічні характеристики

Тип сонячних елементів	144 (6x24)
Розподільна коробка	IP68, три діоди
Вихідні кабелі	4мм ² , +400, -200мм/±1400мм може бути змінено
Скло	Подвійне напівзагартоване скло 2,0+2,0 мм
Рамка	Анодований алюмінієвий сплав
Вага	33.5кг
Розміри	2382x1134x30мм
Упаковка	36шт на палету / 144шт на 20' GP / 720шт на 40' HC

Електричні характеристики STC: AM1.5 1000Вт/м² 25°C NOCT: AM1.5 800Вт/м² 20°C 1м/с Похибка випробувань для Pmax: ±3%

Модуль	LR7-72HGD-585M	LR7-72HGD-590M	LR7-72HGD-595M	LR7-72HGD-600M	LR7-72HGD-605M	LR7-72HGD-610M	LR7-72HGD-615M	LR7-72HGD-620M
Умови тестування	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Макс. потужність (Pmax/Вт)	585	445.3	590	449.1	595	452.9	600	456.7
Напруга холостого ходу (Voc/В)	52.01	49.43	52.12	49.53	52.23	49.64	52.34	49.74
Струм КЗ (Isc/А)	14.29	11.48	14.37	11.54	14.45	11.61	14.53	11.67
Напруга при макс. потуж. (Vmp/В)	43.57	41.41	43.68	41.51	43.79	41.63	43.90	41.72
Струм при макс. потуж. (Imp/А)	13.43	10.76	13.51	10.82	13.59	10.88	13.67	10.95
ККД (%)	21.7	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0

Електричні характеристики з різним коефіцієнтом потужності на виході (відносно фронтального 605 Вт)

Pmax/Вт	Voc/В	Isc/А	Vmp/Вт	Imp/А	Pmax приріст
635	52.44	15.35	44.00	14.44	5%
666	52.44	16.08	44.00	15.13	10%
696	52.54	16.81	44.10	15.81	15%
726	52.54	17.54	44.10	16.50	20%
756	52.54	18.27	44.10	17.19	25%

Робочі характеристики

Робоча температура	-40°C +85°C
Допуск потужності	0~3%
Максимальна напруга системи	DC1500V (IEC/UL)
Серія запобіжників	30A
Номинальна температура	45±2°C
Клас захисту	Class II
Біфасціальність	80±5%
Вогнестійкість	UL тип 29 IEC клас C

Механічне навантаження

Максимальне статичне навантаження передньої панелі	6400Pa
Максимальна статичне навантаження задньої сторони	2400Pa
Тест на град	25мм град зі швидкістю 23 м/с

Характеристики t°C (STC)

Температурний коефіцієнт (Isc)	+0.04596/°C
Температурний коефіцієнт (Voc)	-0.230%/°C
Температурний коефіцієнт (Pmax)	-0.280%/°C

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»
20 грудня 2024 року



Полтава 2024

О.І. Євдоченко ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ КОДІВ РІДА – СОЛОМОНА.....	106
Є.М. Заніздра АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО ВУЗЛА КОРПУСУ.....	107
С.Г. Кислиця, І.О. Вишневський РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ВЕНТИЛЬНОМУ ІНДУКТОРНОМУ ДВИГУНІ.....	109
І.О. Єндіяров, Н.В. Єрмілова РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ.....	112
С.Г. Кислиця, Р.М. Ковган ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАГАТОМОТОРНОГО ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНОГО ШАРОВОГО КОНВЕЄРУ.....	114
О.А. Мешко, Н.В. Єрмілова РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	116
В.В. Пушкарь СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТИВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ПРИ ОБМЕЖЕННЯХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	118
О.М. Федоренко РОЗРОБКА МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ НАЗЕМНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	119
А.О. Говтяниця, Б.Р. Боряк АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНО-КЕРОВАНОВОГО РАДІО.....	120

УДК 621.316

І.О. Єндіяров, магістрант,

Н.В. Єрмілова, к.т.н., доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

При зростаючих цінах на енергоносії та можливих відключеннях електроенергії відновлювані джерела енергії набувають дедалі більшої популярності. Сонячна енергетика дозволяє забезпечити стабільне електропостачання незалежно від централізованої енергомережі, що є критично важливим для багатоповерхових житлових будинків.

Географічне розміщення України має досить непогані показники щодо річної інсоляції поверхні. У середньому на всій території України значення сонячної інсоляції становить близько 1000 кВт·год на м² поверхні за рік [1]. Але це не означає, що з 1 м² сонячної панелі можна отримати 1000 кВт·год на рік, оскільки існують значні втрати при перетворенні цієї енергії, які можуть сягати 30%. Для зменшення забруднення навколишнього середовища, яке відбувається при виробництві електричної енергії, в Україні було прийнято рішення заохочувати вироблення сонячної електроенергії юридичними та фізичними особами, тобто запроваджено так званий «Зелений» тариф, який діятиме до 2030 року. Дуже важливим є те, що під час військового стану можливі аварійні відключення подачі електроенергії протягом тривалого часу, тому буде припинена робота ліфтових установок, аварійного освітлення сходових клітин, внутрішньо-домових переговорних пристроїв передачі даних. Внаслідок цих причин дана робота є дуже актуальною.

