

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

На правах рукопису
УДК 658.512.24:620.92

До захисту допущено:
Завідувач кафедри:
д-р. техн. наук.
_____ Василь БУДЬКО
« ____ » _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Нетрадиційні та відновлювані
джерела енергії»
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
на тему: Автономна фотоелектрична станція для енергозабезпечення
домогосподарства

Виконав:
студент II курсу, групи ЕД-21мп
Баркарь Олександр Олександрович _____

Науковий керівник:
канд. техн. наук, ас. каф.ВДЕ,
Пазич Сергій Тарасович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ 2024

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри:
д-р. техн. наук.
Василь БУДЬКО

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Баркарю Олександрю Олександровичу

1. Тема роботи: «Автономна фотоелектрична станція для енергозабезпечення домогосподарства», керівник роботи: канд. техн. наук, асист. Пазич С.Т., затвержені наказом по університету від «03» листопада 2023р. №5131-с.
2. Термін подання студентом роботи 12.01. 2024 р.
3. Об'єкт дослідження – процес перетворення сонячної радіації в електричну та теплову енергії для забезпечення домогосподарства.
4. Предмет дослідження – показники роботи обладнання для перетворення сонячної енергії на електричну і теплову, її збереження та перетворення в системі енергозабезпечення.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1) Аналіз літературних та інформаційних джерел по обраній темі;
 - 2) Формулювання вхідних умов роботи об'єкта дослідження;
 - 3) Аналіз потоків тепло- та енергозабезпечення об'єкта дослідження;
 - 4) Розрахунок фотоелектричної станції та сонячних колекторів;
 - 5) Моделювання різних режимів роботи об'єкта дослідження;

- б) Аналіз отриманих результатів;
- 7) Розробка стартап проекту.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – 1 презентація.
7. Орієнтовний перелік публікацій: «Оцінка можливості використання автономних вітрофотоелектричних станцій як альтернативного джерела енергії в період віялових відключень енергії в Україні».
8. Дата видачі завдання: «01» вересня 2023 р.
9. Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних та інформаційних джерел по обраній темі.	01.09.2023-15.09.2023	
2	Формулювання вхідних умов роботи об'єкта дослідження.	18.09.2023-29.09.2023	
3	Аналіз потоків тепло- та енергозабезпечення об'єкта дослідження.	02.10.2023-13.10.2023	
4	Розрахунок фотоелектричної станції та сонячних колекторів.	16.10.2023-03.11.2023	
5	Моделювання різних режимів роботи об'єкта дослідження.	06.11.2023-17.11.2023	
6	Аналіз отриманих результатів.	20.11.2023-01.12.2023	
7	Розробка стартап проекту.	04.12.2023-15.12.2023	
8	Оформлення магістерської дисертації та підготовка до захисту.	18.12.2023-05.01.2024	

Студент

_____ Баркарь О.О.

Керівник роботи

_____ Пазич С.Т.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з: аркушів — 63, таблиць — 11, рисунків — 30, перелік посилань — 22, аркушів креслень — 1 .

Метою даної роботи є розробка системи енергозабезпечення приватного будинку від сонячних джерел енергії.

У роботі проведений розрахунок системи автономного енергопостачання приватного будинку, яка комбінує в собі фотоелектричну та геліоколекторну системи.

Об'єкт дослідження — процес перетворення сонячної радіації в електричну та теплову енергії для забезпечення домогосподарства.

Предмет дослідження — показники роботи обладнання для перетворення сонячної енергії на електричну і теплову , її збереження та перетворення в системі енергозабезпечення.

Наукова новизна. подальший розвиток методу енергозабезпечення автоматизованої системи за рахунок використання енергії сонячного випромінювання з врахуванням метеорологічних умов місця розташування об'єкту.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, геліоколектор, геліосистема, фотоколектор, сонячна панель, акумуляторна батарея, інвертор, дизельна генераторна устанвка.

ABSTRACT

The master's thesis consists of: sheets — 63, tables — 11, figures — 30, list of references — 22, sheets of drawings — 1.

The purpose of this work is to develop a system of energy supply for a private house from solar energy sources.

The paper calculates the autonomous energy supply system of a private house, which combines photovoltaic and solar collector systems.

The object of the study is the process of converting solar radiation into electrical and thermal energy for household maintenance.

The subject of the research is performance indicators of equipment for converting solar energy into electrical and thermal energy, its conservation and conversion in the energy supply system.

