

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Кудря С.О.
“ ” _____ 2020 р.

Дипломний проект
освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»
(назва ОКР)

зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(код та назва напрямку підготовки)

за темою: «Розробка локальної сонячної станції для котеджного містечка
«Дубровка» Донецької області»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ЕД-61

Малигіна Поліна Олексіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту:

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікрського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ВДЕ

_____ Кудря С. О.

«__» _____ 2020 р.

Завдання

на дипломний проект студенту

Малигіній Поліні Олексіївні

1. Тема проекту «Розробка локальної сонячної станції для котеджного містечка «Дубровка» Донецької області»

керівник проекту

2. Термін подання студентом проекту «17» червня 2017 р.

3. Вихідні дані до проекту

Котеджне містечко «Дубровка», що знаходиться у Донецькій області, складається з сорока домів, побудованих по типовому проекту. Передбачається цілорічне постачання електроенергією від автономної сонячної станції, яка йде на забезпечення побутового споживання без урахування опалення.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити):

а) сонячна енергія та її використання; б) розрахунок сонячної фотоелектростанції; в) розрахунок та вибір основного обладнання; г) оцінка техніко-економічної доцільності системи; д) охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Блок-схема автономної сонячної фотоелектростанції;
2. План розміщення сонячних фотопанелей та додаткового обладнання;
3. Аналіз потенціалу сонячної енергії для вибраної місцевості;
4. Техніко-економічні показники сонячної станції;
5. Плакат (назва роботи).
6. Дата видачі завдання «20» січня 2020 р.

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз відомостей щодо проектування і використання СЕС		
2	Розрахунок власних потреб котеджного містечка		
3	Аналіз надходження сонячної радіації в кліматичних умовах м. Донецьк.		
5	Проектування і розрахунок фотоелектричної станції на обраній ділянці		
6	Вибір супутного обладнання та розробка схеми підключення		
7	Розрахунок економічної ефективності СЕС за умов діючого законодавства України та тарифів, що діють в м.Донецьк.		
8	Робота над графічною частиною		
9	Оформлення проекту та підготовка до здачі		

Студент _____

Малигіна П.О.

Керівник проекту _____

Кириленко Є.В.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

за темою: «Розробка локальної сонячної станції для котеджного містечка
«Дубровка» Донецької області»

Анотація

Метою даної роботи є розробка локальної сонячної станції для котеджного містечка «Дубровка» Донецької області. Робота складається з 83 аркушів, 13 таблиць, 20 рисунків, 16 посилань.

В першому розділі розглянуто теоретичні відомості про розробку і використання сонячних фотоелектростанцій та розповідається про особливості проектування станцій в Україні.

В другому розділі проаналізований ринок сонячних фотопанелей в Україні та зроблений висновок, світовим виробникам можна довіряти в надійності та строку служби.

В третьому розділі був проведений вибір супутнього обладнання для локальної сонячної електростанції, який базується на теоретичних відомостях про сучасні електричні стандарти.

В четвертому розділі була проведена оцінка сумарної радіації для Донецької області та визначена доцільність будування сонячної станції в даних широтах.

В п'ятому розділі проведені основні розрахунки сонячної станції, визначена її площа, кількість панелей, потужність, відстежено генерацію.

В шостому розділі проведена оцінка техніко-економічної ефективності локальної сонячної станції та термін її окупності.

В сьомому розділі розглянуто охорону праці.

Annotation

The purpose of this work is to develop a local solar station for the cottage town "Dubrovka" in Donetsk region. The work consists of 83 sheets, 13 tables, 20 figures, 16 references.

The first section consists from theoretical information about the development and use of solar photovoltaic power plants and describes the features of the design of stations in Ukraine.

In the second section the market of solar photopanel in Ukraine is analyzed and the conclusion is world manufacturers can be trusted in reliability and service life.

In the third section a selection of related equipment for a local solar power plant was made, which is based on theoretical information about modern electrical standards.

In the fourth section an assessment of the total radiation for the Donetsk region was analyzed and the feasibility of building a solar station in these latitudes was determined.

In the fifth section the basic calculations of the solar station are performed, its area, number of panels, power are determined, generation is tracked.

The sixth section evaluates the technical and economic efficiency of the local solar station and its payback period.

The seventh chapter deals with labor protection.

ЗМІСТ

Анотація.....	5
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВІДОМОСТЕЙ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ СЕС.....	11
1.1 Способи використання сонячної енергії.....	12
1.2 Структура фотопанелей.....	14
1.3 Теоритична економічна ефективність.....	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ РИНКУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	22
2.1 Сонячні батареї Tier 1.....	25
2.2 Сонячні батареї Tier 2.....	27
2.3 Сонячні батареї Tier 3.....	28
2.4 Ціна та якість.....	29
РОЗДІЛ 3 ВИБІР СУПУТНЬОГО ОБЛАДНАННЯ.....	31
3.1 Фотопанель.....	32
3.2 Інвертор.....	34
3.3 Акумулятор	36
3.4 Контролер заряду.....	38
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ДЛЯ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ	41
4.1. Основні відомості про сумарну сонячну радіацію	42
4.2. Розподіл сонячної радіації в залежності від пори року.....	44
4.3. Сумарна сонячна радіація на території Донецької області.....	47
РОЗДІЛ 5 ОСНОВНІ РОЗРАХУНКИ.....	51
5.1. Географічні відомості щодо розташування сонячної станції.....	52
5.2. Аналіз навантаження споживача.....	53
5.3. Розрахунок фотопанелей.	54

5.4 Вибір системи кріплення для сонячних панелей.....	59
5.5. Розрахунок акумуляторів та інвертора.	62
РОЗДІЛ 6 ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ СИСТЕМИ	67
6.1 Специфікація.....	68
6.2 Окупність та доцільність.....	69
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	70
7.1 Техніка безпеки при використанні СЕС.....	71
7.1.1. Важливі вимоги.....	71
7.1.2. Перевезення і зберігання.....	71
7.1.3. Установка сонячних батарей.....	72
7.1.4. Необхідні умови для установки.....	72
7.1.5. Вентиляція сонячних батарей.....	73
7.1.6. Обслуговування та догляд.....	73
7.2. Пам'ятка з безпеки.....	74
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	84

Перелік скорочень та умовних позначень

S – площа сонячної станції;

φ – широта місцевості;

I_b – пряма сонячна радіація;

I_d – розсіяна сонячна радіація;

I – сумарна сонячна радіація;

ρ – відбиваюча здатність землі та навколишніх об'єктів;

I_t – сумарна сонячна радіація на похилу поверхню;

η – коефіцієнт корисної дії;

Вступ

Енергія, як один з найнеобхідніших продуктів для життєдіяльності людства, має стрімко зростаючу тенденцію споживання. З року в рік споживається все більше і більше енергії, наприклад, в 2010 році на планеті було спожито рекордну кількість енергії за всю історію людства. Енергія, яку ми отримуємо в даний час - це в основному енергія викопного (нафта, вугілля, газ і подібні горючі) і ядерного (уран) палива, які прийнято відносити до традиційних джерел енергії. Однак відомо, що традиційні джерела енергії не поновлюються за короткий час, а їх кількість з року в рік скорочується. За даними фахівців загальних запасів нафти в природі приблизно вистачить ще на 70-80 років, вугілля на 200 років і урану на 100 років. Повне виснаження цих ресурсів буде мати страшливі наслідки для всього людства.

Альтернативою в даному випадку можуть служити відновлювані джерела енергії (ВДЕ), які мають незаперечні переваги перед традиційними. Відновлювані джерела енергії невичерпні, мають величезний потенціал на планеті, наносять меншої шкоди екології і людству, до них можливий більш широкий доступ у всьому світі.

В Україні в зв'язку з безперервним зростанням цін на енергоносії, що перевищує майже в два рази рівень інфляції, наростаючими екологічними проблемами особливо актуальним завданням став розвиток альтернативної енергетики. Це зумовлює збільшення встановленої потужності виробників енергії з відновлюваних джерел (ВДЕ) до 1673 МВт (станом на кінець 2019 року). [1]

Електропостачання більшості населених пунктів здійснюється від дизельних електростанцій, а теплопостачання від котелень. Постійне зростання цін на паливо і значна віддаленість від залізниці призводять до зниження рентабельності енергетичних установок і підвищення собівартості електричної і теплової енергії. Тому мала відновлювальна енергетика для таких селищ, куди подача електроенергії по ЛЕП економічно не вигідна через малу чисельність населення і низьке споживання потужності, розглядається як альтернативне джерело енергії, здатне якщо не повністю зняти, то в значній мірі зменшити проблему транспортування дизельного палива.

Потенційними замовниками малих і особливо мікро ГЕС, а також ВЕУ і сонячних електростанцій можуть стати віддалені селища, геологічні партії, метеостанції, військові частини, приватні фермерські господарства, риборозвідні підприємства, туристичні бази і т.д.

Якщо ж говорити про виробництво електроенергії, то одним з факторів, що сприяють розвитку вітроенергетики в Україні, є «зелений» тариф, за яким держава купує електроенергію у виробників енергії з ВДЕ.

Наприклад, в законопроекті "Про внесення змін до деяких законів щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії" №8449-д [2] передбачено, що СЕС будуть звільнені від "зелених" аукціонів і зможуть зафіксувати "зелений" тариф на три роки за умови підписання попереднього договору продажу електроенергії.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВІДОМОСТЕЙ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ
СЕС

1.1. Способи використання сонячної енергії.

Принципово сонячні електростанції (СЕС) можуть бути двох типів: термодинамічні та фотоелектричні. Термодинамічні СЕС засновані на нагріванні теплоносія сонячним випромінюванням за допомогою спеціальних оптичних систем з подальшим перетворенням теплової енергії в механічну і далі в електричну.

Фотоелектричні станції використовують ефект прямого перетворення сонячного випромінювання в електроенергію, відкритий в 1839 році французьким фізиком Беккерелем. [3] Фотоелементи в більшості випадків - це кремнієві напівпровідникові фотодіоди. При поглинанні світла напівпровідникової структурою енергія фотонів передається електронам матеріалу, що викликає появу вільних носіїв заряду. Носії заряду створюють потенційний градієнт в області переходу, під впливом якого виникає електричний струм через електроприймачі. Типова величина різниці потенціалів - 0,5 В, щільність фотоструму - 200 А/м^2 при питомій потужності сонячного випромінювання 1 кВт/м^2 .

Фотоелектрична станція, крім власне фотоперетворювача - сонячної панелі, містить акумуляторну батарею із зарядним пристроєм, інвертор для перетворення постійної напруги в змінну стандартної частоти і інші допоміжні елементи. Основні елементи фотоелектричної системи показані на рисунку 1.

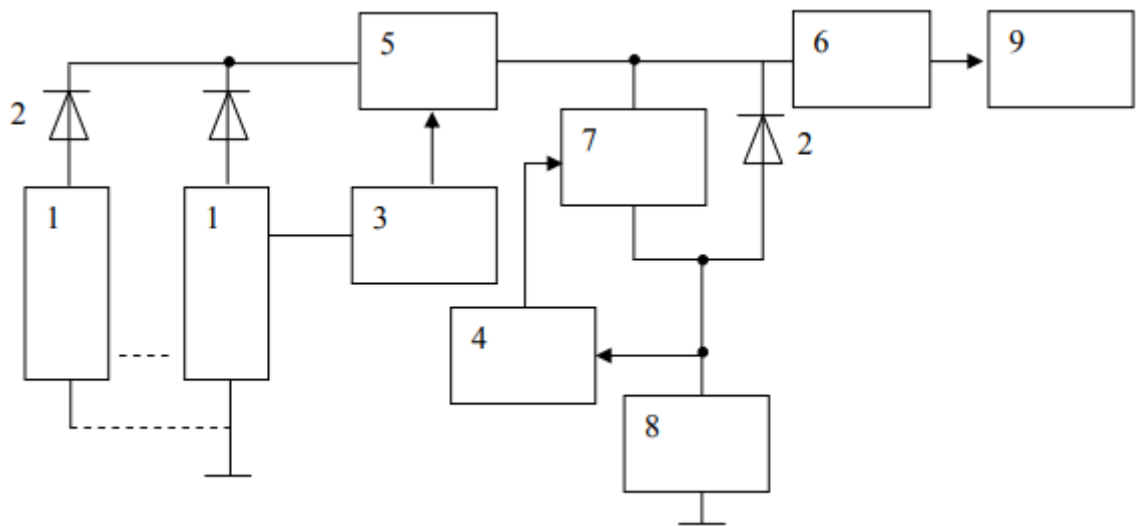


Рисунок 1.1. Структурна схема фотоелектростанції: 1 - сонячні панелі; 2 - діоди; 3 - контролер пікової потужності; 4 - контролер зарядного струму; 5 - ключ; 6 - автономний інвертор; 7 - зарядний пристрій; 8 - акумуляторна батарея; 9 – навантаження.

Сонячні панелі 1 видають електроенергію відповідно до інтенсивності сонячного освітлення. Контролер 3 забезпечує режим генерування максимуму потужності для поточних кліматичних умов, комутуючий пристрій 5 забезпечує підключення виходу панелей до інвертора 6, живить навантаження змінного струму 9. Надлишкова потужність через зарядний пристрій 7 акумулюється в акумуляторній батареї 8. При відсутності сонячного світла навантаження живиться від акумулятора. Діод в ланцюзі акумуляторної батареї захищає її від надмірного заряду, а діоди в ланцюзі сонячних панелей не дозволяють акумулятору розряджатися на панель при відсутності освітлення.

1.2. Структура фотопанелей.

Власне сонячні панелі являють собою групи з кількох фотоелектричних модулів, з'єднаних послідовно-паралельно для отримання необхідних потужності і напруги. Модуль, в свою чергу, об'єднує кілька сонячних осередків - фотоелементів. Зазвичай потужність осередку близько 1 Вт, розмір - кілька квадратних міліметрів.

Більшість фотоелементів є кремнієві напівпровідникові фотодіоди. При опроміненні напівпровідникової структури зовнішнім джерелом світла, енергія отриманих фотонів передається електронам, що викликає появу вільних носіїв електричного заряду, розділених р-n переходом. Носії заряду: електрони і дірки створюють потенційний градієнт в області переходу і створюють струм при наявності зовнішнього електричного ланцюга.

Енергетичні характеристики фотоелементів, головним чином, визначаються наступними факторами: інтенсивністю сонячного освітлення, величиною навантаження, робочою температурою. Вплив інтенсивності сонячного освітлення на вигляд вольт-амперної характеристики сонячного модуля ілюструється кривими, показаними на рисунку 2.



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

При зниженні інтенсивності сонячного випромінювання вольт-амперна характеристика фотоелемента зсувається вниз, що означає стрімке зниження струму короткого замикання. Напруга холостого ходу при цьому зменшується незначно.

Величиною, що впливає на інтенсивність опромінення фотоелектричної панелі, є кут падіння сонячних променів на її поверхню. Якщо позначити через Q кут падіння променів, відкладений від нормалі приймальної поверхні панелі, то залежність струму навантаження, що викликається сонячною батареєю, від величини Q має косинусоїдальний характер $I = I_0 \cdot \cos Q$, де I_0 - максимальний струм панелі, що опромінюється перпендикулярно падаючими світловими променями. Зазначена залежність, звана косинусом Kelly, дає задовільний результат для кутів Q в діапазоні від 0° до 50° . З подальшим збільшенням Q вихідні параметри фотоперетворювача помітно відхиляються від косинусоїдальної залежності і при $Q = 85^\circ$ осередок припиняє генерувати електроенергію.