Розроблення проєкту сонячної електростанції (СЕС) включає кілька етапів роботи:

1. Аналіз електричного навантаження та споживання енергії будинком

В роботі було проведено аналіз електроспоживання та пікових навантажень для визначення необхідної потужності сонячної електростанції (СЕС) з урахуванням сезонних коливань. Було виявлено, що споживання комунального навантаження одного під'їзду складає 5700 кВт·год в місяць. Передбачається, що для безперебійного електропостачання комунального навантаження одного під'їзду потрібно 5,9 кВт. В будинку п'ять таких під'їздів, у кожного проєктується власна система безперебійного електропостачання комунального навантаження.

2. Вибір та проєктування елементів СЕС

В результаті розрахунку навантажень для реалізації проєкту обрано монокристалічні фотопанелі типу Longi Solar LR7-72HGD-600M 600Вт двостороння [2]. Визначено оптимальне розташування панелей на даху будинку

УДК 621.316

І.О. Єндіяров, магістрант,

Н.В. Єрмілова, к.т.н., доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

При зростаючих цінах на енергоносії та можливих відключеннях електроенергії, відновлювані джерела енергії набувають дедалі більшої популярності. Сонячна енергетика дозволяє забезпечити стабільне електропостачання незалежно від централізованої енергомережі, що є критично важливим для багатоповерхових житлових будинків.

Географічне розміщення України має досить непогані показники щодо річної інсоляції поверхні. У середньому на всій території України значення сонячної інсоляції становить близько 1000 кВт-год на м² поверхні за рік. Але це не означає, що з 1 м² сонячної панелі можна отримати 1000 кВт-год на рік, оскільки існують значні втрати при перетворенні цієї енергії, які можуть сягати 30%. Для зменшення забруднення навколишнього середовища, яке відбувається при виробництві електричної енергії, в Україні було прийнято рішення заохочувати вироблення сонячної електроенергії юридичними та фізичними особами, тобто запроваджено так званий «Зелений» тариф, який діятиме до 2030 року. Дуже важливим є те, що під час військового стану можливі аварійні відключення подачі електроенергії протягом тривалого часу, тому буде припинена робота ліфтових установок, аварійного освітлення сходових клітин, внутрішньо-домових переговорних пристроїв передачі даних. Внаслідок цих причин дана робота є дуже актуальною.

Розроблення проєкту сонячної електростанції (СЕС) включає кілька етапів роботи:

1. Аналіз електричного навантаження та споживання енергії будинком.

Було проведено аналіз електроспоживання та пікових навантажень для визначення необхідної потужності сонячної електростанції (СЕС) з урахуванням сезонних коливань. Було виявлено, що споживання комунального навантаження одного під'їзду складає 5700 кВт-год в місяць. Передбачається безперебійне електропостачання комунального навантаження для одного під'їзду, потрібно 5,9 кВт. В будинку п'ять таких під'їздів, у кожного своя система безперебійного електропостачання комунального навантаження.

2. Вибір та проєктування елементів СЕС.

В результаті розрахунку навантажень для реалізації проєкту обрано монокристалічні фотопанелі типу Longi Solar LR7-72HGD-600M 600Вт двостороння. Визначено оптимальне розташування панелей на даху будинку

для максимального захоплення сонячного випромінювання. Обрано гібридний інвертор SUN-8K-SG05 LP3-EU-SM2, розроблено схему підключення інверторів для ефективного перетворення та передачі енергії.

3. Акумуляування та управління енергією.

Було розраховано, що для надійного електропостачання необхідно мати літій-залізо-фосфатний акумулятор, типу Kerworth LiFePO₄ 48V/100AH (5100W*h) з великою ємністю для забезпечення живлення, в умовах недостатнього освітлення та при тривалих відключеннях мережевої напруги. Розроблено систему управління, що забезпечує безперебійне постачання електроенергії за рахунок акумуляування надлишків.

4. Економічне обґрунтування проєкту.

Проведено аналіз вартості встановлення, обслуговування та експлуатації СЕС, а також розраховано термін окупності, який складає близько 5 років. Дослідження показало економічну доцільність впровадження проєкту у багатоповерхових житлових будинках.

5. Результати та висновки.

Розроблений проєкт СЕС здатний забезпечити безперебійне енергопостачання з урахуванням потреб комунального навантаження багатоповерхового будинку. Проєкт має перспективу впровадження в житлових комплексах для зниження залежності від центрального електропостачання.