Scientific novelty. further development of the method of energy supply of the automated system due to the use of solar radiation energy, taking into account the meteorological conditions of the location of the object.

Keywords: renewable energy sources, solar collector, solar system, photo collector, solar panel, battery, inverter, dis. generator set.

ВСТУП

Використання відновлюваних джерел енергії для особистих потреб є актуальним трендом у сучасному світі. Це обумовлено серйозними екологічними проблемами, необоротним вичерпанням природних ресурсів, поширенням нових технологій та прийняттям урядами країн вигідних зелених тарифів.

Серед різних альтернативних джерел енергії, енергія сонця визначається як оптимальний вибір для задоволення неіндустріальних потреб. Сонячні установки володіють численними перевагами, такими як стабільність, мінімальна кількість рухомих деталей, компактні розміри, відсутність шуму та вібрацій. Важливою є можливість їх встановлення на дахах житлових будівель без створення непорозумінь та загроз для мешканців.

Фотомодулі, які використовуються в сонячних електростанціях, можуть бути монокристалічними або полікристалічними. Вибір технології залежить від різних чинників, таких як ефективність, ціна та чутливість до часткового затінення. Якщо сонячна електростанція працює в мережі, необхідний інвертор для перетворення постійного струму на змінний та синхронізації роботи з мережею. Для автономних систем потрібні акумулятори та зарядні пристрої.

Геліоколекторні системи використовуються для отримання енергії сонця шляхом абсорбції та можуть бути використані для нагрівання води. Одно- та багатоконтурні системи використовують різні теплоносії та технології. Геліоколектори можуть ефективно використовуватися для забезпечення гарячою водою та опаленням.

Ця робота включає в себе розрахунки геліоколекторної системи для гарячого водопостачання та сонячної електростанції для власних потреб та можливості продажу надлишків за зеленим тарифом, а також аналіз економічної доцільності таких систем.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В СВІТІ, ЇЇ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.....	10
1.1 Сонячна енергетика в Україні та світі	10
1.1.1 Розвиток та поточний стан сонячної енергетики в Україні.....	11
1.1.2 Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні.....	11
1.2 Способи використання сонячної енергії.....	12
1.3 Фотоелектричний модуль.....	13
1.4 Системи акумуляування електричної енергії.....	15
1.5 Сонячні водонагрівачі	16
1.6 Прогнозування сонячного випромінювання	19
1.7 Основні функціональні елементи системи	20
1.8 Висновок до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СПОЖИВАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ	24
2.1 Огляд цільової будівлі для автономного забезпечення енергоресурсами.....	24
2.2 Оцінка кліматичної зони для встановлення фотостанції.....	26
2.3 Дослідження об'ємів необхідного електропостачання	27
2.4 Теплові потреби будівлі	29
2.5 Висновок до розділу 2	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ.....	32
3.1 Підбір бака-акумулятора тепла.....	32
3.2 Розрахунок потужності геліосистеми	34
3.3 Розрахунок потужності фотовольтаїчної системи.....	37
3.4 Підбір мережевого інвертора з контролером заряду акумулятора.....	42
3.5 Підбір системи акумуляування енергії	44

3.6	Розрахунок затінення фотомодулів	45
3.7	Симуляція цілорічної роботи фотосистеми.....	46
3.8	Різні режими роботи автономної системи	49
3.9	Висновок до розділу 3	52
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ		53
4.1	Мета розробки стартапу	53
4.2	Ідея стартап-проекту	53
4.3	Технологічний аудит стартап-проекту	54
4.4	Оцінка витрат на оплату комунальних послуг протягом року.....	55
4.5	Оцінка доходу з продажу надлишків енергії за зеленим тарифом	55
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ		56
5.1	Обслуговування.....	56
5.2	Техніка безпеки	57
5.3	Техніка безпеки при поводжені з акумуляторами	58
ВИСНОВКИ.....		61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		63
ДОДАТКИ		65
Додаток А: Звіт співпадінь в програмі Unichek		65
Додаток Б: Перелік обладнання		66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АКБ — акумуляторна батарея

PV — фотоелектричні пристрої

ККД — коефіцієнт корисної дії

ФЕС — фотоелектрична станція

АФЕС — автономна фотоелектрична станція

ГВП — гаряче водопостачання

РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В СВІТІ, ЇЇ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

1.1 Сонячна енергетика в Україні та світі

Упродовж останнього десятиліття у всьому світі спостерігається тенденція відмови від традиційних джерел енергії на користь альтернативних. Відповідальні підприємства, усвідомлюючи важливість збереження навколишнього середовища, активно прагнуть зменшити негативний вплив своєї діяльності на природу.