Слід зазначити, що коефіцієнт корисної дії фотоперетворювача мало залежить від інтенсивності сонячної радіації в робочому діапазоні. Дана залежність представлена графічно на рисунку 3.

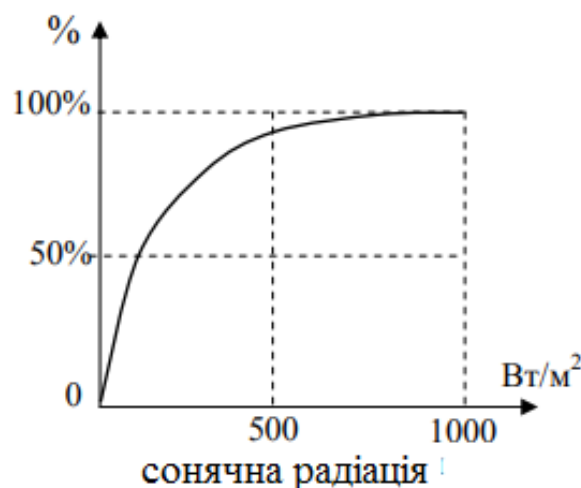


Рисунок 1.3. Залежність ефективності фотоперетворення від інтенсивності сонячного випромінювання.

За графіком видно, що в діапазоні зміни інтенсивності сонячного випромінювання 800 ... 1000 Вт/м² ефективність фотоперетворення змінюється незначно. Отже, потужність фотоелектричного модуля в хмарний день знижується в порівнянні з сонячним тільки через нестачу сонячної енергії, що

падає на приймальну поверхню фотоперетворювача. Зазвичай, при невеликій хмарності, сонячна панель може видавати до 80% своєї максимальної потужності. У похмуру погоду ця величина знижується до 30%.

Для сонячних панелей великої площі, що складаються з множини послідовно-паралельно з'єднаних осередків, слід враховувати тіньовий ефект, що виникає при частковому затемненні панелі. Якщо осередок в послідовному ланцюзі повністю затінений, то вона з джерела потужності перетворюється в споживача. Через послідовний зв'язок з освітленими осередками в ланцюзі протікає струм, що розігріває затінений осередок потужністю втрат, що виділяються на її внутрішній опір.

Таким чином, відбувається зниження електричної потужності, що знімається з панелі.

Для мінімізації негативного впливу тіньового ефекту на енергетику сонячної панелі послідовний ланцюг фотоелектричних модулів ділять за допомогою обхідних діодів (рисунок 4) на кілька коротких ділянок.

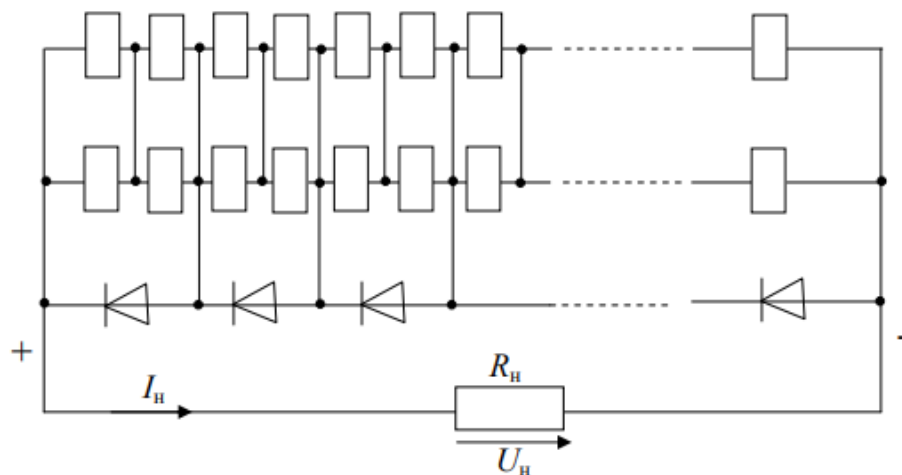


Рисунок 1.4. Схема включення обхідних діодів.

На рисунку 5 зображений вплив температури на потужність фотомодулів.

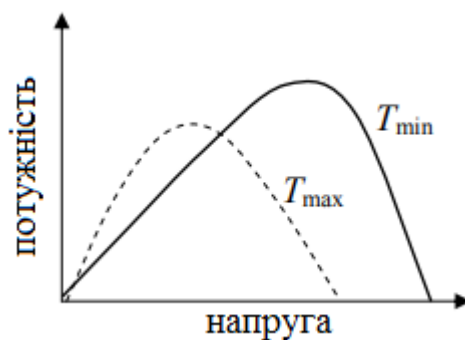


Рисунок 1.5. Залежність потужностної характеристики від температури.

Відтак, потужність, що генерується модулем, збільшується при більш низькій температурі. Однак максимуму потужності при різних температурах відповідають різні напруги. Для усунення цього недоліку фотоелектростанція повинна забезпечуватися регулятором напруги. Величина навантаження сонячної батареї в значній мірі впливає на величину потужності, яка знімається. Робоча точка фотоелектричної панелі може бути визначена як точка перетину її вольт-амперної характеристики з вольт-амперною характеристикою навантаження. Точно також може бути визначена робоча точка на перетині енергетичних характеристик фотоперетворювача і навантаження.

Вид робочих характеристик системи показаний на рисунку 6. Очевидно, що максимальну потужність можна зняти з сонячної батареї на навантаження з опором R_2 .

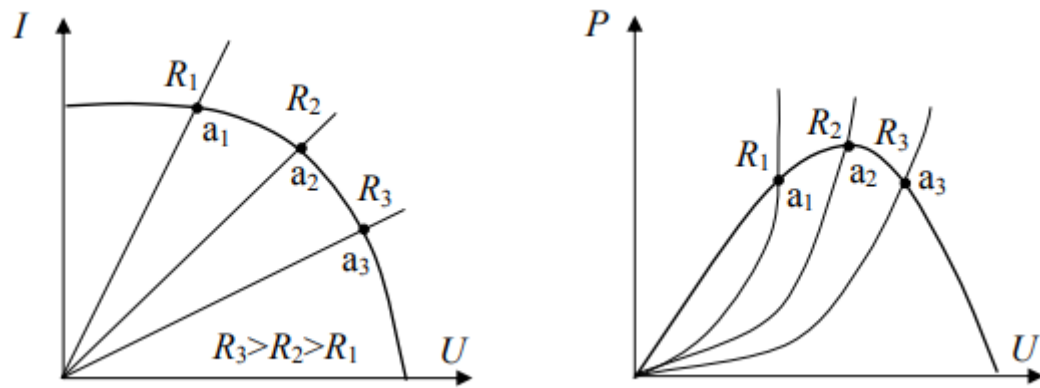


Рисунок 1.6. Вольт-амперні та енергетичні характеристики фотоелектричних систем.

Сонячні елементи на основі кремнію мають ККД 12 ... 15%. ККД лабораторних зразків досягає 23%. Світове виробництво сонячних елементів перевищує 50 МВт в рік і збільшується щорічно на 30%.

Каскадне з'єднання модульних фотоперетворювачів дозволяє побудувати фотоелектричні станції (ФЕС) на потужності до сотень кВт. Загальна площа сонячної панелі, необхідної для отримання корисної потужності енергоустановки визначається виходячи з наведених вище значень ККД фотоперетворення і питомого рівня електричної освітленості поверхні сонячної батареї, яка залежить від часу доби, широти місцевості, метеоумов, розташування поверхні фотоперетворювача щодо сонячного випромінювання та інше.

1.3. Теоретична економічна ефективність.

Вихідними даними для визначення економічної ефективності використання сонячних електростанцій (СЕС) є:

- 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:

$$E \geq 0,2 \text{ кВт/м}^2.$$

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 $K_{\text{уст}} = 100\,000 \dots 120\,000$ грн/кВт встановленої потужності.[4]

Повна вартість комплектного обладнання СЕС визначається з виразу:

$$K_{\text{уст}} = K_{\text{уст.уд}} \cdot P_{\text{сэс}}.$$

До капітальних витрат на СЕС слід також віднести вартість проектних $K_{\text{пр}}$ і будівельних $K_{\text{буд}}$ 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. В цьому 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 $E_{\text{мес}}$. 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/м^2 .

Модуль потужністю P_m протягом обраного періоду виробить наступну кількість енергії:

$$W_m = \frac{k P_m E}{1000}, \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

де E - значення інсоляції за обраний період, $\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^2$; k - коефіцієнт, що враховує поправку на втрату потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, 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:

$$P_{\text{СЭС}} = \frac{30 \cdot W}{W_m} P_m, \text{ кВт},$$

де W - середньодобове споживання 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:

$$k_{\text{рад}} = \frac{E_{\text{год}}}{E_{\text{мес}}},$$

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 $C_{\text{акс}}$ і ремонт $C_{\text{рем}}$:

$$C_{\text{рем}} = k_{\text{рем}} \cdot P_H (K_{\text{уст}} + K_{\text{стр}}),$$

де $k_{\text{рем}}$ коефіцієнт витрат на ремонт.

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

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ РИНКУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Розділ 2. АНАЛІЗ РИНКУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Світовий ринок продажів сонячних панелей за останні роки виріс більш, ніж в 2 рази. І, за прогнозами аналітиків, попит на фотоелектричні сонячні модулі найближчим часом буде стабільно зростати. Поєднання великого попиту з поширенням і розвитком технології виготовлення сонячних батарей призвело до того, що на ринку зараз присутня велика кількість виробників, і при цьому їх число постійно збільшується. [5]

Вартість виробництва фотоелектричних модулів протягом останніх років стала менше в кілька разів. Одна з причин такого значного падіння вартості - перенесення виробничих потужностей з США і країн Європи в азіатські країни, в яких оплата праці та інші виробничі витрати значно менше. Це призвело до того, що всі основні європейські та американські гравці в даний час практично всю продукцію виробляють в країнах Південно-Східної Азії. За обсягами виробництва сонячних панелей саме Китай займає беззастережне перше місце. Переважна більшість панелей, які «виготовлені в Європі» насправді випущені в Азії, тільки під європейські вимоги. Аналогічні панелі, випущені в Китаї великими і надійними вертикально-інтегрованими виробниками, за якістю їм ні в чому не поступаються. Конкуренцію Китаю становить Японія, але її продукція, як у випадку і з американською, і з європейською, істотно програє в вартості виробникам з Піднебесної. Саме на сонячні панелі китайського виробництва припадає велика частина українського ринку.

Сонячні панелі - найважливіший і найдорожчий елемент будь-якої сонячної електростанції (СЕС), їх правильний вибір багато в чому визначає ефективність, надійність і довговічність її функціонування. Існує загальносвітова класифікація, яка поділяє виробників сонячних модулів на три рівні: Tier 1 (найвищий рівень якості), Tier 2 (другий ешелон) і Tier 3 (нижчий клас). Якщо порівнювати вартість панелей, то різниця між сонячною панеллю Tier 1 і Tier 3 може становити до 20%.

Розглянемо докладніше, в чому особливості кожного класу якості фотоелектричних модулів.

2.1. Сонячні батареї Tier 1

Компанії-виробники сонячних батарей, які відносяться до рівня Tier 1 - це топові бренди, які мають відмінну репутацію на ринку, а їх продукція відрізняється відмінною якістю. При цьому є кілька чинників, характерних саме для даного класу модулів:

1. Компанії, що випускають сонячні панелі якості Tier 1, мають власне вертикально інтегроване виробництво. Тобто компанія-виробник не просто проводить збірку сонячних панелей, використовуючи для цього комплектуючі та матеріали, виготовлені іншими виробниками, а й має власний повний цикл виробництва, починаючи від вирощування кремнієвих пластин і виробництва фотоелектричних елементів і закінчуючи складанням фотоелектричних модулів. При цьому здійснюючи жорсткий контроль якості на всіх виробничих етапах.
2. Для виробництва сонячних панелей Tier 1 властивий високий ступінь автоматизації всіх виробничих процесів, завдяки чому вплив людського фактора зведено до мінімуму. При цьому компанії постійно працюють над вдосконаленням всіх технологічних операцій, вважаючи їх бездоганність основним фактором високої якості готової продукції.
3. Важливий показник - компанія, чия продукція відноситься до рівня якості Tier 1, на світовому ринку сонячних технологій працює не менше 5 років. Останні 5 років сонячна енергетика переживає справжній бум, за цей час на ринку з'явилося безліч виробників сонячних панелей, чие число давно обчислюється тисячами найменувань і брендів. При цьому багато хто з них не змогли витримати жорстку конкуренцію і припинили своє існування. Так що саме 5 років - це показовий термін для даної високотехнологічної галузі. Якщо компанія працює більше цього часу, то це говорить про те, що вона змогла правильно організувати виробництво сонячних панелей і елементів, налагодити їх реалізацію та підтримку клієнтів, у своїй діяльності вона орієнтована на

довгострокове функціонування. Чим довше працює компанія на ринку, тим вище ймовірність того, що вона виконає всі заявлені нею гарантійні зобов'язання. Компанії-виробники рівня Tier 1, як правило, дають гарантію на свою продукцію (сонячні модулі та панелі) на строк не менше 10-15 років.

4. Виробники сонячних панелей рівня Tier 1 інвестують значні кошти в проведення науково-дослідних робіт (R & D), мають власні патенти, постійно впроваджуючи нові інноваційні підходи та рішення в організацію виробництва і технологічних процесів.

2.2. Сонячні панелі Tier 2

Виробники сонячних батарей класу Tier 2 - це свого роду «золота середина» між високим класом Tier 1 і нижчим - Tier 3. На сьогоднішній день, на сонячні панелі Tier 2 доводиться 8-9% від усього світового ринку сонячних батарей. Розглянемо особливості, які характерні для виробників Tier 2:

1. Виробничий процес панелей класу Tier 2 автоматизований, хоча автоматизація процесів - не такий домінуючий елемент, як при виробництві продукції Tier 1.
2. Компанії-виробники інвестують в проведення науково-дослідних розробок (R & D), але їх обсяги і якість робіт значно менше, ніж у компаній, чия продукція відноситься до Tier 1. Втім, виробники активно впроваджують отримані власні розробки для оптимізації існуючої продукції та запуску виробництва нових типів і зразків модулів.
3. Торгові марки сегмента Tier 2 в більшості випадків знаходяться на ринку виробництва обладнання для сонячних електростанцій (сонячних панелей) від 2 до 5 років. Вони мають потенціал, як науковий, так і виробничий, який допоможе їм піднятися в класі і перейти в категорію Tier 1, але у них для якісного стрибка поки немає коштів і досвіду.

2.3. Сонячні панелі Tier 3

Це наймасовіший сегмент фотомодулів, який має при цьому найнижчий клас якості. На сонячні панелі Tier 3 припадає близько 90% всього світового ринку сонячних батарей. Відзначимо кілька факторів, які характерні для цього класу якості:

1. Компанії Tier 3 займаються виключно збіркою сонячних панелей, використовуючи для цього компоненти і фотомодулі, які виготовлені іншими компаніями.
2. Виробничі процеси мають недостатній рівень автоматизації, багато в чому залежать від людського фактора - ручної праці. Саме тому сонячні панелі навіть однієї партії можуть істотно відрізнятися за якістю збірки.
3. Компанії не займаються веденням будь-якої дослідницької діяльності, використовуючи чужі (найчастіше - незаконно) технології та розробки.
4. Параметри, заявлені виробником в супровідній документації, не завжди відповідають реальним показникам.
5. Сучасний ринок перенасичений сонячними панелями даного класу.

Купити сонячні панелі класу Tier 3 - це свого роду лотерея, адже в більшості випадків таке придбання можна порівняти з покупкою кота в мішку. Можна придбати сонячні батареї як гарної якості, так і досить посередню, не надто надійний і продуктивну сонячну панель.