ЛІТЕРАТУРА

1. *PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Інструмент для розрахунку потенціалу сонячної енергетики в будь-якому регіоні.*
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
2. *Solar Power Europe. Глобальна платформа з даними, рекомендаціями та стандартами в галузі сонячної енергетики.*
<https://www.solarpowereurope.org/>
3. *NREL (National Renewable Energy Laboratory) Джерело наукових досліджень та симуляцій у галузі відновлюваної енергетики.*
<https://www.nrel.gov/>
4. *Калькулятор сонячної енергетики (MetaPV) Онлайн-інструмент для оцінки необхідного обладнання і потенційної окупності.*
<https://metapv.com/>
5. *Кремер Г.В. – Сонячні електростанції: проєктування, монтаж і експлуатація. Практичний посібник із детальним описом систем сонячної енергетики, методів розрахунку та встановлення обладнання.*

6. Герасимов О.А., Борисова Е.А. – Основы проектирования солнечных электростанций. Описано основы проектування та розрахунку сонячних електростанцій із прикладами розрахунків.
7. Краткий справочник инженера по солнечной энергетике – Практичний довідник для розробників і монтажників сонячних систем.
8. Джерело інформації щодо сучасних фотоелектричних панелей.
9. Джерело інформації щодо акумуляторних систем та систем зберігання енергії.

DEVELOPMENT OF THE SOLAR POWER PLANT PROJECT TO ENSURE UNINTERRUPTED ELECTRICITY SUPPLY OF THE MUNICIPAL LOAD OF A HIGH-STORY BUILDING^V.

I.O. Yendiyarov, Master's student,

N. Yermilova, Ph.D.(Engineering), Associate professor

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**«Розроблення проєкту сонячної електростанції для
забезпечення безперебійного електропостачання комунального
навантаження багатопверхового будинку»**

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Студент групи 601МЕ

Єндіяров І.О.

Керівник:

доцент, канд. техн. наук

Єрмілова Н.В.

- Дана магістерська робота була розроблена під державну програму «ГрінДІМ», що фінансується державним «Фондом Енергоефективності» для будівництва сонячної електричної станції житлового будинку по вул.Панянка, 65Б у м. Полтаві, який обслуговується власним ОСББ.
- **Метою Програми є:** «Збільшення частки відновлюваної енергетики у вітчизняних системах виробництва електроенергії та тепла, а також реалізація заходів щодо підвищення енергоефективності та енергетичної безпеки житлового сектора».
- **Учасники Програми можуть виступати:** «Об'єднання співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) та Житлово-будівельні кооперативи (ЖБК).
- **Умови Програми:**
 - Фонд не надає фінансування на витрати, пов'язані з виконанням будь-яких видів робіт (послуг), а тільки на придбання необхідного обладнання та проведення енергоаудиту, що визначено як Прийнятні заходи згідно з цією Програмою;
 - Грант не може бути більше 2 (двох) млн грн на встановлення СЕС для будинків загальною площею більше 8001 м².
- **Етап «Підготовка» до участі у Програмі:**
 - Ухвалення рішення про участь у Програмі «ГрінДІМ»;
 - Проведення сертифікації енергетичної ефективності будинку;
 - Складання опису Проекту;
 - Відкриття рахунку ОСББ в банку-партнері Фонду;
 - Подання Заявки на участь до Фонду разом із супровідними документами;
 - Отримання повідомлення про схвалення Заявки від Фонду.
- **Етап «Реалізація проєкту»:**
 - Виконання робіт (пошук підрядника, обладнання, пусконаладжувальні роботи);
 - Проведення сертифікації енергетичної ефективності будинку;
 - Подання Заявки до Фонду разом із супровідними документами;
 - Отримання гранту.



Актуальність теми полягає у необхідності:

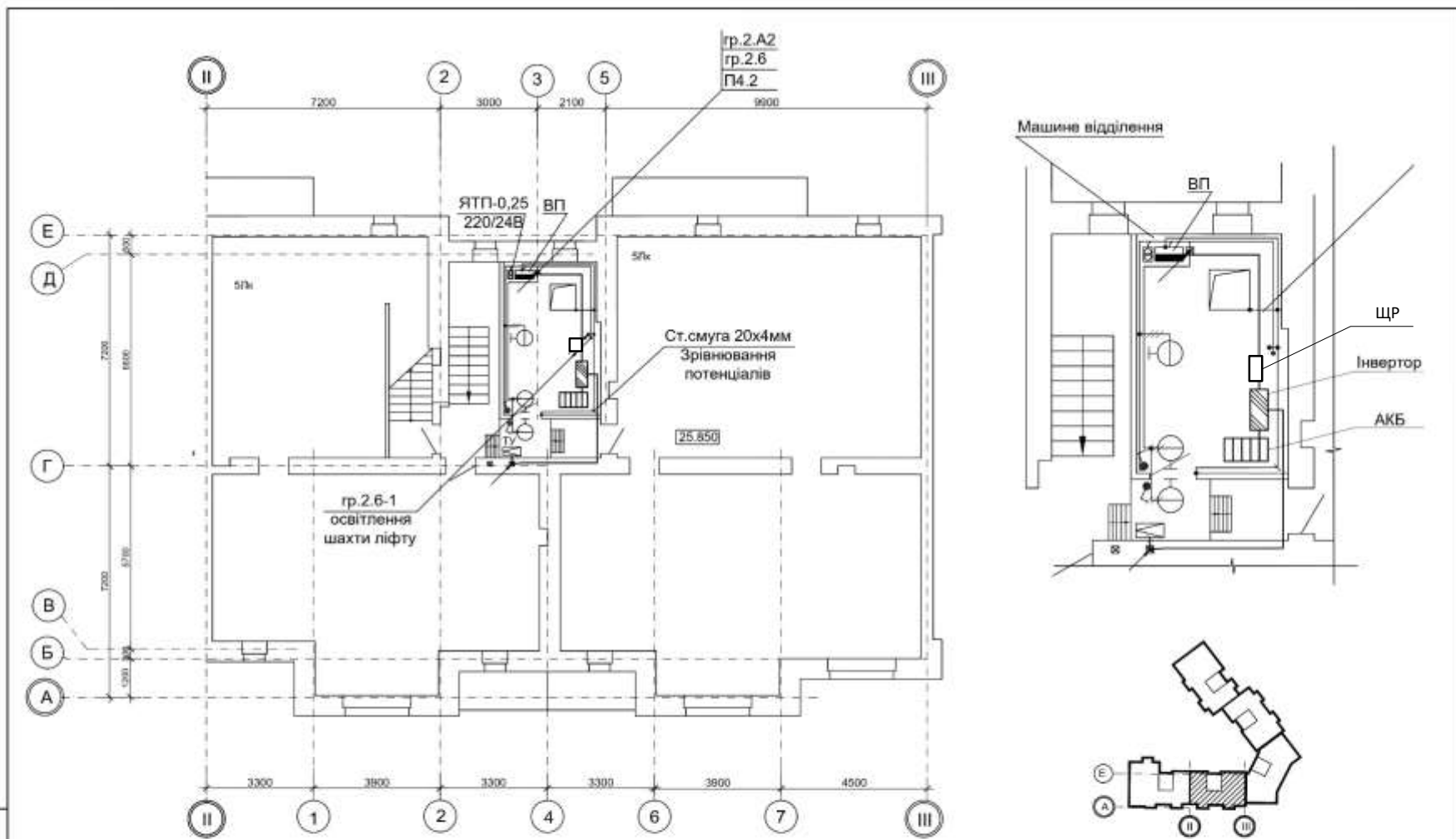
- забезпечення безперебійним електропостачанням комунального навантаження, а саме: ліфтових установок, аварійного освітлення під'їздів, пристроїв мережі інтернет та переговорних пристроїв (домофонів) існуючого багатоквартирного 9-ти поверхового житлового будинку по вул. Панянка, 65Б у м. Полтава підчас обмежень щодо постачання електричної енергії (графіків відключень електричної енергії);
- зменшення витрат на електричну енергію комунального навантаження ОСББ шляхом генерації сонячної електричної енергії;
- зменшення витрат мешканців багатоквартирного будинку за комунальні послуги;
- реалізація проєкту за кошти державного «Фонду Енергоефективності» та частково мешканців житлового будинку за «Програмою «ГрінДІМ» (далі Програма).

Метою роботи є:

- провести аналіз сучасних пристроїв сонячної генерації електричної енергії;
- вибір необхідного обладнання для будівництва сонячної електричної станції (фотомодулі, елементи кріплення, інвертори та акумуляторні батареї, які відповідають вимогам Програми);
- передбачити місця встановлення проєктованого обладнання та можливість приєднання СЕС до існуючих електричних мереж житлового будинку;
- передбачити можливість дистанційного моніторингу технічних параметрів СЕС;
- Визначити економічну ефективність впровадження СЕС та можливість реалізації проєкту через державну Програму.

Об'єкт дослідження – процеси генерування електричної енергії сонячною електричною станцією, яка встановлюється на покрівлі 9-ти поверхового житлового будинку.