На сьогодні тисячі компаній у всьому світі вживають рішучі заходи для екологізації своєї виробничої діяльності. Однією з провідних тенденцій є перехід до виробництва та використання альтернативної енергії.

Сучасна сонячна енергетика перетнула новий рубіж. Згідно з даними, оприлюдненими під час торговельної виставки Intersolar Europe 2022 на початку травня, загальна встановлена сонячна потужність у світі досягла вражаючого позначення - 1 ТВт. Це особливо вражає, враховуючи, що всього лише 20 років тому, на початку 2002 року, мережева потужність сонячних установок ледь досягала 2 ГВт - зараз це вже на 500 разів більше. Потрібно було 16 років, до 2018 року, щоб досягти рівня 500 ГВт, і за останні трохи більше як 3 роки встановлена сонячна потужність подвоїлася, досягнувши 1000 ГВт [1].

Прогноз на залишок 2022 року також вражає: світ вперше має намір встановити понад 200 ГВт за рік (точніше - 228 ГВт). Це означає, що додаткова потужність сонячних установок у 2022 році буде еквівалентна загальній світовій сонячній потужності в 2015 році.

Наша країна також приєднується до глобального процесу трансформації енергетичного сектору, річно розширюючи потужності відновлювальної енергетики. Зокрема, сонячна енергетика стала надзвичайно популярною в Україні за останні роки, а країна має значні можливості для подальшого розвитку в цьому напрямку.

1.1.1 Розвиток та поточний стан сонячної енергетики в Україні

Сонячна енергетика є досить новою галуззю в Україні, проте темпи її розвитку вражають своєю швидкістю порівняно з іншими галузями вітчизняної економіки. За підсумками 2021 року сонячна енергетика у нашій країні становила понад 5% від загального обсягу виробництва електроенергії.

Всі області України підходять для розташування сонячних електростанцій, особливо сприятливі для цього є південні регіони (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька, а також частина Донецької області та АР Крим), де наразі зосереджено понад 60% промислових сонячних електростанцій. На кінець 2021 року сумарна потужність сонячних електростанцій досягла 6320 МВт (без урахування тих, що розташовані на тимчасово окупованих територіях).

За останні роки Україна виявила один з найвищих темпів розвитку сонячної енергетики в Європі. Однак вторгнення агресора призвело до серйозних втрат в цій галузі. Дві третини сонячних електростанцій в Україні розташовані на південному заході, де наразі тривають активні воєнні дії. За різними оцінками, понад 30% сонячних електростанцій на окупованих територіях (приблизно 1120-1500 МВт потужності) зазнали руйнувань. Крім того, більше 25% непромислових сонячних електростанцій також були пошкоджені [2].

1.1.2 Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні

Розвиток сонячної енергетики в Україні у найближчі роки порушено через вторгнення агресора. Тому на державному рівні вельми важливо розробити стратегію відновлення галузі. Загалом, для повернення сонячної енергетики до довоєнного рівня необхідно прийняти кілька дієвих заходів:

- спрямувати кошти з різних фондів на відновлення інфраструктури;
- заохочувати інвестиції в будівництво нових сонячних електростанцій;
- створити пільгові умови для доступу компаній галузі до ринків збуту.

На сьогодні в Україні функціонує прозорий механізм реалізації електроенергії. Завдяки електронним аукціонам на Українській енергетичній

біржі виробники та постачальники можуть продавати електроенергію за чіткими та ринковими умовами, які формуються на основі реального попиту та пропозиції. Щоб прийняти участь у торгах, необхідно пройти акредитацію на офіційному веб-сайті Української енергетичної біржі за відповідним напрямом.

1.2 Способи використання сонячної енергії

Фотовольтаїка - це форма активної сонячної технології, відкрита 1839 року 19-річним французьким фізиком Олександром-Едмоном Беккерелем. Беккерель виявив, що коли він помістив хлорид срібла в кислий розчин і піддав його дії сонячного світла, приєднані до нього платинові електроди генерували електричний струм. Цей процес отримання електроенергії безпосередньо із сонячного випромінювання називається фотоелектричним ефектом, або фотоелектрикою.