2.4. Ціна та якість

Щоб визначитися з якістю обраних сонячних панелей, перед покупкою слід уточнити ряд параметрів. [6] При цьому не принципово, який саме тип сонячних панелей ви виберете: полікристалічні або монокристалічні. Важлива не стільки технологія, по якій виготовлена панель, а ціна за 1 Вт її потужності. Не менш важливі і умови, які Ви отримаєте, придбавши ту чи іншу модель сонячної батареї. Ось характеристики, які слід перевірити перед тим, як купити сонячну панель:

1. Гарантія. Точніше кажучи, придбавши сонячну панель, покупець отримує два види гарантії: гарантія виробника і гарантія вироблення. Зараз практично у всіх моделей сонячних батарей гарантія вироблення на фотоелектричні модулі становить 25 років. Через цей час продуктивність сонячної панелі складе 80% від вихідних показників, іншими словами - зниження генерації за 25 років експлуатації складе 20%. Це свого роду стандарт галузі, але при цьому набагато важливіше, наскільки ефективною буде панель, наприклад, через 10 років.
2. Допустима похибка номінальної потужності. Це параметр показує, наскільки реальне значення потужності може відхилятися від паспортних даних, зазначених виробником. Наприклад, зазначена виробником потужність сонячної панелі становить 250 Вт, при цьому можливе відхилення потужності - в межах $\pm 5\%$. На практиці - це значить, що фактична потужність панелі коливається в межах 237,5 - 262,5 Вт. Якісні панелі Tier 1, як показує практика, мають мінімальне відхилення від зазначеної в техпаспорті даних, при цьому відхилення завжди направлено в позитивну сторону.

3. ККД або ефективність роботи фотоелементів - параметр вказує, яка кількість сонячної енергії, що потрапляє на площину панелі, буде потім в модулі перетворено в електричний струм. Якщо порівнювати полікристалічні і монокристалічні сонячні панелі, то різниця ККД, як правило, не дуже велика. Набагато важливіше, яка буде вартість 1 Вт потужності - за цим показником обидва типи панелей приблизно рівні, хоча вартість монокристалічних панелей трохи вище. Саме тому ККД панелі не настільки важливо, значення вище 14% - прийнятний результат, хоча сонячні панелі Tier 1 можуть мати ККД в межах 19-20,5%. Суттєве значення розмір ККД має в тому випадку, коли площа установки сонячних панелей обмежена, наприклад, найпоширеніший випадок - дахові сонячні електростанції. У цьому випадку за рахунок вибору панелей з високим ККД можна скоротити площу, необхідну для установки.
4. Температурний коефіцієнт - ще один важливий показник роботи сонячної батареї. Вся справа в особливостях функціонування фотоелементів - їм необхідно багато сонячного світла, але при цьому вони не переносять високу температуру. На спеці, коли сонячні панелі сильно нагріються, починається скорочення вироблюваної електроенергії, при цьому падіння потужності - досить значне. Температурний коефіцієнт вказує, наскільки знизиться генерується потужність при підвищенні температури на 1 градус. У модулів хорошої якості він становить -0,4% на 1 ° C, це значення притаманне панелям Tier 1 і Tier 2. Для сонячних батарей Tier 3 значення температурного коефіцієнта становить -0,5% / 1 ° C. Слід врахувати, що тестування параметрів проводиться при температурі 25 ° C, а в літній період власна температура сонячної батареї може підніматися до 60-70 ° C.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР СУПУТНЬОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Сонячні панелі

Щоб зробити правильний вибір сонячних батарей потрібно взяти до уваги наступні параметри:

- Номінальна напруга;
- Різновид фотоелементів.

Номінальна напруга - з цим пунктом визначитися досить просто і тут рідко виникають складності. Найчастіше перевага віддається панелям на 24 В. Це пояснюється тим, що в порівнянні з 12-вольтовими аналогами сили струму у них приблизно в 2 рази менше. Компанії, що займаються виробництвом сонячних батарей, випускають моделі, які працюють на одній і тій же потужності, але вимагають різної напруги. Пристрої відрізняються один від одного в залежності від внутрішньої комутації фотоелементів. Складовими частинами панелей, розрахованих на номінальну напругу понад 24 В, є низьковольтні деталі, але їх асортимент невеликий. Купівля панелей на 12 В буде раціональною тільки в парі випадків.

Структурний різновид фотоелементів. Останнім часом вони виготовляються з полікристалічного і монокристалічного кремнію. Другий варіант вважається більш прийнятним, хоча він і дорожче. Коефіцієнт корисної дії у фотоелементів з кремнієвих монокристалів становить приблизно 16-18%. У полікристалів він нижчий і дорівнює 12-14%. У випадку з автономною системою енергопостачання важливу роль відіграє собівартість вата. [7] З огляду на незначні відмінності в ціні панелей з тими чи іншими фотоелементами, можна порахувати, що часто дешевшим виходить ват електроенергії, отриманої за рахунок роботи монокристалів. До того ж при похмурій погоді фотоелементи, вироблені з монокристалічного кремнію, зберігають номінальну напругу більш тривалий час. Що стосується переваг полікристалів кремнію, то головне з них - це знижена напруга холостого

ходу. Однак якщо при з'єднанні панелі з інвертором використовувався контролер, то підвищена напруга не зможе завдати якоїсь шкоди системі.

Отже, обраний фотомодуль LP72-375M PERC - це фотомодуль, створений на бюджетному китайському виробництві за прогресивною японською технологією.

Таблиця 3.1. - Характеристики фотомодулю серії LP156*156-M-72.

Потужність	365Вт	370Вт	375Вт
Напруга розімкнутого ланцюга	47,88В	48,09В	48,30В
Струм короткого замикання	9,84А	9,92А	10,04А
Максимальна напруга живлення	39,20В	39,40В	39,60В
Максимальний струм живлення	9,31А	9,39А	9,47А
Ефективність модуля	18,8%	19,1%	19,3%

Таблиця 3.2. - Механічні характеристики фотомодулю серії LP156*156-M-72.

Вага	21,5кг	Розподільна коробка	IP67
Розмір модуля	1960*990*40мм	Рама	Алюмінієвий сплав
Кількість елементів	72 шт	Кабель	4 мм ² Довжина 1100 мм
Розмір елемента	156,75*156,75мм	З'єднання	(Сумісний з) MC4
Максимальна напруга системи	1000/1500В	Рівень застосування	Клас А

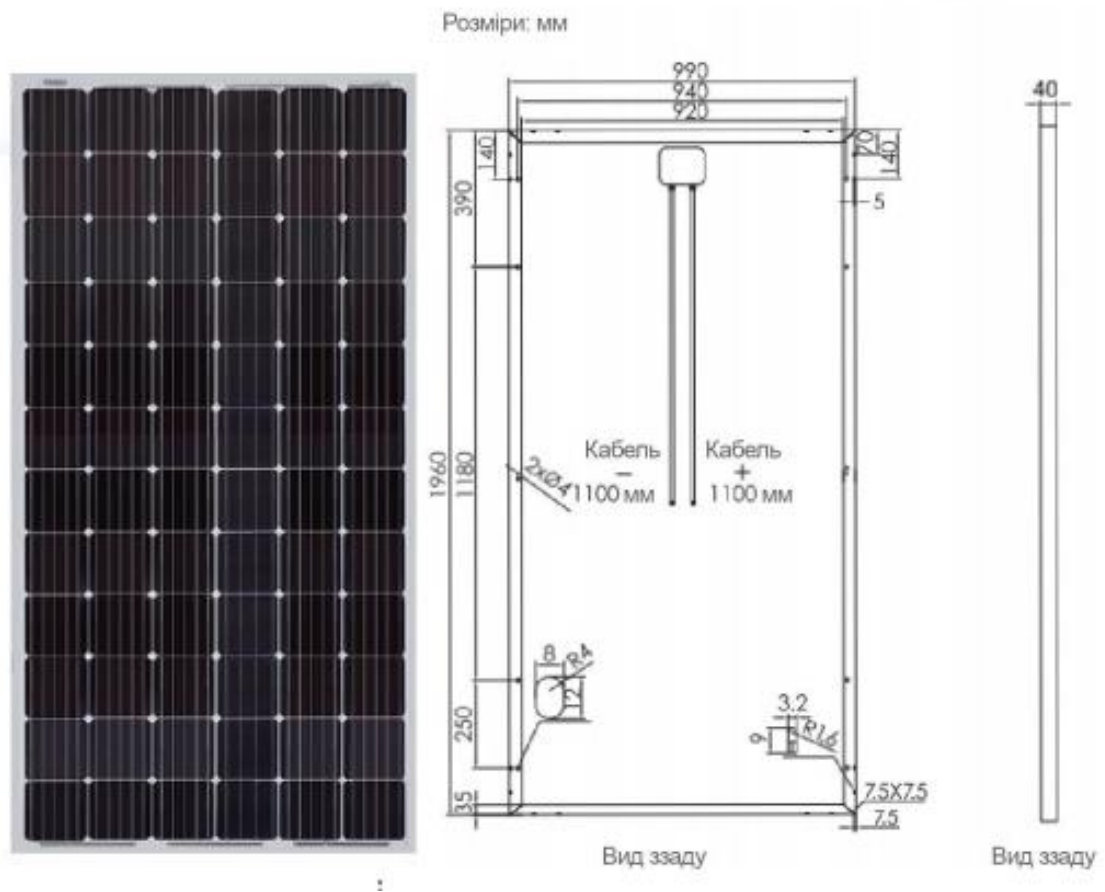


Рисунок 3.1. - Вигляд фотомодулю серії LP156*156-M-72.

3.2. Інвертори

Інвертори виробляються в різному виконанні, з різними технічними параметрами, ціною, наявністю або відсутністю схем автоматичного захисту. Але за типом взаємодії зі стандартними електричними мережами, діляться на три групи:

- Автономні - можуть функціонувати без взаємодії з зовнішніми електроживлення мережами, застосовуються для електроживлячих систем автономного виду.
- Мережеві - функціонують паралельно з зовнішньої електричної мережею. Даний вид крім перетворення напруги виробляє контроль якості електроенергії та передає надлишки виробленої енергії в зовнішню мережу.
- Комбіновані - результат поєднання двох попередніх. Мають велику кількість налаштувань, які дозволять ретельно відрегулювати необхідний режим роботи.

Асортимент сонячних інверторів просто величезний. На сучасному ринку зустрічаються 12-, 24-, 48- і 96-вольт моделі. Показник напруги визначається на основі того, якою є потужність.

Головна вимога, що виставляється до даного типу пристроїв, - забезпечення необхідної потужності на виході. Цей показник дуже тісно пов'язаний з низьковольтних напругою на вході.

При виборі інвертора для автономної системи необхідно звернути увагу на форму імпульсів струму, який буде вироблятися. Недорогі моделі влаштовані таким чином, що дозволяють отримати змінний струм, який має форму трикутника або прямокутника (меандру). Він підійде для харчування нагрівальних приладів, в будові яких відсутні електронні блоки, і лампи розжарювання. Якщо ж спробувати жити таким струмом трансформатор або

мотор, то це призведе до нестабільної роботи пристрою або його поломки, навіть незважаючи на те, що напруга буде стандартним.

Існує ток, імпульси якого нагадують трапеції. Він вважається більш якісним, але інвертори, які могли б його зробити, сьогодні практично не випускаються. Більшість популярних моделей призначені для отримання струму в вигляді «модифікованого синуса», який за зовнішнім виглядом нагадує синусоїду. Дана форма сумісна з більшістю видів сучасної техніки і електричними інструментами. Примітно лише те, що споживання подібного струму здатне стати причиною появи різних звуків в момент роботи приладів, наприклад, дзвону. Це вказує на те, що при виробленні струму з'являються деякі нерівності. Щоб позбутися від них, слід провести монтаж спеціальної фільтраційної системи.

Найбільш якісними вважаються інвертори, які перетворюють струм в форму «чистого синуса». Він настільки гарний, що електрику з легкістю можна назвати ідеальним. В даному випадку будь-які претензії до приладу відсутні, але основна проблема полягає в самих інверторах: вони мають досить великі розміри і дорого коштують.

Важлива роль відводиться коефіцієнту корисної дії. Якщо у вибраній моделі ця характеристика є досить привабливою, то обсяг втрат буде мінімальним. ККД переважної частини сучасних інверторів перевищує 90%.

Вибираючи інвертор, треба звернути увагу на його індикацію. Вона повинна бути максимально докладною. Бажано наявність системи, що захищає від короткого замикання і перевантаження, а також контролерів напруги на вході в акумуляторах і на виході в мережі.

Відмінним вибором стане модель, яка зможе витримати короткострокове перевищення номінального навантаження приблизно в 1,5-2 рази. Це подарує вам можливість користуватися нагрівальними приладами і блоками харчування з силою, яка збігається з номінальною потужністю інвертора.

Отже, обраний інвертор – це автономний інвертор ABi-Solar SL PWM 4048.

Основні характеристики:

- Синусоїдальна вихідна напруга, дозволяє використовувати пристрій для харчування холодильників, електричних фенів, телевізорів, ламп денного світла і т.п. навантажень без ризику їх пошкодити.
- Завдяки використанню тороїдальних трансформаторів з холоднокатаної сталлю сердечників, підвищена надійність і знижені статичні втрати.
- Високоєфективне двухпроцесорне управління.
- Реалізація технології MPPT підвищує ефективність заряду від сонячних батарей.
- Широкий частотний діапазон, автоматична настройка на частоту вхідного напруги і видача потрібної частоти на вихід. 50/60 Гц.
- «Розумний» алгоритм перемикання між основним режимом і харчуванням від сонячних батарей; покращено енергозбереження.
- Повний діапазон реалізації автоматичних захисних функцій і попереджень: перевантаження, коротке замикання, перенапруги, аварійно низька напруга, перегрів та інше.
- Дружній та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Інвертор має декілька сонячний режимів роботи, але найважливіший в умовах автономної СЕС – це коли недостатньо сонячної енергії, виставлен пріоритет сонця PV, немає живильної мережі

Інвертор буде конвертувати енергію з акумуляторної батареї та сонячної батареї, і подавати її на навантаження.

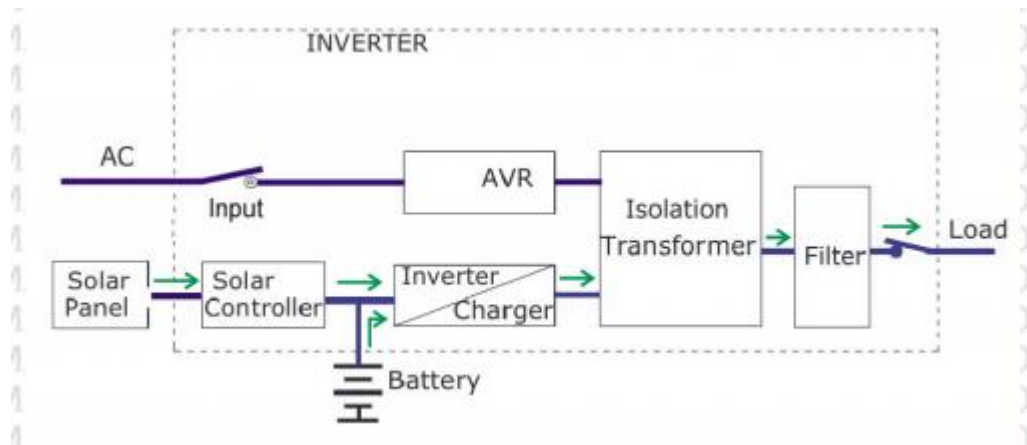


Рисунок 3.2. - Режим роботи інвертора.