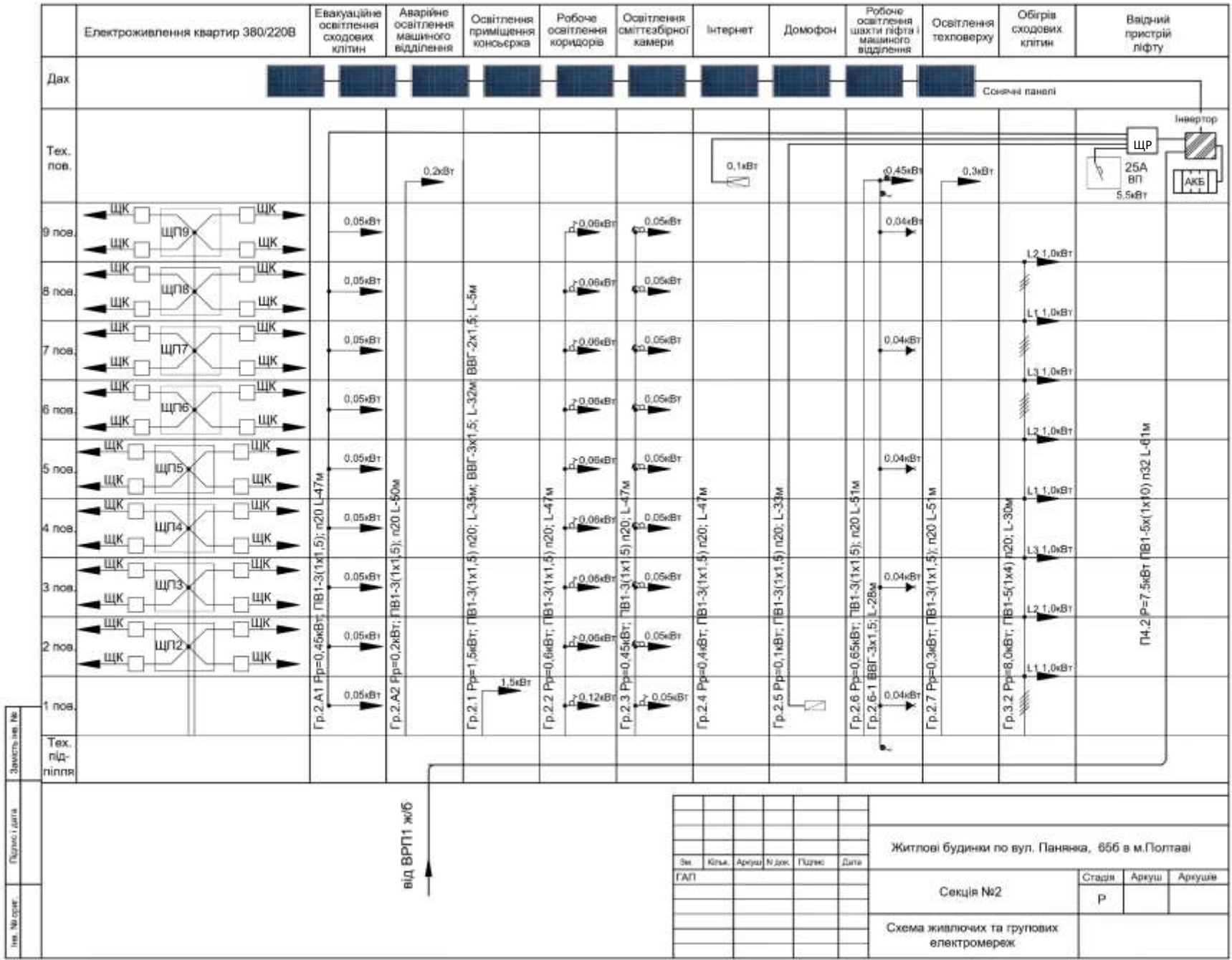
Предмет дослідження – система моніторингу технічних параметрів СЕС