Сьогодні фотоелектрична енергетика, мабуть, найпоширеніший спосіб використання сонячної енергії. Фотоелектричні батареї зазвичай включають сонячні панелі, сукупність десятків або навіть сотень сонячних елементів.

Фотовольтаїка вперше широко використовувалася на космічних кораблях. Багато супутників, у тому числі Міжнародна космічна станція (МКС), мають широкі «крила» сонячних батарей. МКС має два крила сонячних батарей (ПАР), кожне з яких використовує близько 33 тис. сонячних елементів. Ці фотоелектричні елементи забезпечують МКС всією електроенергією, дозволяючи астронавтам керувати станцією, безпечно жити в космосі місяцями та проводити наукові та інженерні експерименти [3].

Фотоелектричні електростанції збудовані по всьому світу. Найбільші станції знаходяться у США, Індії та Китаї. Ці електростанції виробляють сотні мегават електроенергії, що використовується для постачання будинків, підприємств, шкіл та лікарень.

1.3 Фотоелектричний модуль

Фотоелектричні пристрої, або сонячні батареї (PV), отримали свою назву через процес перетворення світла (фотонів) в електрику (напругу), відомий як фотоелектричний ефект (рис 1.1). Вперше це явище було використано в 1954 році вченими з Bell Laboratories, які створили ефективну сонячну батарею з кремнію, що генерувала електричний струм під впливом сонячного світла. Спочатку сонячні батареї застосовувалися для живлення космічних супутників та малих пристроїв, таких як калькулятори та годинники.

На сьогодні електроенергія від сонячних елементів стала конкурентоспроможною в багатьох регіонах, а фотоелектричні системи встановлюються великими масштабами для живлення електричної мережі.

Більшість сучасних сонячних елементів виготовляються з кремнію, забезпечуючи розумні ціни та високу ефективність. Ці елементи збираються у модулі, які можна встановлювати на дахах будівель або розгортати на наземних стійках для створення великих систем.

Інша популярна технологія - тонкоплівкові сонячні батареї, виготовлені з тонких шарів напівпровідникового матеріалу, таких як телурид кадмію або диселенід міді, індію, галію. Ці батареї можуть бути гнучкими та легкими, що робить їх ідеальними для портативних застосувань.

Третій тип - III-V сонячні батареї, виготовлені з елементів III і V груп періодичної таблиці, таких як галій та миш'як. Вони дорожчі у виробництві, але мають вищу ефективність, тому використовуються в високотехнологічних застосуваннях, таких як космічні супутники [4].

В основі процесу перетворення сонячної енергії в електричну лежить фотоелектричний ефект, який виникає при впливі сонячного випромінювання (фотонів) на неоднорідну напівпровідникову структуру, відому як "p-n перехід".

Ця неоднорідна структура формується шляхом легування напівпровідника різними домішками, такими як фосфор чи миш'як. Наприклад, одна пластинка може бути легована фосфором, а інша - бором. Це призводить до надлишку електронів на фосфорованій пластині та недостатку їх на борованій, або, іншими словами, до утворення "p-n переходу". Коли електрони поглиблюють енергію від

фотонів світла, вони рухаються через цей перехід, створюючи впорядкований рух заряджених частин і викликаючи утворення електричного струму. Тонкі смужки міді, які під'єднуються до пластин напівпровідника, відбирають струм і направляють його до споживача.