Якщо ємність акумуляторних батарей знизиться менше 30%, інвертор відключить харчування виходу. У цей момент сонячна енергія буде заряджати акумуляторну батарею.

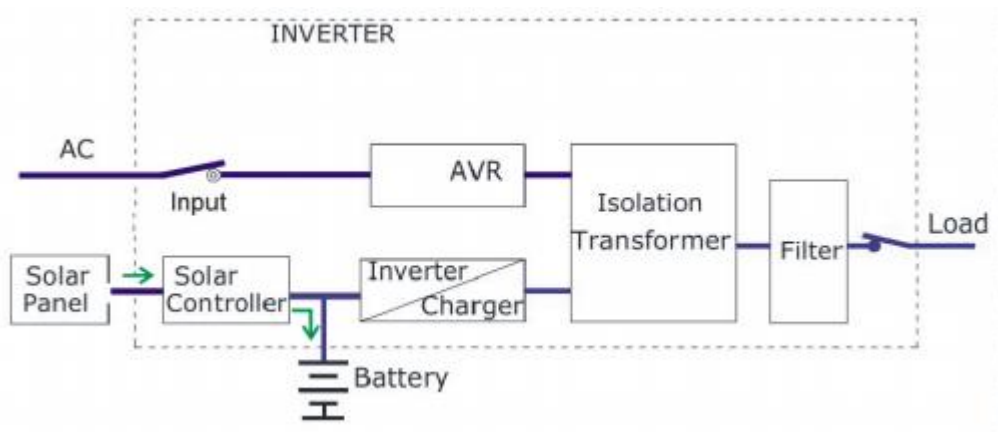


Рисунок 3.3. - Режим роботи інвертора.

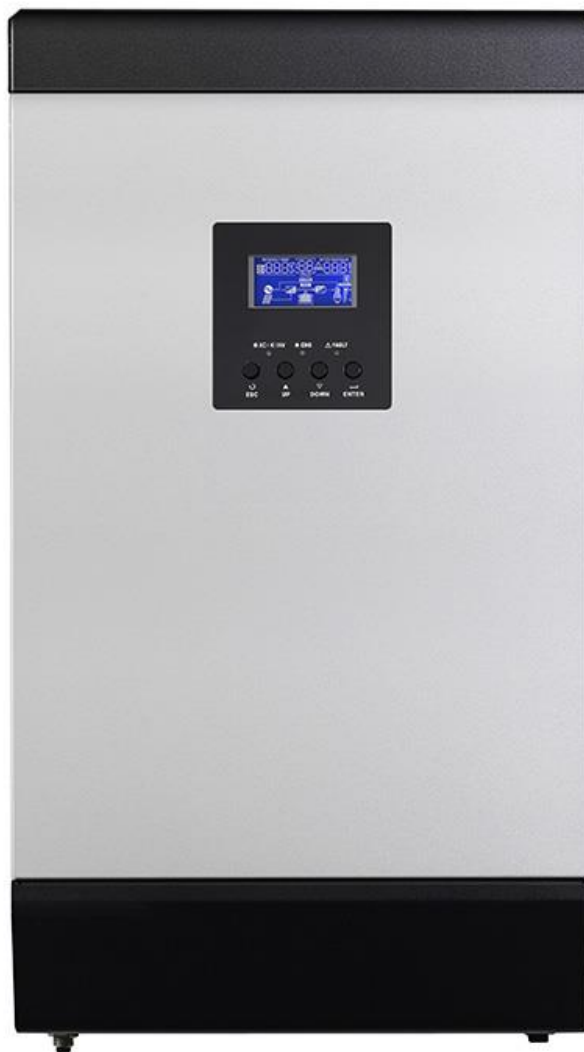


Рисунок 3.4. - Вигляд інвертора.

Таблиця 3.3. - Характеристики інвертора.

Модель інвертора	1кВА	2кВА	3кВА	4кВА	5кВА
Номинальная мощность	1кВА/0,8кВт	2кВА/1,6кВт	3кВА/2,4кВт	4кВА/3,2кВт	5кВА/4кВт
Форма выходного напряжения	Чистая синусоида				
Выходное напряжение	230В±5%				
Выходная частота	50Гц				
Эффективность	90%				
Защита от перегрузки	5с при≥150% нагрузки, 10с при 110% - 150% нагрузки				
Макс. мощность	2 номинальные мощности в течение 5с				
Напряжение постоянного тока	12В	24В		48В	

3.3. Акумулятор

Для створення аварійного запасу електроенергії в комплексних енергосистемах використаємо накопичувальний електрохімічний акумулятор.

Так як він працює в зв'язці з сонячними батареями, то цикл заряд-розряд повторюється дуже часто (кожну добу), тому акумулятор може мати відносно велике значення саморозряду. Експлуатація буде відбуватися в сухому опалювальному приміщенні з температурою 20-25 градусів, без вібрацій.

Обраний накопичувальний акумулятор повинен відповідати таким вимогам:

- витримувати зберігання в розрядженому стані
- витримувати велику кількість циклів заряд-розряд і систематичний "недозаряд"
- мати максимальний термін експлуатації при мінімальному обслуговуванні
- відповідати екологічній безпеці використання та експлуатації.

З огляду на вище сформульовані вимоги і особливості експлуатації, можна виділити два основних типи акумуляторів, придатних для використання в комплексі з альтернативними джерелами енергії, - свинцево-кислотні та нікель-залізні акумуляторні батареї.

Нікель-залізні мають ряд переваг:

- максимальний термін служби (20-50 + років)
- не бояться повного розряду
- стійкі до недбалого поводження (коротке замикання, порушення режимів заряду-розряду, нестабільна робота в сільській місцевості)
- не містять високотоксичних матеріалів.

Недоліки цього типу батарей, на зразок високого саморозряда і низькій швидкості заряду-розряду, нівелюються типом використовуваних джерел енергії. Через наявність сонячних батарей немає потреби в довгостроковому

накопленні заряду, так як підзарядка відбувається щодоби. А низька швидкість заряду не суттєва, тому що потрібно запасати енергію про запас протягом довгих годин роботи.

Однак, нікель-залізний акумулятор має низьку ефективність заряду (ККД) – 65-70%.

Електроліт в свинцово-кислотних GEL-накопичувачах має желеподібну масу, що захищає АКБ від протікань, свинцеві пластини - від осипання, і гарантує відсутність випаровування отруйних речовин. У порівнянні з AGM варіанти з гелем дорожче, але на 50-70% ефективніше: кількість циклів - 350 (повний розряд), 550 (половинний), 1200 (при розрядці на третину).

Додаткова перевага - здатність без шкоди для працездатності перебувати в повністю розрядженому стані до 3-5 діб.

Таким чином, на питання які АКБ краще для СЕС, правильною відповіддю буде GEL. З урахуванням терміну повної експлуатації СЕС близько 20 років необхідність рідкісної зміни накопичувачів окупає витрати на них швидше, ніж придбання дешевих варіантів.

Отже, вибрано акумулятор серії ALTEK 6FM200GEL.

Дана модель має такі властивості:

- повністю відновлюється після глибокої розрядки
- може використовуватися при низьких температурах
- може бути використана в житлових приміщеннях (не виділяє отруйних кислотних випарів)
- розрахована на роботу в навантаженні (на відміну від автомобільних АКБ)
- має високий клас герметичності і безпеки.



Рисунок 3.5. - Вигляд акумулятора.

Таблиця 3.4. - Характеристики акумулятора

Расчетный срок службы	10 лет - зависит от режима использования
Тип	GEL
Глубина розряда АКБ	Разряд до 70%
Напряжение и емкость	(12V 200AH)
Тип клем	болт M8
Габариты (мм)	522x240x219
Вес (кг)	62

3.4. Контролери заряду

Контролер заряду є невід'ємною частиною сонячної електростанції. Адже він виконує дуже важливу функцію - підтримка довгої і безперебійної роботи акумуляторів.

В даний час для електростанцій на сонячних панелях застосовують контролери двох типів: контролери, що працюють за принципом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) і MPPT-контролери.

У ШІМ контролерах сонячні модулі підключається до акумулятора безпосередньо, через що їх напруга знижується до напруги акумулятора, але оптимальне напруга сонячного модуля найчастіше відрізняється від напруги на акумуляторі.

Відокремити напруга сонячних батарей від напруги акумуляторів основне завдання просунутого сонячного контролера. Завдяки цьому сонячний модуль працює в своєму (оптимальному з точки зору вироблення) діапазоні напруг, а акумулятор в своєму.

MPPT контролер постійно вимірює струм і напруга на сонячній батареї, перемножує їх і визначає оптимальне співвідношення, при якому потужність сонячних модулів буде максимальною. Паралельно контролер управляє зарядом акумуляторів за допомогою багатостадійного зарядного пристрою.

Контролер може знаходити точку максимальної потужності (ТММ) різними способами. У базовому випадку контролер по черзі знижує напругу від точки холостого ходу сонячного модуля до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь в проміжку між цими значеннями.

Положення ТММ залежить від декількох умов - від ступеня освітленості модуля, температури, типу модулів та інше. Контролер буде робити періодичні спроби трохи зрушити від знайденої на попередній стадії точки в

різні боки вольт-амперної характеристики, і якщо потужності в сусідніх точках вище, то він переходить на роботу в цій точці. Теоретично, при пошуку ТММ втрачається трохи енергії, але ця втрата дуже незначна в порівнянні в тій додатковою енергією, яку забезпечує МРРТ контролер.

Додаткову вироблення енергії при використанні МРРТ контролера важко оцінити однозначно. Основними факторами, що впливають на додаткову вироблення є вулична температура і показник зарядженості акумуляторної батареї. Максимальна надбавка до вироблення в порівнянні з використання ШІМ контролера буде при низьких температурах сонячного модуля і виряджених батареях.

Якщо сонячні панелі підібрані правильно, то підвищувати напругу в системі не обов'язково. Незважаючи на це, зберігається необхідність у зниженні так званого «оптимального» напруги батареї. Дана величина відповідає максимальному показнику одержуваної потужності. Якщо її знизити, то надлишок напруги буде перетворений в додаткову силу струму. Це дозволить батареї працювати на повній номінальній потужності.

Пряма комутація виходу фотоелектричної панелі на акумулятори в разі підвищеного навантаження є причиною скорочення напруги приблизно на 15-40%, при цьому потужність може зменшитися на 25%. [9] Щоб цього не сталося, потрібен контролер з технологією МРРТ, яка дозволяє відстежити пікове значення. Суть в тому, що виробляється регулярне вимірювання струму і напруги, а також забезпечується їх оптимальне співвідношення. Це гарантує те, що показник потужності теж наблизиться до ідеального значення. Втрати в такому випадку складуть менше 3%. Основна проблема в тому, що контролери МРРТ коштують величезних грошей. Звідси з легкістю можна зробити висновок, що для малопотужної системи краще купити більш просту модель.

Зустрічаються контролери заряду, установка яких дозволяє забезпечити відключення низьковольтної навантаження при виряджених акумуляторах. Ця

функція хоч і здається корисною, але вже виконується інверторами. У зв'язку з цим її наявність у контролерів необов'язкова.

РОЗДІЛ 4
ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ДЛЯ ДОНЕЦЬКОЇ
ОБЛАСТІ

4.1. Основні відомості про сумарну сонячну радіацію

Всі сонячні промені, що надходять на Землю, становлять сумарну сонячну радіацію, тобто сукупність прямої і розсіяної радіації

Сонячна радіація розподіляється по землі нерівномірно. Це залежить:

1. від щільності і вологості повітря - чим вони вищі, тим менше радіації отримує земна поверхня;

2. від географічної широти місцевості - кількість радіації збільшується від полюсів до екватора. Кількість прямої сонячної радіації залежить від довжини шляху, який проходять сонячні промені в атмосфері. Коли Сонце знаходиться в зеніті (кут падіння променів 90°), його промені потрапляють на Землю найкоротшим шляхом і інтенсивно віддають свою енергію малої площі. На Землі це відбувається в смугі між від 23° с.ш. і 23° ю. ш., тобто між тропіками. У міру віддалення від цієї зони на південь або на північ довжина шляху сонячних променів збільшується, тобто зменшується кут їх падіння на земну поверхню. Промені починають падати на Землю під меншим кутом, як би ковзаючи, наближаючись в районі полюсів до дотичній лінії. В результаті той же потік енергії розподіляється на велику площу, тому збільшується кількість відбитої енергії. Таким чином, в районі екватора, де сонячні промені падають на земну поверхню під кутом 90° , кількість одержуваної земною поверхнею прямої сонячної радіації вище, а в міру пересування до полюсів це кількість різко скорочується. Крім того, від широти місцевості залежить і тривалість дня в різні пори року, що також визначає величину сонячної радіації, що надходить на земну поверхню;

3. від річного і добового руху Землі - в середніх і високих широтах надходження сонячної радіації сильно змінюється за порами року, що пов'язано зі зміною полуденної висоти Сонця і тривалості дня;

4. від характеру земної поверхні - чим світліше поверхня, тим більше сонячних променів вона відображає. Здатність поверхні відображати радіацію

називається альбедо (від лат. *білизна*). Особливо сильно відбиває радіацію сніг (90%), слабкіше пісок (35%), ще слабше чорнозем (4%).

Земна поверхня, поглинаючи сонячну радіацію (поглинена радіація), нагрівається і сама випромінює тепло в атмосферу (відображена радіація). Нижні шари атмосфери значною мірою затримують земне випромінювання. Поглинена земною поверхнею радіація витрачається на нагрів ґрунту, повітря, води.

Та частина сумарної радіації, яка залишається після відображення і теплового випромінювання земної поверхні, називається радіаційним балансом.

Радіаційний баланс земної поверхні змінюється протягом доби і по сезонах року, проте в середньому за рік має позитивне значення усюди, за винятком крижаних пустель Гренландії і Антарктиди. Максимальних значень радіаційний баланс досягає в низьких широтах (між 20° с.ш. і 20° ю.ш.) - понад $42 \cdot 10^2$ Дж/м², на широті близько 60° обох півкуль він знижується до $8 \cdot 10^2$ - $13 \cdot 10^2$ Дж/м².

4.2. Розподіл сумарної сонячної радіації в Україні в залежності від пори року

Залежність сумарної радіації від широти пояснюється перш за все таким же залежністю місячних сум прямої радіації. Місячні суми розсіяної радіації в межах України від широти практично не залежать.

Дані більшості актинометричних станцій переконливо підтверджують залежність сумарної радіації від широти; відхилення від середнього широтного значення більш 4% зустрічаються рідко. [10]

Для середніх умов хмарності розподіл сумарної радіації значно складніше.