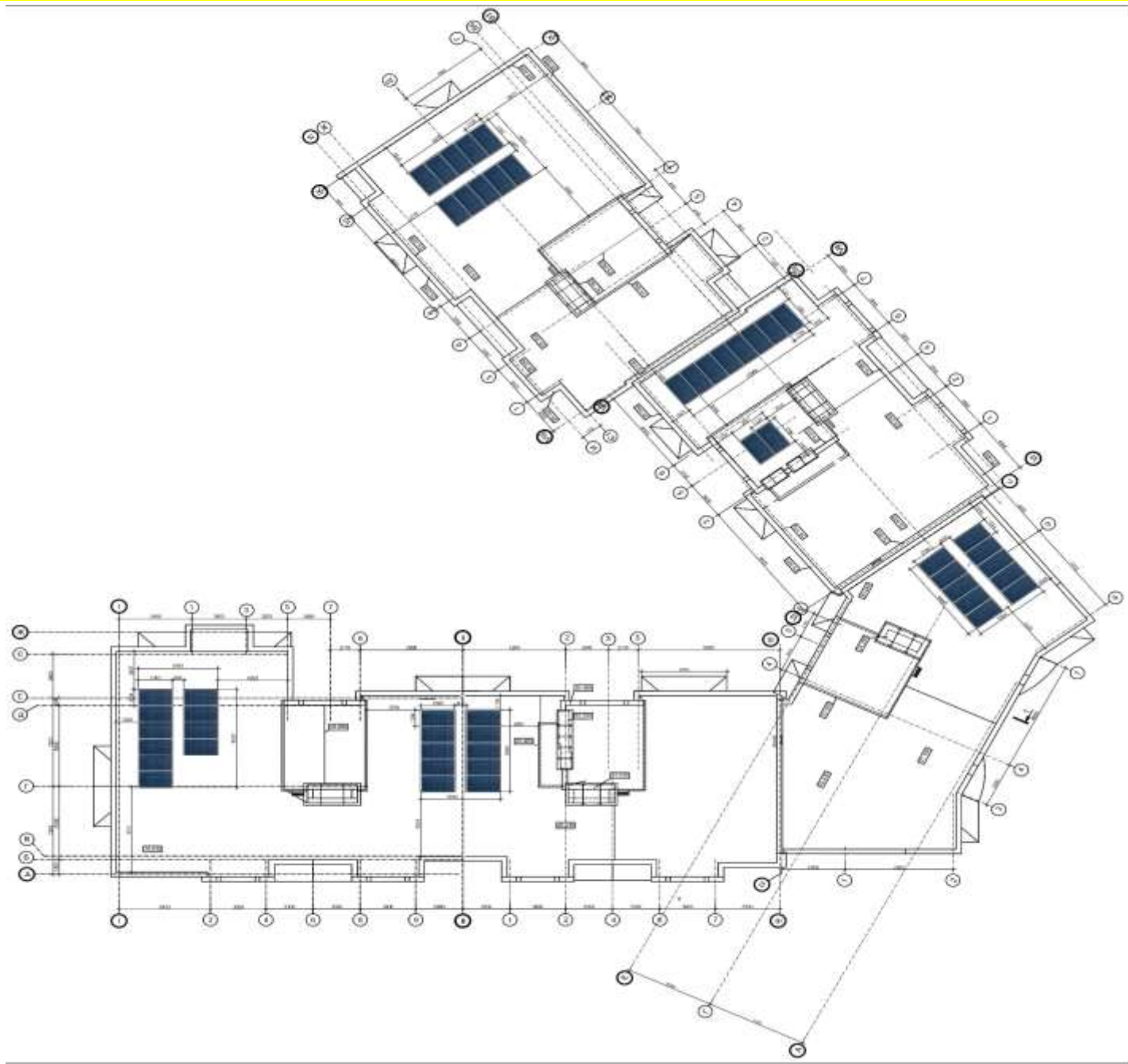


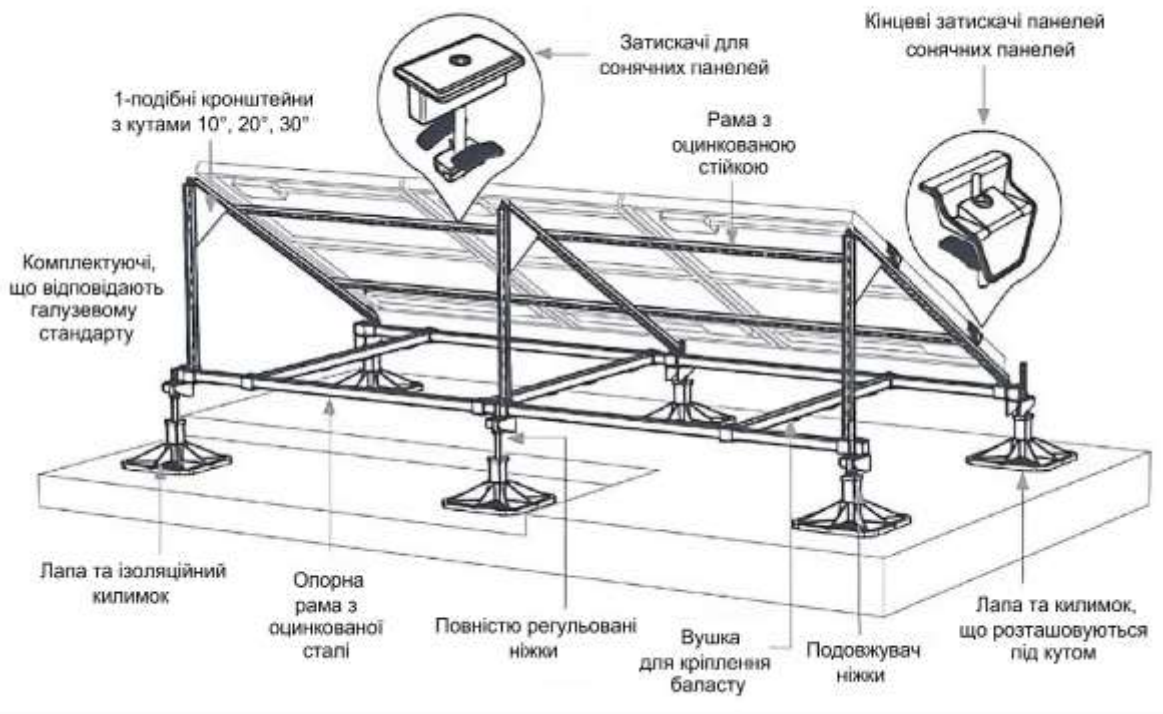
Замовник	№
Прийнято	дата
№	№

Житлові будинки по вул. Паньківка, 656 в м.Полтаві					
№	Екв.	Аркуш	№ дри.	Повтор.	Дата
ГАП					
План електромереж технічного поверху			Стадія	Аркуш	Аркушів
			Р		