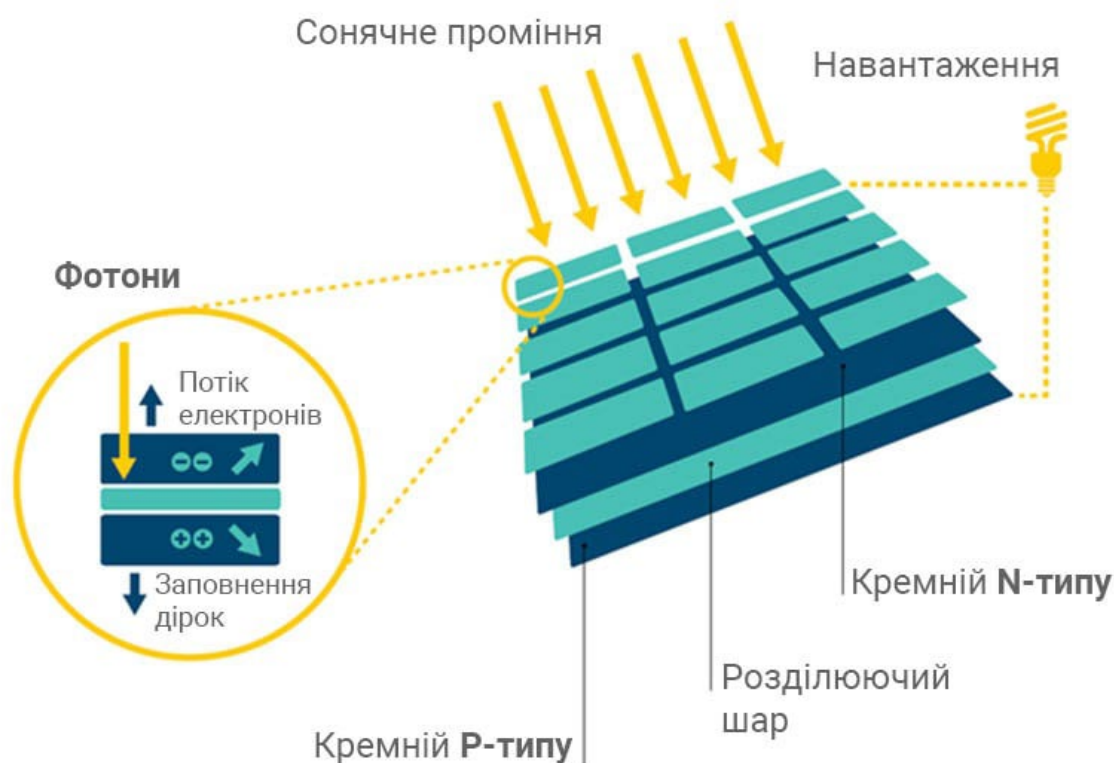


Рисунок 1.1 — Принцип роботи сонячної батареї [5]

Продуктивність фотоелектричних перетворювачів залежить від численних факторів, таких як властивості використовуваного напівпровідника. Найефективніші сонячні батареї на сьогоднішній день виготовлені на основі полікристалічного або монокристалічного кремнію з ККД близько 17%. Однак вже є сонячні панелі з ККД понад 20%. Сонячні батареї на основі аморфного кремнію мають менший ККД (приблизно 12%), але вони вигідні за гнучкість. Для підвищення продуктивності досліджують альтернативні напівпровідники, такі як галій, кадмій, селен, телур і інші [6].

Удосконалення технології, підвищення коефіцієнта конверсії енергії та зменшення вартості сонячних батарей справді зробили сонячну енергетику конкурентоспроможною і вже зробили значний внесок у глобальну енергетичну картину. У 2017 році сумарна потужність встановлених сонячних батарей

сягнула 90 ГВт, що приблизно еквівалентно потужності енергогенеруючої системи цілої країни, наприклад, Туреччини.

Це досягнення свідчить про величезний ріст сонячної енергетики як ефективного джерела електроенергії. За допомогою сучасних технологій виробництва, сонячні батареї стали доступнішими і ефективнішими, що призвело до зниження собівартості "сонячної" електроенергії. Зараз ці технології вже можуть конкурувати з традиційними джерелами енергії без необхідності спеціальних стимулів, таких як зелений тариф.

Це відкриває широкі перспективи для розвитку сонячної енергетики як сталого джерела енергії та допомагає зменшити залежність від вугільних та інших видів енергетики, що викидають багато вуглекислого газу. Зростання популярності сонячних технологій також може сприяти досягненню глобальних цілей щодо зменшення викидів парникових газів та розвитку сталого енергетичного майбутнього.

1.4 Системи акумулювання електричної енергії

Акумуляторні батареї представляють собою хімічні джерела енергії, які здатні конвертувати та зберігати електричну енергію у хімічній формі. Ця енергія постачається від різних джерел, таких як сонячні батареї, вітрогенератори та зарядні пристрої, і може бути використана у необхідний момент. У випадку паралельної роботи системи безперебійного живлення з мережею, акумуляторні батареї можуть заряджатися від мережі за допомогою зарядного пристрою, а в разі зникнення живлення віддавати заряд, для потреб власника. Існує декілька типів акумуляторів, і вибір конкретного залежить від системи, в якій вони будуть використовуватися. На сьогоднішній день найбільш поширеними є гелеві акумулятори AGM і літій-іонні акумулятори.