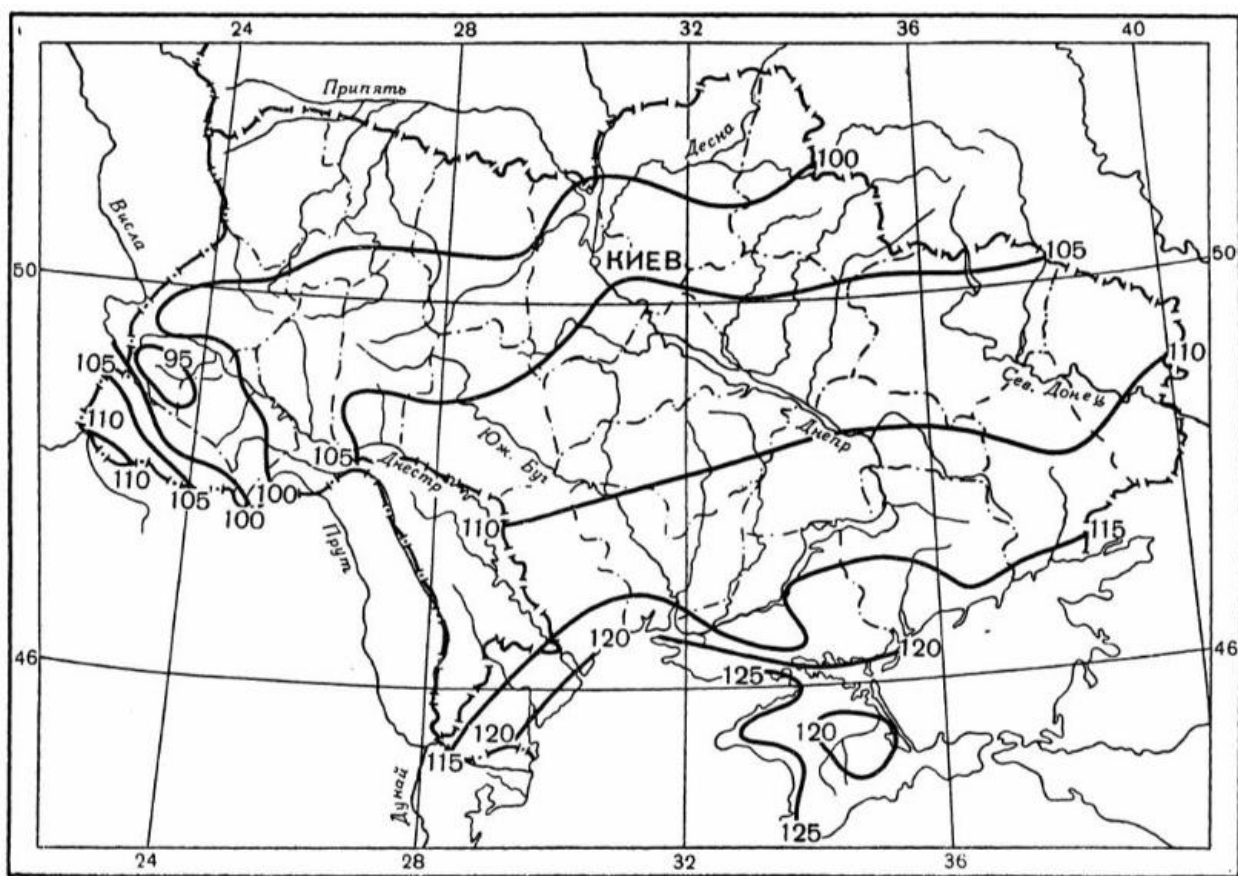


Рисунок 4.1. - Сумарна радіація на території України.

На більшій частині України розподіл річних величин сумарної радіації близько до широтного. Відзначається тенденція до їх певного зростання в східних районах порівняно з західними. Деяка звивистість ізоліній пояснюється особливостями хмарного режиму окремих районів в теплий період року. Річні

величини сумарної радіації змінюються по території від 96 ккал/см² в північно-західних областях України до 127 ккал/см² на західному узбережжі Криму, що становить 27% середньої величини. Найменші її величини спостерігаються в Карпатах (94 ккал/см²). Це заниження викликано сильним ослабленням сумарної радіації в літні місяці, коли в Карпатах дуже інтенсивно розвивається хмарність. Істотні відхилення від зонального розподілу відзначаються в західних районах, що знаходяться під впливом Карпат, в південного степу, де на радіаційний режим роблять помітний вплив Чорне і Азовське моря, і в Криму.

Взимку спостерігаються найменші значення сумарної радіації - від 7 ккал/см² на півночі до 11 ккал/см² на півдні. Розподіл сумарної радіації обумовлено в цей час не тільки характером хмарності і середньою висотою сонця, але також значенням альbedo підстильної поверхні, яке в свою чергу залежить від тривалості залягання снігового покриву. Найбільші середні величини сумарної радіації (10-11 ккал/см²) спостерігаються взимку в гірських районах Карпат і Криму. Це пояснюється дещо меншим, ніж на рівнинній частині території, кількістю хмар і більш тривалим заляганням снігового покриву.

Навесні сумарна радіація різко зростає і становить за сезон 32 ккал/см² на півночі і 37 ккал/см² на півдні. Таке зростання сумарної радіації в весняні місяці пояснюється як збільшенням висоти сонця і подовженням дня, так і зменшенням хмарності за рахунок ослаблення циклонічної діяльності. Розподіл сумарної радіації по території навесні більш складне, ніж взимку. У Карпатах спостерігаються найменші величини сумарної радіації (30-31 ккал/см²). У Прикарпатті і Закарпатті її значення більш високі (32-34 ккал/см²). Така ж зона підвищених значень сумарної радіації виділяється в північній частині України, вздовж Дніпра. У приморських районах на прихід сумарної

радіації суттєво впливають бризи Чорного і Азовського морів. Конфігурація ізоліній сумарної радіації відповідає береговій лінії. У Криму східна частина більш хмарна, ніж західна, тому на його західному узбережжі сумарна радіація становить 38 ккал/см^2 , а в східній частині півострова 35 ккал/см^2 .

Влітку спостерігаються максимальні значення сумарної радіації: від 42 ккал/см^2 сезон на північному сході України до 54 ккал/см^2 в Західному Криму. Мінімальні значення відзначаються в Карпатах ($39\text{-}41 \text{ ккал/см}^2$). На півдні, в Причорноморського степу і в Криму, істотно впливає бризова циркуляція. У вузькій прибережній смузі утворюється зона зменшеною хмарності і відносно високих значень сумарної радіації ($51\text{-}54 \text{ ккал/см}^2$). На порівняно невеликій відстані від берега бризи загасають, створюються умови, сприятливі для конвекції. Тому тут виникає смуга збільшеної кількості хмар і щодо зменшених значень сумарної радіації ($47\text{-}48 \text{ ккал/см}^2$). У літню пору на розподіл сумарної радіації поряд з великими неоднорідностями земної поверхні (горами і морями) істотний вплив роблять відмінності в лісистості, наявність річкових заплав, боліт, лугів, що чергуються з масивами сільськогосподарських полів. Це призводить до утворення районів підвищених і знижених значень сумарної радіації. Так, в північній частині України уздовж Дніпра протягом усього літа спостерігається смуга збільшених сезонних і місячних величин сумарної радіації, а по обидва боки цієї смуги розташовуються зони зменшених величин.

4.3. Сумарна сонячна радіація на території Донецької області

Для території Донецької області розподіл сумарної радіації в залежності від місяця року представлений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. – Розподіл сонячної радіації.

Місяць	Сумарна радіація на горизонтальну поверхню, (кВт*год/м2)	Пряма сонячна радіація	Розсіяна сонячна радіація	Коефіцієнт для перерахунку	Сумарна радіація на похилу поверхню 45, (кВт*год/м2)
Січень (31)	30,27	8,15	22,12	2,52	37,21
Лютий (28)	48,89	17,46	31,43	1,95	60,87
Березень (31)	94,29	39,58	54,71	1,56	108,44
Квітень (30)	121,06	60,53	60,53	1,3	130,35
Травень (31)	167,62	88,47	79,15	1,15	169,3
Червень (30)	182,75	108,25	74,5	1,09	181,58
Липень (31)	190,9	116,4	74,5	1,11	192,79
Серпень (31)	166,46	104,76	61,7	1,22	180,47
Вересень (30)	117,56	73,33	44,23	1,43	142,61
Жовтень (31)	71,01	37,25	33,76	1,77	94,75
Листопад (30)	31,4	10,45	20,95	2,32	42,13
Грудень (31)	22,11	3,49	18,62	2,74	25,46

Розсіяна сонячна радіація по території області змінюється незначно і її величини в основному визначаються хмарністю.

У зв'язку з південним становищем Донецької області тут відзначається велика кількість тепла і сонця. Характеристиками сонячної радіації є тривалість її саява, інтенсивність і якісний склад.

Тривалість сонячного саява залежить від широти, місяця, пори року і хмарності. Довжина дня на півночі області змінюється від 8 год 40 хв до 16 год 20 хв, на півдні від 8 год 40 хв до 15 год 42 хв.

Число днів без сонця на півночі становить 80-90, на півдні і сході області 70-75 днів, на узбережжі Азовського моря 71-88 днів.

Найбільше число днів без сонця відзначається взимку, і досягає на півночі території 20 (в грудні). До літа їх кількість скорочується і на більшій частині території в червні - серпні днів без сонця не буває.

У добовому ході найбільше число годин сонячного сяйва доводиться на після полудня взимку і до полудня - влітку, що відповідно становить в грудні 7.5 - 7.8 ч в місяць, а в липні - 26.5 - 26.8 ч.

Характеристики потоків сонячної радіації по території області змінюються незначно, що пояснюється порівняно невеликою її протяжністю з півночі на південь.

Оскільки територія області знаходиться у відносно низьких широтах, найбільша висота сонця в день літнього сонцестояння досягає майже 65° . В день зимового сонцестояння висота сонця складає на півночі області $16,5^\circ$, а на півдні - $20,1^\circ$ тому приплив променевої енергії сонця в області великий. У зв'язку з невеликим про тяжіння з півночі на південь область характеризується несуттєвою зміною потоків сонячної радіації по території, що залежать в основному від умов рельєфу і альбедо підстильної поверхні.

Основними характеристиками радіаційного режиму є пряма, розсіяна, сумарна сонячна радіація, а також радіація відображена і поглинена земною поверхнею і залишкова радіація, або радіаційний баланс діляльної поверхні.

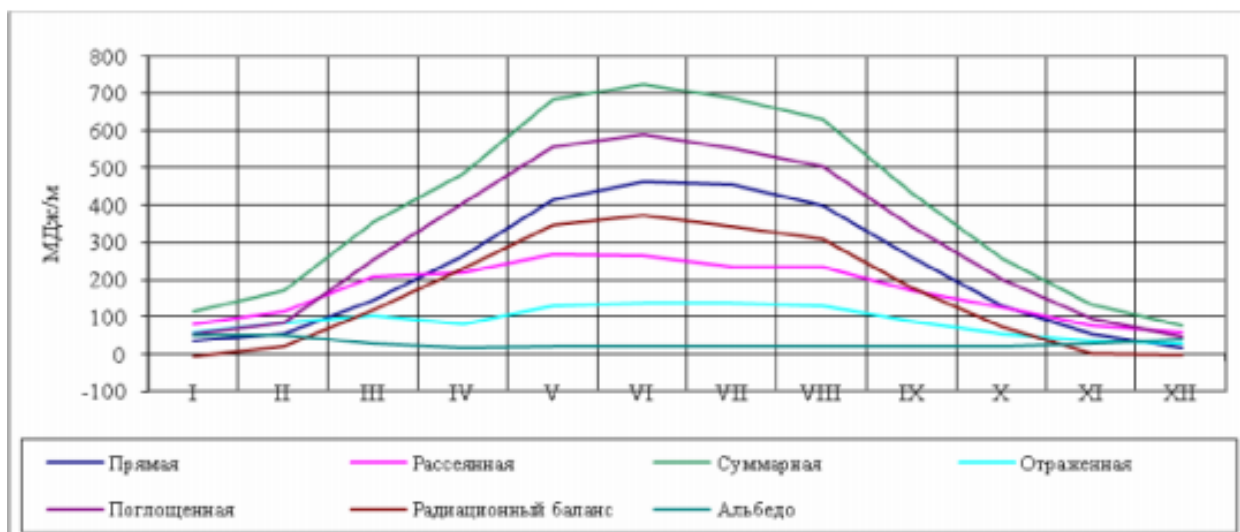


Рисунок 4.2. - Річний хід потоків сонячної радіації.

У місці розташування сонячної електростанції, що планується у межах міста, дані по сонячній радіації показують, що встановлення станції буде технічно доцільне.

Таблиця 4.2. Тривалість сонячного саява (1, ч) і число днів без сонця (2).

1	47	68	132	189	270	297	330	304	245	152	79	36	2143
2	18	12	7	3	1	0	0	0	1	4	10	18	70

РОЗДІЛ 5
ОСНОВНІ РОЗРАХУНКИ

5.1. Географічні відомості щодо розташування сонячної електростанції

Автономна сонячна станція проектується для модернового котеджного містечка Дубровка, яке знаходиться у місті Донецьк.



Рисунок 5.1. - Котеджне містечко "Дубровка" на Google карті.

Котеджне містечко "Дубровка" - це торгова марка, яка офіційно зареєстрована на території України. Селище, що займає площу 5,5 гектарів, складається з 40 одноповерхових і двоповерхових будинків. [11] Всі котеджі витримані в єдиному архітектурному стилі.

Розташоване селище поблизу мікрорайону Широкий. Ідея проекту - максимально комфортне житло, що сполучає переваги життя за містом і в мегаполісі.

Існуючий ландшафт з південного боку - це близько сорока гектарів природного дубового і змішаного лісу, що закриває будинку від пронизують степових вітрів і створює затишок.

Електропостачання передбачено мережеве, але враховуючи нестабільну енергетичні ситуацію в місті в дипломній роботі запропонована автономна система електропостачання від сонячної фотоелектростанції. У будівлю житлового будинку підводиться кабель живлення електропостачання без внутрішньої розводки. Для забезпечення передбачених заходів безпеки від ураження електричним струмом виконується пристрій захисного заземлення згідно з ПУЕ, 380 В, потужність 15 кВт.

Автономна сонячна станція для всього котеджного містечка згідно з умовами проекту розташовується окремо від приватних будинків для централізованого та узгодженого обслуговування, надзору та ремонту. Її географічне розташування представлене у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. - Координати розташування сонячної станції.

Широта	Довгота
47°56	37°45

5.2. Аналіз навантаження споживача.

Для розрахунку потужності електричної станції потрібно розрахувати навантаження споживача. Так як в котеджному містечку лише типові проекти одної площі, то у розрахунках представлений середній розподіл споживання для одного дому з сорока наявних.

Таблиця 5.2. - Розподіл споживання по електроприладах.

Прибор	Кількість, шт	Потужність, Вт	Одиниці виміру	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Світлодіодна лампа	50	3	t, год	8	8	7	7	6	6	6	6	7	7	8	8
			w, кВт*год	1,2	1,2	1,05	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	1,05	1,05	1,2	1,2
Холодильник	1	200	t, год	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
			w, кВт*год	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Мікрохвильова піч	1	1500	t, год	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			w, кВт*год	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Роутер	1	7	t, год	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
			w, кВт*год	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168
Телевізор	2	340	t, год	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
			w, кВт*год	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Ноутбук	2	50	t, год	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
			w, кВт*год	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Блок живлення	4	4	t, год	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			w, кВт*год	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
Пральна машина	1	425	t, год	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			w, кВт*год	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425
Кондиціонер	4	1000	t, год	0	0	0	0	1	3	4	4	2	0	0	0
			w, кВт*год	0	0	0	0	4	12	16	16	8	0	0	0
Кухонна піч	1	1800	t, год	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			w, кВт*год	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Електрочайник	1	800	t, год	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			w, кВт*год	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Система орошення сада	1	100	t, год	0	0	0	0	1	2	2	2	1	0	0	0
			w, кВт*год	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0	0

Таблиця 5.3. - Сумарне споживання електроенергії.