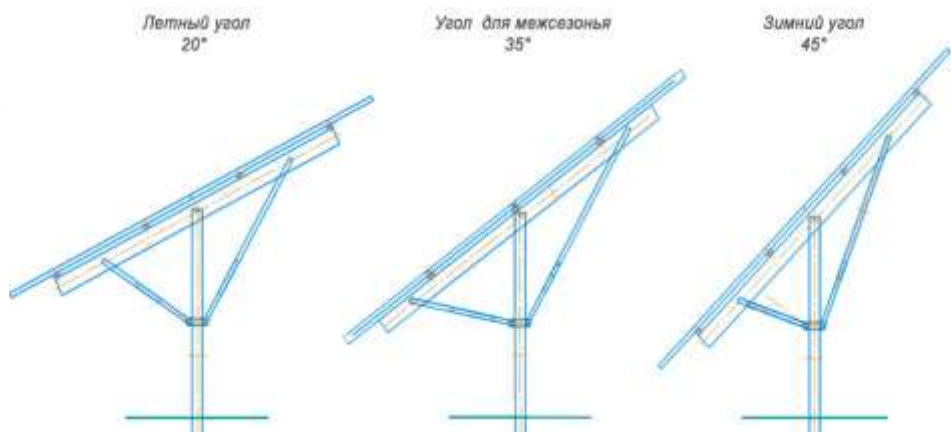
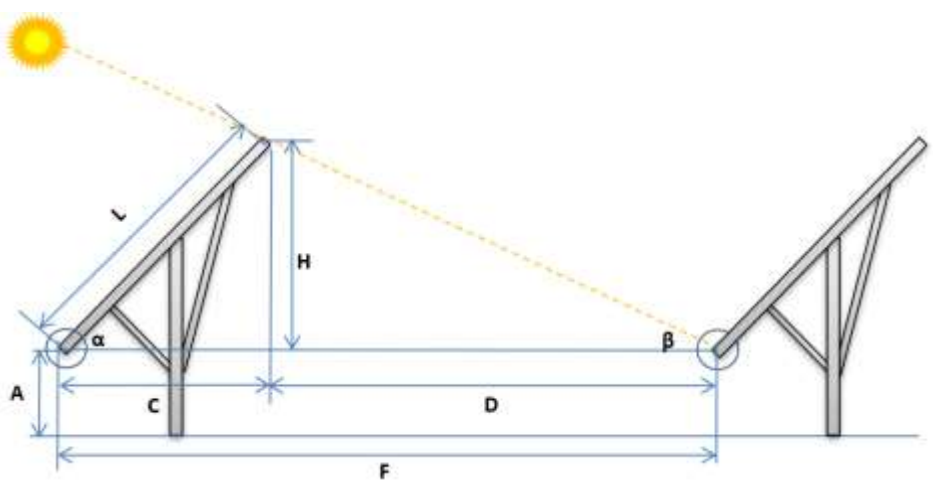
Схема живлючих та групових електромереж