Гелеві акумулятори, або гелеві свинцево-кислотні акумулятори, представляють собою вид свинцево-кислотних акумуляторів, в яких використовується густий геліоподібний електроліт. Ці акумулятори не вимагають обслуговування, мають високий ресурс циклічного заряду-розряду, низький саморозряд і можуть працювати при низьких температурах. Недоліками

є велика вага, висока вартість та схильність до падіння напруги при великих струмах.

AGM акумулятори (Absorbent Glass Mat) – це вид свинцево-кислотних акумуляторів, в яких рідкий електроліт поглиблений в спеціальних сепараторах з скловолокна, що розташовані між пластинами. Вони не потребують обслуговування, можуть експлуатуватися в будь-якому положенні (крім догори дном), герметичні та мають високу безпеку. Недоліками є велика вага та чутливість до перевищення напруги заряду.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї VRLA об'єднують в собі різні типи акумуляторів, такі як гелеві та AGM. Вони повністю обслуговуються, не потребують доливання води протягом всього терміну служби, та мають герметичну конструкцію, що дозволяє розташовувати їх у приміщеннях без спеціальної вентиляції.

Літій-іонні акумулятори LiFePO₄ (літій-фосфатні) набули популярності завдяки своєму тривалому терміну служби та незалежності від багатьох факторів, що можуть вплинути на інші типи акумуляторів. Зокрема, літій-іонні акумулятори від компанії Victron Energy можуть працювати до 20 років та мати понад 2500 циклів заряду-розряду, не бояться глибоких розрядів та можуть встановлюватися в будь-якому положенні [7].

1.5 Сонячні водонагрівачі

Сонячний колектор - це пристрій, призначений для збору та/або концентрації сонячного випромінювання від Сонця. Головне застосування цих пристроїв - активне сонячне опалення, що дозволяє нагрівати воду для особистих потреб. Зазвичай сонячні колектори встановлюються на дахах і повинні бути дуже міцними, оскільки вони піддаються впливу різноманітних погодних умов.

Використання сонячних колекторів надає альтернативу традиційному методу нагрівання води за допомогою водонагрівача, що потенційно дозволяє зменшити витрати на електроенергію з часом. У домашніх умовах можна об'єднати велику кількість цих колекторів в масив і використовувати їх для виробництва електроенергії на сонячних теплових електростанціях. Ця

технологія допомагає використовувати сонячну енергію для отримання тепла чи електроенергії, сприяючи екологічно чистим та ефективним енергетичним рішенням.

Існує різноманіття видів сонячних колекторів, але вони всі мають спільні основні принципи. Основна ідея полягає в тому, щоб збирати та фокусувати сонячне випромінювання для подальшого використання його для нагрівання води чи інших речовин(рис 1.2). Одним із простих пристроїв є використання чорного матеріалу, який оточує труби, через які протікає вода. Чорний матеріал добре поглиблює сонячне випромінювання, і, нагріваючи воду навколо себе, забезпечує простий спосіб отримання тепла. Однак сонячні колектори можуть мати і більш складні конструкції, використовуючи відбиваючі матеріали для фокусування сонячного світла, що призводить до ще вищих температур.