Середнє за день, кВт*год	11,675	11,675	11,525	11,525	15,475	23,575	27,575	27,575	19,625	11,525	11,675	11,675
Середнє за місяць, кВт*год	361,925	326,9	357,275	345,75	479,725	707,25	854,83	854,825	588,75	357,275	350,25	361,925
Загалом за рік, кВт*год	5946,68											

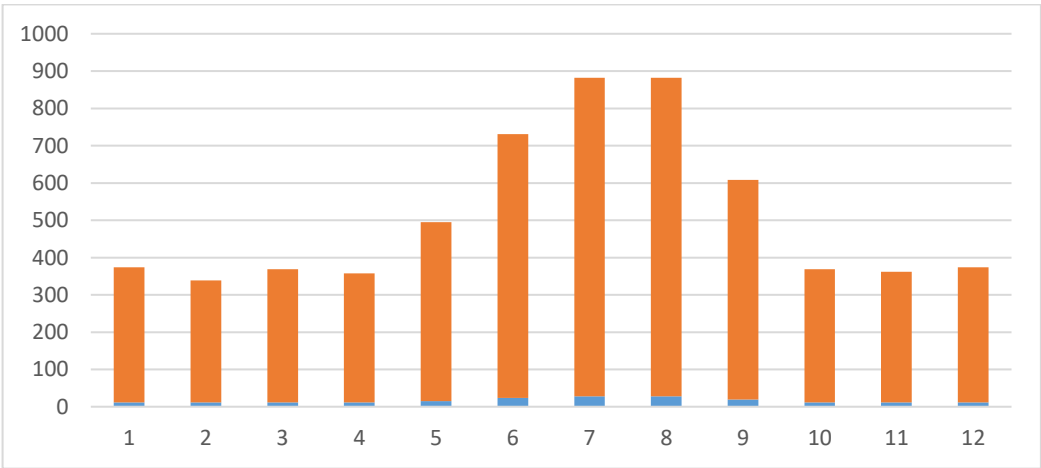


Рисунок 5.2. - Розподіл споживання електроенергії по місяцях року.

5.3. Розрахунок фотопанелей.

Фактична кількість електроенергії виробленої сонячними фотоперетворювачами визначається за кількістю сонячної радіації, що поступає на робочу поверхню сонячного фотоперетворювача з врахуванням ККД елемента.

ККД - нехай не єдиний, але все ж ключовий параметр. Він показує, який відсоток сонячного світла панель може трансформувати в електроенергію.

ККД вимірюється в лабораторних умовах при наступних параметрах:

- Обсяг енергії сонячного світла - 1000 Вт;
- Температура - 25 градусів;
- Робоча площа модуля - 1 м²
- Кут нахилу панелі - 30 градусів.

Взагалі, еталоном для кремнієвих елементів є 20% ККД. Деяким виробникам вдалося збільшити цей показник за рахунок технологічних рішень, але в середньому корисну дію становить 16-18%. При цьому:

- Полікристалічні панелі показують 14-16%;
- Монокристалічні дотягують до 17-20%.

Вплив ККД на ефективність очевидний - чим більше сонячної енергії може перетворити модуль, тим вище потужність на виході. Також очевидно, що при експлуатації досягти лабораторних умов неможливо, тому фактичний ККД часто відрізняється від заявленого.

В проєкті обрано фотопанелі LP72-375M PERC. Продукт представлений LEAPTON SOLAR складається з очищеного монокристалла, з'єднаного за стандартом IBM 5 і має ККД в 19,1%. При стандартному розмірі 1960 x 992 мм видає 375 Вт енергії, що дуже непогано для батареї такого класу. Вартість в Україні - 4000 грн.

Виробничий процес відповідає строгому контролю якості за світовими стандартами: ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 та ISO17025: 2005.

Кожен фотоелектричний сонячний модуль складається з 72 напівпровідникових монокристалічних крем'яних елементів (осередків) з'єднаних між собою, які перетворюють сонячне світло в електричну енергію. Полікристалічні осередки мають унікальний 5 струмопровідних шин, що забезпечує мінімальний опір для руху електронів і максимально можливу ефективність перетворення. Така структура фотоелектричної осередку нівелює можливість появи мікротріщин.

Всі сонячні панелі Leapton служать не менше 25 років, витримують стандартну для пристроїв класу А навантаження: вітрове до 2400 Па і снігове до 5400 Па. Зниження потужності протягом перших десяти років експлуатації становить до 10%. У зв'язку з природним зносом продуктивність після 25 років роботи падає на 20%. Це нормальні для галузі показники деградації. До важливих характеристик модулів, зазначених у специфікаціях, відноситься і температурний коефіцієнт. Він показує, наскільки падає продуктивність пристроїв в результаті перегріву. У сонячних батареях Leapton температурний коефіцієнт становить $-0,4\% / ^\circ \text{C}$, що є середнім показником.

Для визначення ефективності сонячної станції потрібно знати інсоляцію на похилій площині. Підібраний кут нахилу сонячних панелей 45° , як оптимальний. Орієнтація південно східна. Так як у довідниках представлені дані сумарної сонячної радіації лише на горизонтальну поверхню, потрібно провести перерахунок її на похилу поверхню відповідно до формули:

$$I = K \sum S + D \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

де K - коефіцієнт для перерахунку прямої сонячної радіації з горизонтальної поверхні на похилу,

S – пряма сонячна радіація

D – розсіяна сонячна радіація.

α - кут нахилу поверхні по відношенню до горизонтальної площини.

Результати перерахунку наведені у таблиці . Дані по сонячній радіації на горизонтальну поверхню взяті з довідника [12].

Таблиця 5.4. - Показники сонячної радіації по місяцях.

Місяць	Сумарна радіація на горизонтальну поверхню, (кВт*год/м2)	Пряма сонячна радіація	Розсіяна сонячна радіація	Коефіцієнт для перерахунку	Сумарна радіація на похилу поверхню 45, (кВт*год/м2)
Січень (31)	30,27	8,15	22,12	2,52	37,21
Лютий (28)	48,89	17,46	31,43	1,95	60,87
Березень (31)	94,29	39,58	54,71	1,56	108,44
Квітень (30)	121,06	60,53	60,53	1,3	130,35
Травень (31)	167,62	88,47	79,15	1,15	169,3
Червень (30)	182,75	108,25	74,5	1,09	181,58
Липень (31)	190,9	116,4	74,5	1,11	192,79
Серпень (31)	166,46	104,76	61,7	1,22	180,47
Вересень (30)	117,56	73,33	44,23	1,43	142,61
Жовтень (31)	71,01	37,25	33,76	1,77	94,75
Листопад (30)	31,04	10,45	20,95	2,32	42,13
Грудень (31)	22,11	3,49	18,62	2,74	25,46

Так як станція передбачена автономна, вона повинна забезпечувати максимальне споживання при мінімальній ефективності, яка очікується взимку.

Виходячи з цього, розрахуємо площу сонячної станції за формулою:

$$S = E_{\text{кор.}} / E_{\text{сон.}} \cdot \eta_{\text{сон.}}, \text{ де}$$

- $E_{\text{кор.}}$ - корисна електроенергія, тобто та, що поступає до споживача, кВт.год;
- $E_{\text{сон.}}$ - енергія сонячної радіації, що поступає на робочу поверхню сонячного фотоперетворювача, кВт.год;
- $\eta_{\text{сон.}}$ - ККД сонячного фотоперетворювача.

Розрахунки потрібної площі для забезпечення потреб споживання кожного місяця наведені у таблиці . Корисна електроенергія розрахована виходячи з того, що на інверторі, контролері та акумуляторах втрати складуть 25%.

Таблиця 5.5. - Основні дані у розрахунку площі по місяцях.

Місяць	Середнє значення споживання за місяць	Корисна електроенергія	Енергія сонячної радіації, що поступає на фотомодуль	ККД Сонячного перетворювача	Площа необхідної сонячної станції
Січень (31)	361,925	452,40625	37,21	0,19	63,9904737
Лютий (28)	326,9	408,625	60,87	0,19	35,33198447
Березень (31)	357,275	446,59375	108,44	0,19	21,6755203
Квітень (30)	345,75	432,1875	130,35	0,19	17,45048755
Травень (31)	479,725	599,65625	169,3	0,19	18,64197003
Червень (30)	707,25	884,0625	181,58	0,19	25,62485145
Липень (31)	854,825	1068,53125	192,79	0,19	29,17085266
Серпень (31)	854,825	1068,53125	180,47	0,19	31,16223574
Вересень (30)	588,75	735,9375	142,61	0,19	27,16047446
Жовтень (31)	357,275	446,59375	94,75	0,19	24,80731843
Листопад (30)	350,25	437,8125	42,13	0,19	54,69442952
Грудень (31)	361,925	452,40625	25,46	0,19	93,52260512

Вибираємо найбільшу площу, яка відповідає площі, яка необхідна у грудні.

Обрана сонячна панель при габаритах 1960*992мм має площу 1,945 м².

Для визначення кількості панелей потрібно розділити необхідну площу станції (93,5 м²) на площу однієї панелі (1,945 м²) та округлити до більшого цілого значення. (Ефективна площа станції дорівнює 95,3 м²)

Отримано приблизно 49 сонячних панелей.

Для визначення кількості панелей у стрінгу треба поділити потрібну напругу стрінгу (220В) на напругу однієї панелі (32,74В). Отримано 7 панелей в одному стрінгу.

Виходячи з кількості панелей, вони будуть розташовані 7 стрінгів по 7 рядів.

Книжна орієнтація панелей дозволила зайняти мінімальну площу, яка архітектурно пасує до конфігурації котеджного містечка.

При проектуванні PV-системи, яка нахилена або змонтована на землі, визначення відповідного відстані між кожним рядом може бути складним. Тим не менш, це важливо зробити правильно в перший раз під час установки, щоб уникнути випадкового затінення модулів. Це може призвести до малоефективної роботи системи.

Використані теоретичними даними о том, що для того, щоб правильно встановити багаторядне геліополе, треба витримувати відстань між рядами мінімум в 1,7 висоти панелі.

Кожне кріплення панелей в стрінгах передбачує 24мм ділини.

Тоді фактична площа станції складе:

$$S = (1960*7+24*6)*(cos_45^{\circ}*992*7+992*1,7*6) = 210 \text{ м}^2$$

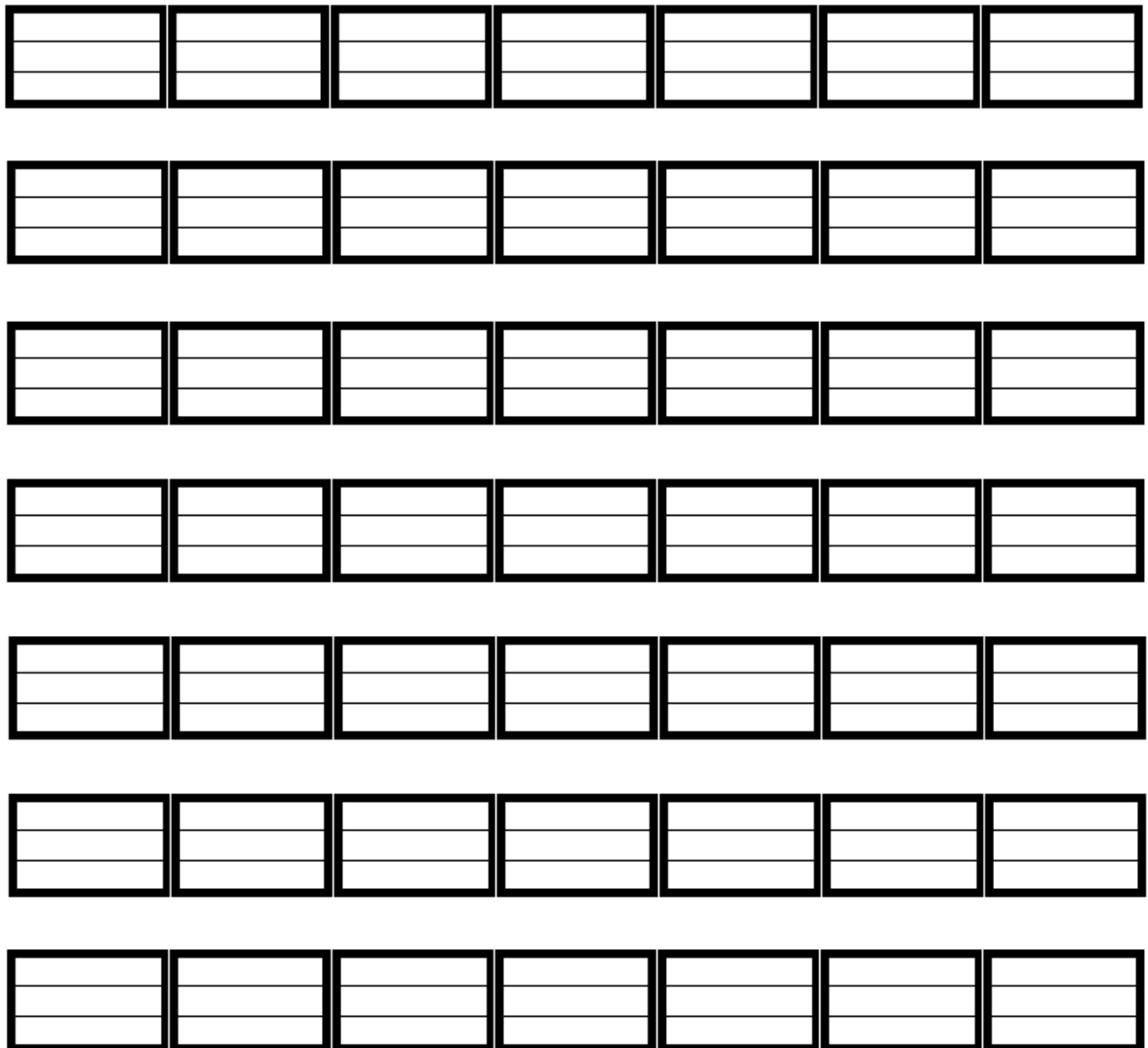


Рисунок 5.3. - Розташування сонячних панелей.

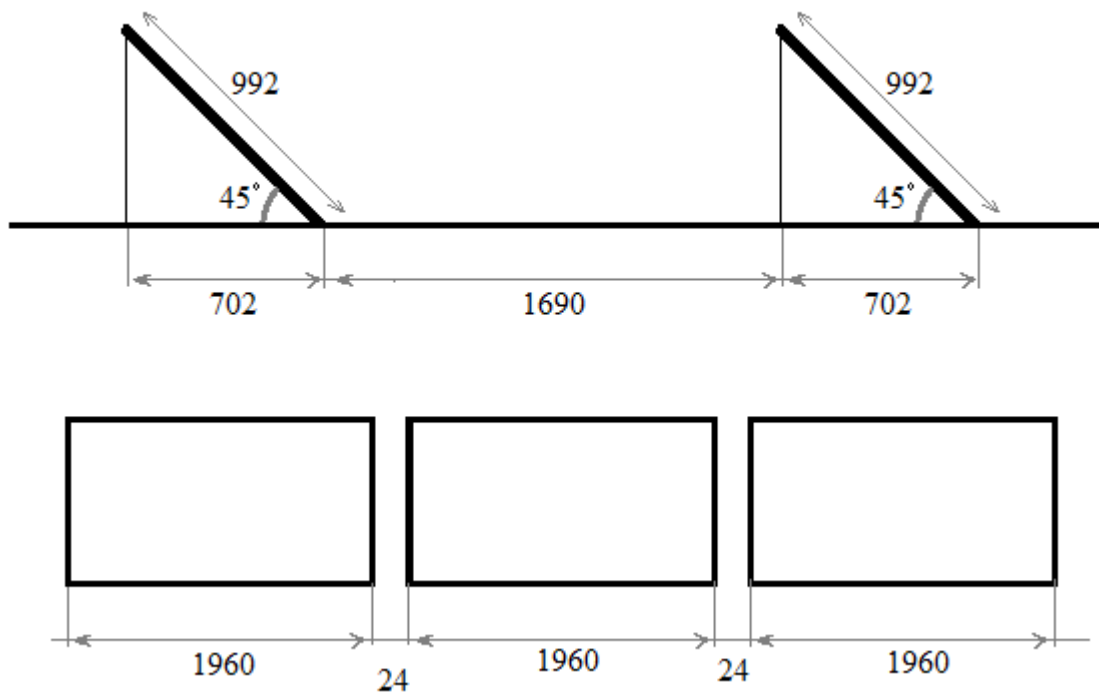


Рисунок 5.4. - Складові площі станції.