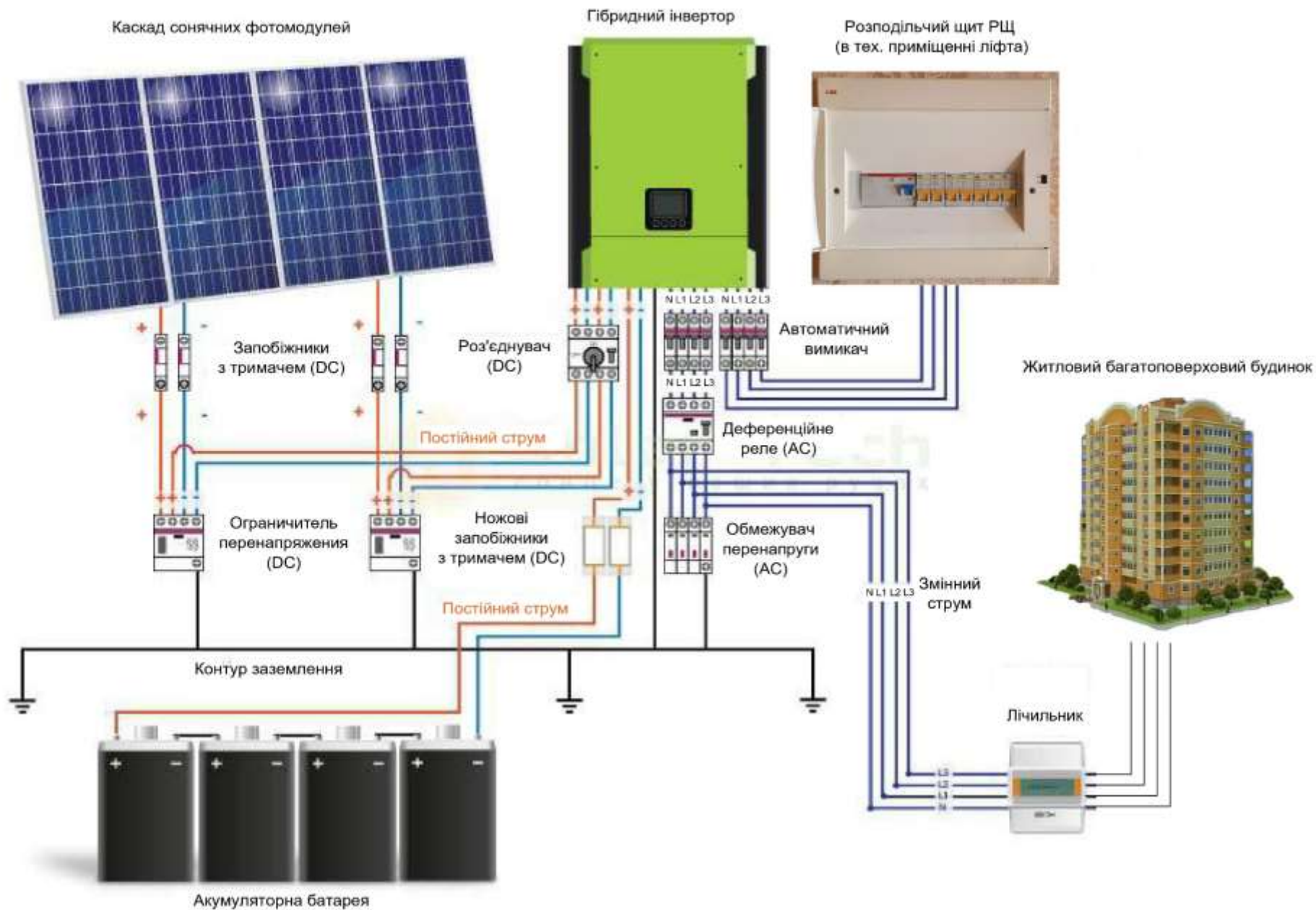




- | | | |
|-----|--|--|
| 1. | | Передня опора
Specification: L60
Material: AL-6005T5 (Anodized) |
| 2. | | Підпорка
Specification: L60
Material: AL-6005T5 (Anodized) |
| 3. | | Односторонній баластовий лоток
Specification: 450*550
Material: Galvanized Sheet |
| 4. | | Двосторонній баластовий лоток
Specification: 850*850
Material: Galvanized Sheet |
| 5. | | Комплект кінцевих затискачів
Components: C clamp (cross module), spring washer M3, hexagon socket head bolt |
| 6. | | Набір мікрозатискачів
Components: flat wash M3, spring washer M3, hexagon socket, Hex Bolt |
| 7. | | Комплект зажимів
Components: C clamp (cross module), spring washer M3, hexagon socket head bolt |
| 8. | | Вітровик
Components: flat washer M3, spring washer M3, hexagon socket, Head Bolt |
| 9. | | Сполонка
Specification: L135Q, L270Q
Material: AL-6005T5 (Anodized) |
| 10. | | Шпилька для вирівнювання
Material: AL-6005T5 (Anodized) |



Структурна схема сонячної електричної станції



Таблиця визначення вартості та рентабельності проєкту

10

№ з/п	Позиція	Ціна, тис.грн.	Кількість	Вартість, тис.грн
1	Фотомодуль монокристалічний Longi Solar LR7-72HGD-600M, 600 Вт	6,14	50	307
2	Гібридний інвертор SUN-8K-SG05 LP3-EU-SM2, 8кВт, ~380/220В	93,98	5	469,9
3	Акумуляторна батарея літій-залізо-фосфатна Kerworth LiFePO4 48V/100Ah (5100Wh)	47	15	705
4	Комутаційне обладнання (автоматичні вимикачи, ОПНи, щити розподільчий, запобіжники, ін.)	4	5	20
5	Допоміжне обладнання для кріплення фотомодулів	6,1	5	30,5
6	Кабельно-провідникова продукція	10,2	5	51
	РАЗОМ ПО ОБЛАДНАННЮ:			1583,4
1	Проектні роботи			60
2	Будівельно-монтажні роботи			210
3	Пуско-налогоджувальні роботи			12
	РАЗОМ ПО РОБОТАМ:			282
	ВСЬОГО ПО ПРОЄКТУ			1865,4
1	Річні затрати на електричну енергію із розрахунку 5700кВт*год на міс (68400кВт*год на рік 5 під'їздів)	4,32 (діючий тариф на е/е)	12	295,5
1.2	З урахуванням коеф. здороження е/е на рік – 1,1			325,05
3	Затрати що покриваються виробленою електричною енергією СЕС загальною потужністю 30кВт на рік, тис.кВт*год		36000	218,97
4	Затрати на технічне обслуговування СЕС			12
	РАЗОМ ПО РІЧНИМ ЗАТРАТАМ			556,02

У магістерській роботі розглянуто проектування сонячної електростанції для забезпечення безперебійного електропостачання комунального навантаження багатоповерхового житлового будинку, розташованого за адресою: вул. Панянка, 65Б у м. Полтава.

Актуальність теми зумовлена:

- Забезпеченням роботи ліфтових установок, аварійного освітлення, інтернет-мереж і домофонів під час графіків відключення електроенергії.
- Зниженням витрат на електроенергію для комунальних потреб ОСББ через генерацію сонячної енергії.
- Реалізацією економічно вигідного проекту через державний «Фонд Енергоефективності» та програму «ГрінДІМ».

Результати дослідження:

- Розроблено технічну документацію для впровадження СЕС відповідно до вимог Програми.
- Виконано вибір і розрахунок кількості сонячних панелей, інверторів і акумуляторів для покрівлі будинку.
- Показано технічну доцільність моніторингу параметрів станції для оптимізації її роботи.
- Проведено економічний аналіз, який підтвердив вигідність і окупність проекту.

Результати роботи свідчать про доцільність впровадження проекту як з економічної, так і з екологічної точок зору. Це дозволяє зменшити витрати мешканців на комунальні послуги, забезпечити енергонезалежність будинку та підвищити комфорт проживання.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!