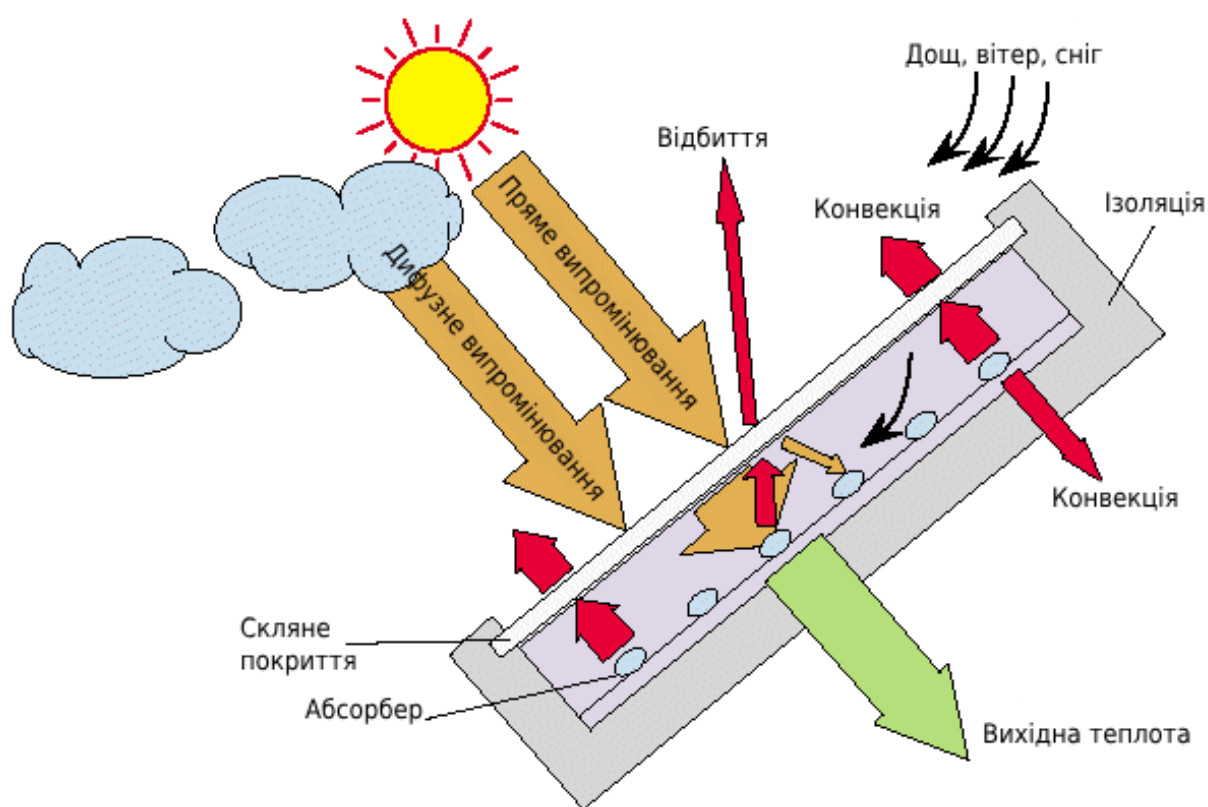


Рисунок 1.2 — Принцип роботи сонячного теплового колектора [8]

- Плоскі колектори:

Це прості металеві коробки із прозорою скляною кришкою, що слугує виглядом кришки. З боків і знизу колектор зазвичай ізолюваний теплоізоляцією для зменшення тепловтрат. Сонячне випромінювання проходить через скло та потрапляє на темну поглинальну пластину. Ця пластина нагрівається, передаючи

тепло рідині чи повітрю, яке знаходиться між склом та поглинальною пластиною. Іноді такі пластини мають спеціальні покриття, призначені для кращого поглинання та утримання тепла. Зазвичай для виготовлення цих пластин використовують метали, які є хорошими провідниками, такі як мідь чи алюміній.

- Евакуйовані трубчасті колектори:

В цьому типі сонячних колекторів використовується серія евакуйованих труб. Вони мають вакуум або евакуйований простір, що допомагає у захопленні сонячної енергії та мінімізації втрат тепла. Усередині цих труб знаходиться металева трубка, яка служить поглиблювальною пластиною і з'єднана з тепловою трубкою для передачі тепла від Сонця до води. Теплова труба має рідину, яка перебуває під високим тиском. Гарячий кінець труби містить киплячу рідину, а холодний кінець містить конденсований пар. Це дозволяє тепловій енергії ефективно переміщуватися від одного кінця труби до іншого, передаючи тепло воді для використання.

- Лінійні фокусні колектори:

Ці колектори, також відомі як параболічні жолоби, використовують матеріали з високою відбивною здатністю для збору та концентрації теплової енергії сонячного випромінювання. Складаються з відбиваючих секцій параболічної форми, з'єднаних у довгий жолоб. Труба, яка несе воду, розміщена в центрі жолоба, де сонячне світло, зібране відбиваючим матеріалом, фокусується на трубі, нагріваючи її зміст. Вони зазвичай використовуються для виробництва пари для сонячних теплових електростанцій.

- Точкові колектори:

Ці колектори представляють собою великі параболічні тарілки, що складаються з відбиваючого матеріалу. Вони фокусують сонячне світло в одній точці. Тепло, зібране від цих колекторів, часто використовується для приводу двигунів Стірлінга. Ці колектори повинні слідкувати за Сонцем по небу для оптимального збору сонячного світла.

Точкові колектори також можна використовувати для концентрації сонячної енергії, яка перетворюється безпосередньо в електрику за допомогою фотоелектричних елементів [9].