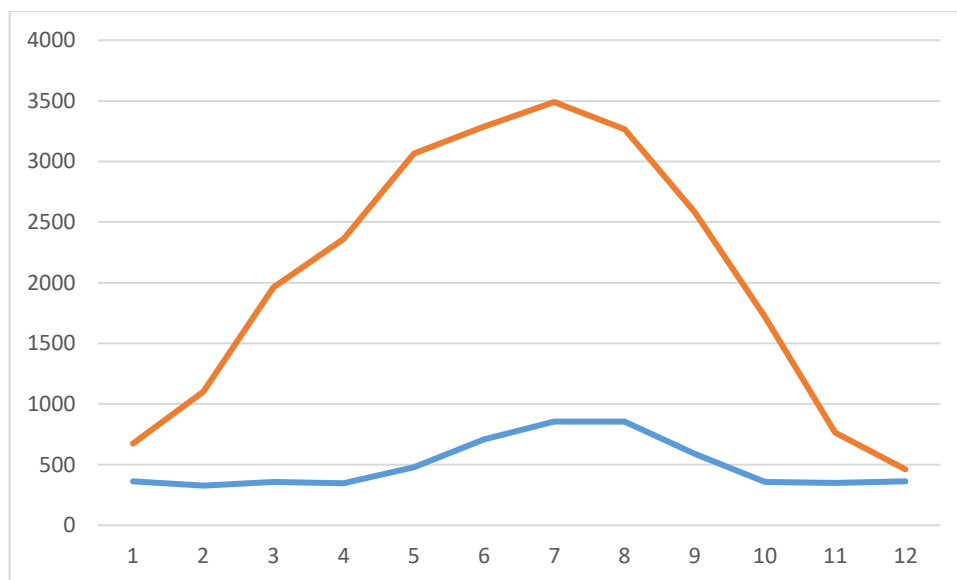


Рисунок 5.5. – Споживання (син.) та Генерація (черв.) станції.

5.4. Вибір системи кріплення для сонячних панелей.

Ефективність і довговічність сонячних панелей багато в чому залежить від правильності і надійності монтажу. Кріпильні системи, виготовлені з оцинкованої сталі і екструдованого алюмінію, захищають сонячні батареї від снігу і вітру, забезпечують потрібне положення фотоелектричних модулів щодо Сонця. Тип конструкцій підбирають, виходячи з місця розміщення панелей.

Є два види кріпильних конструкцій для сонячних електростанцій - статичні (стаціонарні) і динамічні (що стежать). Перші відрізняються незмінністю орієнтації і кута нахилу сонячних батарей. З огляду на це, панелі потрібно встановлювати так, щоб вони були максимально висвітлені днем.

Розрізняють такі стаціонарні системи кріплення:

- Фасадні системи призначені для настінних геліоустановок, бувають навісними і вмонтованими. Такі кріплення для сонячних панелей дозволяють вигідно використовувати будь-яку доступну площу, створювати сучасний, енергоефективний дизайн.
- Наземні системи відіграють роль основної підтримуючої конструкції для електростанцій на ґрунті. Застосовуються в основному при будівництві середніх і великих промислових об'єктів.
- Покрівельні системи необхідні для установки фотомодулів на даху. Найпростішими у виконанні є накладні конструкції для скатної покрівлі. Якщо дах плоска, використовують опорні углообразуючі кріплення для сонячних панелей. Вони забезпечують необхідний кут нахилу для найбільш продуктивної роботи станції.

Рухливі кріплення для сонячних панелей дозволяють геліоустановці працювати максимально ефективно. Стежать для електростанцій, або трекари, бувають одноосьовими і двоосьовими. Перші змінюють кут нахилу кілька разів на рік. Другі прямують за Сонцем весь день. Вартість таких

трекерів вище. Обидві системи відрізняються міцністю, простотою у використанні і управлінні.

Вибрана статична система - дешевий варіант. Вона компактніше і легше монтується.

Обрана система кріплення кронштейнів FA-GM-01 від марки FOEN для сонячних батарей може працювати з бетонною основою або штифтом в залежності від стану ґрунту.

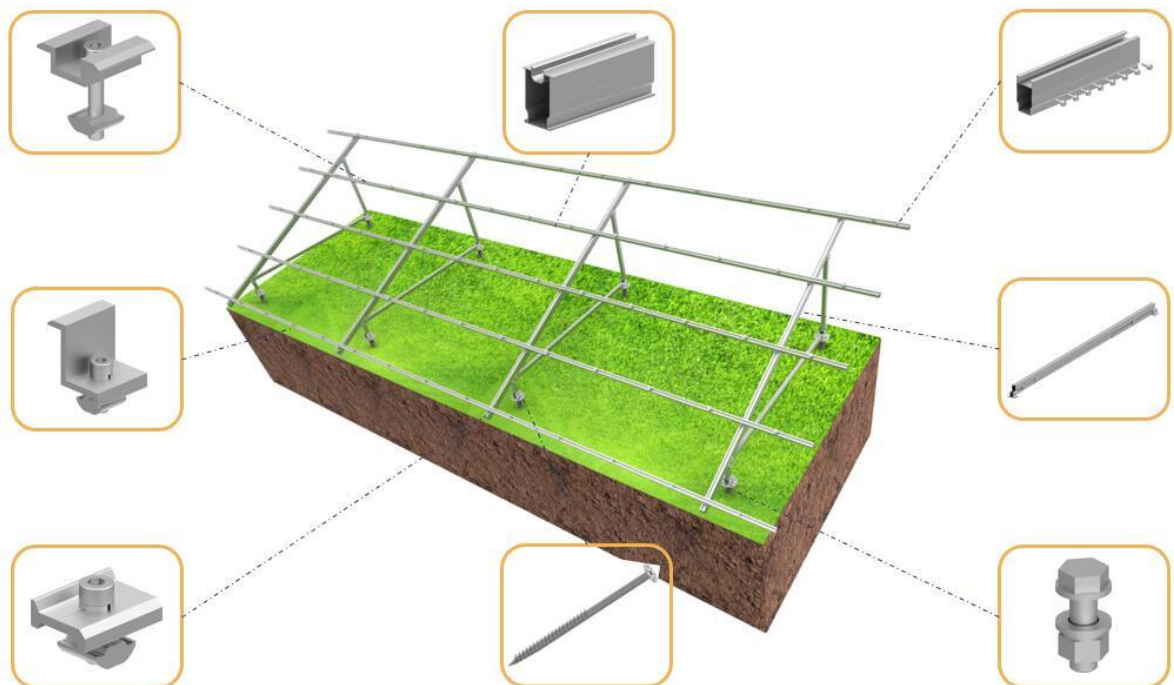


Рисунок 5.5. - Елементи системи наземного кріплення сонячних панелей.

5.5. Розрахунок акумулятора та інвертора.

Прогноз щоденного використання електроенергії може бути кілька оптимістичним. Тобто, далеко не завжди сонячна енергія може бути Вами затребувана повністю. Пояснюється це тим, що для зберігання електроенергії, вироблюваної ФЕП, використовуються акумуляторні батареї (АКБ) обмеженою ємності. Як правило, ємність АКБ в електростанції не дозволяє накопичити енергію, вироблену ФЕП на багато днів вперед. Термін повної автономії електростанції - якщо повністю відключити ФЕП - складе більше 4 днів, але це коли АКБ майже нові. По закінченню терміну комфортного використання АКБ (у міру їх старіння), цей термін може знизитися вдвічі. А сонячна енергія не надходить рівними частками кожні 2-4 дні.

У похмуру і дощову погоду потужність роботи ФЕП може знижуватися протягом дня більш ніж в 10 разів у порівнянні зі значенням їх номінальної зазначеної потужності. А та енергія, що надходить від сонячних модулів в ясні дні, заповнює собою брак енергії, недоотриманої в похмурі дні - сонячні панелі видають протягом ясного дня значно більше енергії, щодо «середньої» розрахункової. Виходить, що чим більше період автономії електростанції, тим краще. Адже похмура погода може встановитися надовго, особливо в осінні місяці. А перед цим можуть йти ясні дні, причому, один за іншим, коли бажано накопичити якомога більше енергії в АКБ.

Але якщо оснастити станцію занадто великою кількістю АКБ, то вона вийде значно дорожче. В середньому, вартість АКБ в складі вартості сонячної електростанції і так часто перевищує половину ціни.

При створенні автономних сонячних електростанцій, доводиться вибирати певний мінімальний співвідношення між ємністю АКБ і потужністю ФЕП.

У похмурі дні, якщо вони тривають більше трьох днів поспіль, можна відмовитися від використання деяких видів потужних приладів, або користуватися додатково рідкопаливним генератором. У деяких випадках,

харчування потужних навантажень можна здійснювати генератором безпосередньо, використовуючи його окремо від електростанції. Наприклад, запустивши генератор, можна окремо від електростанції короткочасно включити потужний і енерговитратний насос водопостачання, щоб накачати води в бак, не витрачаючи енергію, накопичену в АКБ. В цьому випадку, використання генератора «безпосередньо» - для живлення навантаження високої потужності - може бути економічно виправдано. Генератор досить ефективний тільки в тому випадку, якщо працює короткочасно, і на рівні потужності, близькому до номінального значення його потужності.

Використання енергії від акумуляторів планується як в нічний час, так і в час повного простою генерації. Тому акумуляторна батарея повинна забезпечувати безперебійне добове споживання мінімум на день взимку.

Максимальне навантаження за добу – 12 кВт*год.

Батарея обраних акумуляторів від китайської компанії ALTEK на 200А.год. запасає приблизно $200\text{А} * 12\text{В} = 2\,400\text{Вт}$.

Отже, потрібно 5 акумуляторних батарей, які будуть розташовані в технічному приміщенні кожного дома разом із інверторами та іншим супутнім обладнанням для контролю кліматичних умов експлуатації.

Це задовольняє повному забезпеченню енергією взимку та накопиченню резервної енергії влітку.

Так як опалення в котеджному містечку також автономне газове, то у будинках встановлені газогенератори, які будуть слугувати резервним джерелом живлення в періоди довгострокового повного затінення.

Згідно з розрахунками, до інвертору 12 кВт AXIOMA рекомендується підключати від 40 до 60 сонячних батарей LP72-375M PERC. При цьому в одному стрінгу має бути від 8 до 22 панелей підключених послідовно. На один

із входів MPPT можливо паралельне підключення панелей не більше ніж в 7 рядів.

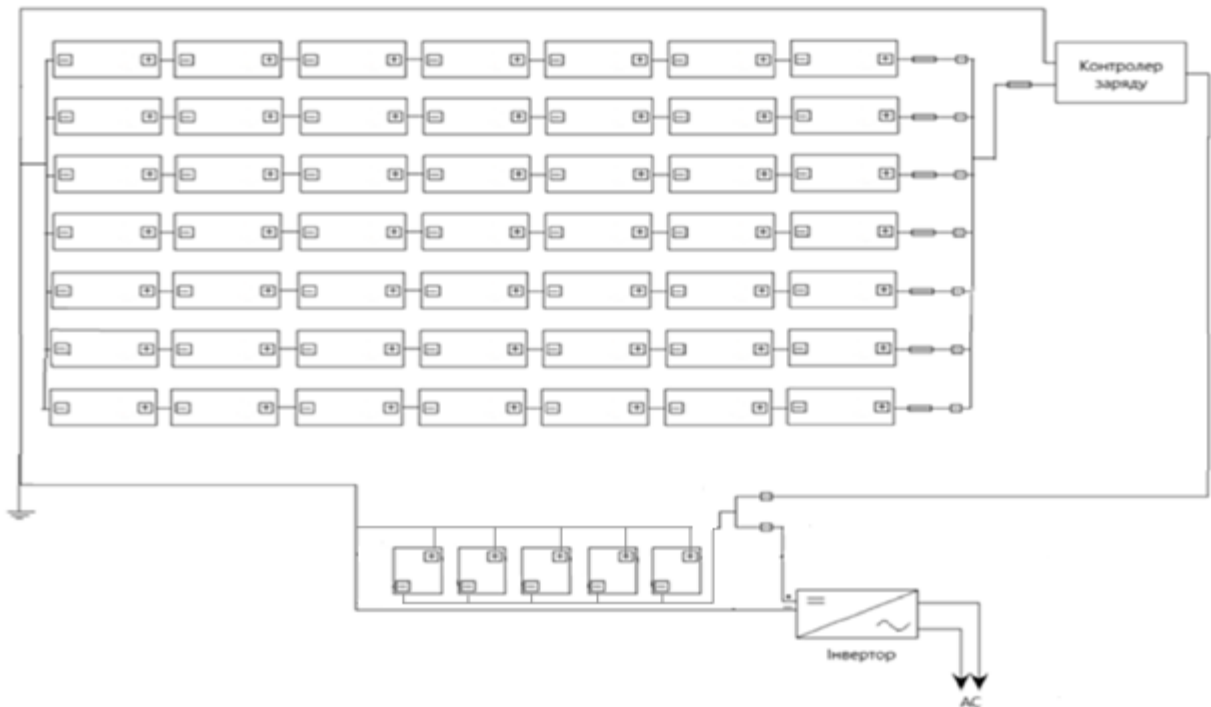


Рисунок 5.6. - Електрична схема автономної ФЕС.

Кабельна система і з'єднання [15]:

Модульні проводи:

$$I = 1.25 * 8.68 = 10.85 \text{ A}$$

$$U = 1.15 * 22.82 = 26.25 \text{ V}$$

За допустимим струмом обрано одножильний мідний провід з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з 4 проводами у джгуті перерізом жили: 4 мм².

Секційний кабель:

Обрано такий же самий як і модульний, оскільки в схемі присутній запобіжник при виході із секції.

Довжина провода 3 м (з запасом).

Магістральний кабель:

Між фотомодулями та інвертором:

$$I = 1.25 * I_{кз} = 1.25 * 43.4 = 54.25 \text{ A}$$

$$U=1.15 \cdot U_{xx}=1.15 \cdot 159,74=183,7 \text{ В}$$

За допустимим струмом обрано одножильний мідний провід з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з 3 проводами у джгуті перерізом жили: 10 мм^2 .

Довжина провода 30 м (з запасом).

Між інвертором та акумуляторами:

$$I=100 \text{ А}$$

За допустимим струмом обрано одножильний мідний провід з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з 3 проводами у джгуті перерізом жили: 25 мм^2 .

Довжина провода 2 м (з запасом).

Втрати в проводах:

При 20°C :

Модульні та секційні проводи:

$$P_{\text{loss}}=I \cdot U_{\text{loss}}=I \cdot I \cdot R_0 \cdot L= I \cdot I \cdot (r_0/S) \cdot L=10,85 \cdot 10,85 \cdot (0.017/4) \cdot 3=1,5 \text{ Вт}$$

$$P=I \cdot U=10,85 \cdot 26,25=284,8 \text{ Вт}$$

$$\text{Втрати: } P_{\text{loss}}/P=1,5/284,8 \cdot 100\%=0.52\%$$

Магістральний кабель:

Між фотомодулями та інвертором:

$$P_{\text{loss}}=I \cdot U_{\text{loss}}=I \cdot I \cdot R_0 \cdot L= I \cdot I \cdot (r_0/S) \cdot L=54,25 \cdot 54,25 \cdot (0.017/10) \cdot 30=150 \text{ Вт}$$

$$P=I \cdot U=54,25 \cdot 183,7=9965,7 \text{ Вт}$$

$$\text{Втрати: } P_{\text{loss}}/P=150/9965,7 \cdot 100\%=1,5\%$$

Між інвертором та акумуляторами:

$$P_{\text{loss}}=I \cdot U_{\text{loss}}=I \cdot I \cdot R_0 \cdot L= I \cdot I \cdot (r_0/S) \cdot L=100 \cdot 100 \cdot (0.017/25) \cdot 2=13,6 \text{ Вт}$$

$$P=I \cdot U=100 \cdot 48=4800 \text{ Вт}$$

$$\text{Втрати: } P_{\text{loss}}/P=13,6/4800 \cdot 100\%=0.28\%$$

При 75°C :

Модульні та секційні проводи:

$$P_{\text{loss}}=I*U_{\text{loss}}=I*I*R_0*L= I*I*(r_0/S)*L=10,85*10,85*(0.022/4)*3=1,95 \text{ Вт}$$

$$P=I*U=10,85*26,25=284,8 \text{ Вт}$$

$$\text{Втрати: } P_{\text{loss}}/P=1,95/284,8*100\%=0.68\%$$

Магістральний кабель:

Між фотомодулями та інвертором:

$$P_{\text{loss}}=I*U_{\text{loss}}=I*I*R_0*L= I*I*(r_0/S)*L=54,25 *54,25 *(0.022/10)*30=194,3 \text{ Вт}$$

$$P=I*U=54,25 *183,7 =9965,7 \text{ Вт}$$

$$\text{Втрати: } P_{\text{loss}}/P=194,3 /9965,7 *100\%=1,95\%$$

Між інвертором та акумуляторами:

$$P_{\text{loss}}=I*U_{\text{loss}}=I*I*R_0*L= I*I*(r_0/S)*L=100 *100 *(0.022/25)*2=17,6 \text{ Вт}$$

$$P=I*U=100 *48 =4800 \text{ Вт}$$

$$\text{Втрати: } P_{\text{loss}}/P=17,6 /4800 *100\%=0.36\%$$

На всіх проводах втрати потужності менше 3%.

РОЗДІЛ 6

ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ

СИСТЕМИ

6.1. Специфікація

Таблиця 6.1. Специфікація по сонячній ФЕС.

Найменування	Кількість	Ціна на українському ринку	Повна вартість
Сонячні панелі LP72-375M PERC	49	4 000	196000
Система кріплень FA-GM-01	1	10 000	10000
Гибридный инвертор AXIOMA Energy AXEN.IS-800 (стабилизатор+MPPT контроллер)	1	4 000	4000
Акумулятор ALTEK 6FM200GEL	15	11 000	165000
Кабель фотовольтаїчний PV1-F	60	90	5400
Монтаж	1	10 000	10000
Усього			194400

Кількість спожитої за рік електроенергії - 5946,68 кВт.

Втрати на поточний ремонт – 20 000 грн.

Ціна електроенергії для населення, яке проживає в багатоквартирних будинках, не газифікованих природним газом та в яких відсутні або не функціонують системи централізованого теплопостачання (у тому числі в сільській місцевості):

у період з 1 травня по 30 вересня:	
– за обсяг, спожитий до 100 кВт·год електроенергії на місяць	90,0
– за обсяг, спожитий понад 100 кВт·год електроенергії на місяць	168,0
у період з 1 жовтня по 30 квітня:	
– за обсяг, спожитий до 3000 кВт·год електроенергії на місяць	90,0
– за обсяг, спожитий понад 3000 кВт·год електроенергії на місяць	168,0

Отже, на рік населення мало б сплатити 5352 грн.

6.2. Окупність да доцільність.

Так як станція локальна, надлишкова енергія не віддається до мережі по зеленому тарифу. Тому економічна доцільність пояснюється лише неможливістю проведення мережі до котеджного містечка та крайньою необхідністю використання автономного забезпечення потреб містечка в умовах нестабільної енергетичної ситуації на території Донецької області.

Так як генерація влітку дуже велика та не вся енергія використовується споживачем, для зменшення терміну окупності станції можна обладнати технічне приміщення адміністративного будинку як холодильний склад та здавати в аренду влітку.

Адже котеджне містечко розташовується поблизу водоймища, на березі якого працюють декілька кафе, у яких холодильні приміщення дуже користуються попитом.

РОЗДІЛ 7
ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Техніка безпеки при використанні СЕС

Монтаж, експлуатація і технічне обслуговування системи на основі сонячних батарей вимагає відповідного рівня технічних знань. Будь-яка робота з системою повинна виконуватися тільки з дотриманням правил техніки безпеки при електромонтажних та налагоджувальних роботах. Недотримання вимог безпеки може призвести до травм або поломки обладнання.

7.1.1. Важливі вимоги

Сонячні батареї повинні використовуватися відповідно до їх прямого призначення. Заборонено вносити технічні зміни в конструкцію батарей. Під час монтажу важливо потримуватися усіх правил і норм безпеки. Також дотримуватися вимог безпеки при монтажі та експлуатації інших компонентів системи.

7.1.2. Перевезення і зберігання

Сонячні батареї вимагають дбайливого звернення, тому будьте обережні під час перевезення і зберігання та залишайте сонячні батареї в заводській упаковці до моменту їх монтажу. Завжди піднімайте і переносьте сонячні панелі обома руками і ніколи не піднімайте їх за распаячну коробку. Не кидайте сонячні батареї і не розміщуйте їх з нерівномірним навантаженням на раму. Не кладіть будь-які предмети на поверхню сонячних батарей. Уникайте прогину і деформації сонячних батарей, не вставляйте на них. Зберігайте сонячні батареї в сухому, провітрюваному приміщенні без різких перепадів температур.

7.1.3. Установка сонячних батарей

Переконайтеся, що установка здійснюється безпечно. Захистіть себе та інших осіб від падінь, що не виконуйте установку при сильному вітрі. Підготуйте робочу зону таким чином, щоб уникнути травм. Дотримуйтеся максимально допустимого механічного навантаження. Не допускайте максимального рівня механічних навантажень, перед установкою переконайтеся, що вплив погодних умов не може зашкодити сонячним батареям. Пам'ятайте, що панелі можуть прогинатися під навантаженням при певних обставинах. Переконайтеся в тому, що панелі заземлені. Для того, щоб знизити ризик ураження електричним струмом або пожежі, сонячні батареї повинні бути заземлені згідно з правилами безпеки. Сонячні батареї, встановлені неналежним чином, можуть становити небезпеку в разі пожежі. Крім того, панелі не можна встановлювати в безпосередній близькості від вогню і горючих матеріалів або газів.

Сонячні батареї призначені для використання в помірному кліматі. Переконайтеся, що після установки панелі не піддаються штучно концентрованому сонячному випромінюванню, не занурені в воду і не омиваються водою під тиском. Якщо панелі піддаються впливу солі або сірки, може виникнути корозія. Переконайтеся, що панелі не піддаються аномальному впливу хімічних речовин. У зв'язку з цим, через можливі викиди шкідливих речовин установка в безпосередній близькості від виробничих потужностей не рекомендується.

7.1.4. Необхідні умови для установки

Дуже важливо, щоб сонячні батареї відповідали технічним параметрам всієї системи. Тому необхідно переконатися в тому, що панелі не піддаються будь-яким негативним механічним або електричним впливам від інших

компонентів системи. Підключайте послідовно тільки панелі з однаковим номінальним струмом і напругою. Сонячні батареї повинні працювати тільки в допустимих межах сумарної напруги системи, робота при більш високій напрузі не рекомендується. Крім самих панелей, система кріплення повинна також відповідати місцевим погодним умовам (вітрові та снігові навантаження) і витримувати ці навантаження.

Завжди перед підключенням сонячних батарей в систему перевіряйте правильність електромонтажу. Перевірте полярність і виміряйте напругу холостого ходу масиву сонячних батарей, якщо воно відрізняється від паспортного значення - є неправильне з'єднання.

7.1.5. Вентиляція сонячних батарей

Не встановлюйте нижню сторону сонячних батарей впритул, між панеллю і настановної площиною має бути відстань для циркуляції повітря. При належній вентиляції нижньої поверхні сонячних батарей забезпечується розсіювання зайвого тепла, яке негативно позначається на ефективності панелей.

7.1.6. Обслуговування та догляд

Зазвичай сонячні батареї самостійно очищуються під час дощу і при скачуванні снігу. При кутах нахилу 70-90 градусів, як правило, панелі не потребують додаткової очистки. У разі значного забруднення панелі слід промити звичайною водою, без застосування миючих засобів. Найкраще панелі очищаються за допомогою шланга з водою і м'якої губки. Щоб уникнути мікро подряпин, які можуть знизити вироблення електроенергії сонячними батареями, ніколи не витирайте поверхню панелей сухими

предметами. Регулярно, не рідше 1 разу на рік, оглядайте систему і перевіряйте:

- Жорсткість кріплень і відсутність корозії;
- Якість і цілісність електричних з'єднань, відсутність корозії в місцях з'єднань;
- Цілісність сонячних батарей;
- Електричні параметри.

7.2. Пам'ятка з безпеки

Виходячи з перелічених умов розроблено пам'ятку з безпеки [16]:

- Контактні роз'єми захищені від випадкового дотику, але все ж прийміть необхідні заходи безпеки, щоб уникнути загоряння, іскріння і ударів струмом;
- Ніколи не вставляйте ніякі електропровідні предмети в роз'єми, крім роз'ємів стандарту MC4;
- Знімайте все електропровідні прикраси під час механічної та електричної установки;
- Інструменти та робоча зона повинні бути сухими!
- Не проводьте монтаж сонячних панелей в дощову погоду;
- Дотримуйтеся крайньої обережності та акуратності. При роботі з проводами завжди використовуйте інструменти з ізоляцією, а також ізолюючі рукавички;
- Не розбирайте сонячні батареї. Ніколи не видаляйте деталі або етикетки виробника;
- Використовуйте тільки справні сонячні батареї, якщо є ушкодження або деформація сонячної батареї, не намагайтеся підключати її;

- Не застосовуйте до сонячній батареї гострі предмети, не фарбуйте її і нічого не наклеюйте;
- Не піддавайте сонячній батареї штучно сфокусованому сонячному випромінюванню;

Сонячні батареї, під дією світла, генерують постійний струм. При розриві такого ланцюга, наприклад, при відключенні дрота постійного струму від контролера заряду, може виникнути небезпечна електрична дуга:

- Ніколи не відключайте сонячні батареї під навантаженням;
- Використовуйте тільки справну проводку відповідного перетину. Не використовуйте дроти з ушкодженнями;
- Контакти та роз'єми повинні бути чистими і сухими.

Отже, основне правило безпечного використання автономної системи - її періодичне обслуговування. Саме регулярність технічного догляду за сонячними батареями та іншими компонентами загальної системи стане запорукою її довгої та безаварійної роботи. Такі роботи повинні проводитися 1-2 рази на рік (в залежності від умов експлуатації сонячних батарей) і включати:

- перевірку цілісності батарей і кріпильних елементів;
- очистку інверторів від пилу, яка може сприяти перегріву пристрою;
- перевірку заземлення та надійності ізоляції струмоведучих провідників;
- тестування електропроводки на предмет витоків енергії.

Планові роботи не обійдуться і без очищення поверхні самих сонячних батарей, адже від чистоти панелей, які беруть на себе промені світла, залежить кількість одержуваної і перетворюваної в електричну сонячної енергії. Розрахунки показують, що багатомісячний шар пилу здатний довести рівень втрат в генерації струму до 20%. Ось чому регулярне очищення батарей - гарантія високого ККД при роботі будь-якої сонячної електростанції.

ВИСНОВОК

Актуальність даної дипломної роботи визначається необхідністю забезпечення стабільним якісним електропостачанням віддалених від мережі районів в умовах критичної енергетичної ситуації у місці розташування.

Аналіз доцільності використання СЕС показав, що цей вид енергії хоч і найбільш дорогий, але і найбільш доступний у місці розташування. У ході роботи був проаналізований сучасний ринок фотопанелей та вибрані найбільш відповідні до технічних умов та потреб споживача. Супутнє обладнання вибрано з дотриманням рекомендацій від виробника фотопанелей.

Зроблено розрахунок основних величин станції – потужність дорівнює 18кВт, площа для одного будинку – 210 м². Ціна локальної станції дорівнює 195 тисяч гривень. Термін окупності розраховувати недоцільно, бо потрібно враховувати проведення мережі до котеджного містечка та нормалізацію якості електрики шляхом встановлення дорогого обладнання.

Для реалізації надлишкової енергії та зменшення терміна окупності запропоновано обладнати технічне приміщення адміністративного будинку як холодильний склад та сдавати в аренду влітку.

В кінці роботи дані рекомендації по встановленню сонячних батарей з дотриманням техніки безпеки.

Посилання та список використаних джерел.

1. Бізнес журнал MIND [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://mind.ua/openmind/20203968-nadshvidkij-start-chomu-vidnovlyuvana-generaciya-stala-viprobuivannyam-dlya-ekonomiki-ukrayini>
2. Законопроект "Про внесення змін до деяких законів щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії" №8449-д
3. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. / С.О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
4. Б.В.Лукутин «Відновлювані джерела» - Томск, 2008 р. – 197 с.
5. Ханенко О.І., Бондар І.А. Білошицька Н.А. «ДЕТАЛЬНИЙ ПЛАН ТЕРИТОРІЇ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧОГО ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ», 2018 р. – 10 с.
6. Сайт Avenston, стаття «Як вибрати надійний сонячний модуль?» [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://avenston.com/articles/how-to-choose-solar-modules/>
7. Електронний журнал Екотехніка, стаття «Вибір обладнання для сонячної станції» [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://ecotechnica.com.ua/stati/3803-oborudovanie-dlya-solnechnoj-elektrostantsii-kak-vybrat-invertor-akkumulyator-kontroller-i-paneli-dlya-avtonomnogo-doma.html>
8. Сайт компанії Енерготрейд, стаття «Практичні поради щодо встановлення сонячних станцій» [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://energotrade.su/blog/sovety-po-vyboru.htm>
9. Курейчик Е.П. «Закономірності розподілу сонячної радіації по поверхні Землі» - Білоруський технічний університет.

10. Офіційний сайт котеджного містечка «Дубровка» [Електронний ресурс]
Режим доступу - <http://dubrovka.com.ua/?al=izdp>
11. Методичний матеріал «Розрахунок теплопостачання в будівлю від проникненої сонячної радіації за опалувальний період» - Москва 2018 – 137 с.
12. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з дисципліни “Комплексне використання відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії (НВДЕ)” для студентів денної форми навчання за напрямком підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології», спеціальність 7.05070107 та 8.05070107 «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» денної форми навчання. Укладач: Резцов В.Ф., – К.: ФЕА НТУУ “КПІ”, 2014. – 26 с.
13. Маринець Сергій, «Розрахунок інвертора» [Електронний ресурс]
Режим доступу - <http://solarsoul.net/raschet-invertora-dlya-solnechnyx-batarej>
14. Блог Енерготрейд [Електронний ресурс] Режим доступу - https://energotrade.su/blog/acb_in_ses.htm
15. Ю.О. Гаєвський «Фотоенергетика» .Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи для студентів / Ю. О. Гаєвський // Київ, 2014. – видавництво КПІ ім. Ігоря Сікорського . – с. 1–32.
16. НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». К.: Державний комітет України з нагляду за охороною праці, 1998. – 180 с