1.6 Прогнозування сонячного випромінювання

Ясна сонячна погода сприяє збільшенню виробництва електроенергії, тоді як дощові дні та похмурі умови з щільною хмарністю можуть призводити до зменшення обсягів генерації електроенергії. Оскільки погодою ми ще не можемо керувати, важливо мати ефективні прогнози для майбутньої генерації електроенергії з сонячних електростанцій.

Прогнозування обсягів електроенергії, яку згенерує сонячна електростанція, є ключовим завданням для виробників електроенергії та мережевих операторів. Якісні прогнози дозволяють ефективно управляти змінами продуктивності сонячних електростанцій та інтегрувати сонячні ресурси в загальну енергетичну систему країни.

Прогноз обсягів виробництва електроенергії сонячною станцією включає в себе прогнозування кількості сонячної радіації, яку отримають сонячні панелі. Це залежить від кліматичних та метеорологічних умов, таких як положення сонця на небі, тривалість світлового дня, хмарність, опади, сила вітру і т.д.

Вибір методу прогнозування залежить від необхідних даних та цілей. Наприклад, прогноз обсягів електроенергії за певний час або зміна генерації протягом певного періоду можуть вимагати різних математичних моделей і підходів. Розглянемо два основних варіанти: прогноз на короткий термін (до 6 годин) і прогноз на добу (24 години) вперед.

Також існує метод аналізу фотографій неба і хмарного становища, отриманих з космічних супутників, для прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями. Зображення хмар може бути отримане як у традиційному (оптичному) вигляді, так і за допомогою інфрачервоних датчиків. Головна перевага цього методу полягає в можливості отримати детальні зображення хмарності на великій площі, використовуючи високоякісні супутникові знімки, які охоплюють практично всю територію планети. Це

робить його ефективнішим в порівнянні з методом Total sky imagery [10], який застосовується на обмеженій території.

Метод базується на точному вимірюванні коефіцієнта відбиття сонячного випромінювання від хмар. Це дозволяє точно розраховувати індекс хмари, що є пропорційним оптичній глибині (прозорості) хмари. Метод широко використовується для визначення інсоляції на місцевості.

Мінуси методу включають обмеженість зображень, отриманих космічними супутниками, до видимого спектру, що може призводити до менш точних ранкових прогнозів через відсутність даних під час нічного часу. Також геостационарні супутники мають низьку розподільчу якість, що може призводити до недостатньої точності для менших хмарних утворень. Частота оновлення інформації менше, ніж у методі Total sky imagery, і обробка супутникових зображень вимагає більше часу. Все це може впливати на точність прогнозів, особливо для коротших горизонтів часу. Усе ж, завдяки покриттю великої площі хмарного покриття, метод здатний надавати достатньо точний прогноз до 6 годин, що часто перевершує дані числових методів прогнозу погоди [11].

1.7 Основні функціональні елементи автономної фотоелектричної системи

При проектуванні АФЕС важливо враховувати основну вимогу - площу для розміщення фотомодулів. Наявність достатньої площі для розміщення фотомодулів є ключовою вимогою. Розташування фотомодулів повинно бути оптимізоване для отримання максимального сонячного випромінювання, виключати затінення та гарантувати надійне кріплення панелей.

Основні елементи ФЕС:

- Фотоелектричні модулі – генеруючі постійний електричний струм елементи, розглянуті в попередніх пунктах. Вони повинні бути обрані з урахуванням площі під розміщення, потужності споживача та погодних особливостей місцевості.
- Регулятор (контролер) заряду-розряду, необхідний для запобігання перезарядки або перерозрядки акумуляторних батарей. Він гарантує

оптимальний стан акумуляторів для підтримки ефективної роботи системи.

- Інвертор, що перетворює постійний струм, отриманий від фотоелектричних модулів, в змінний струм для живлення споживача. Вибір інвертора повинен враховувати потужність та тип споживача.
- Система акумуляції включає акумуляторні батареї з'єднані між собою, що забезпечують надійне електропостачання. Їх потужність повинна бути достатньою для забезпечення енергією споживача під час нічних чи хмарних періодів.

Ці компоненти працюють у взаємодії для забезпечення стійкого та ефективного електропостачання у далеких від електромережі об'єктах або там, де немає можливості підключення до централізованої мережі електропостачання. Принципова схема автономної фотоелектричної станції зображена на рис 1.3.

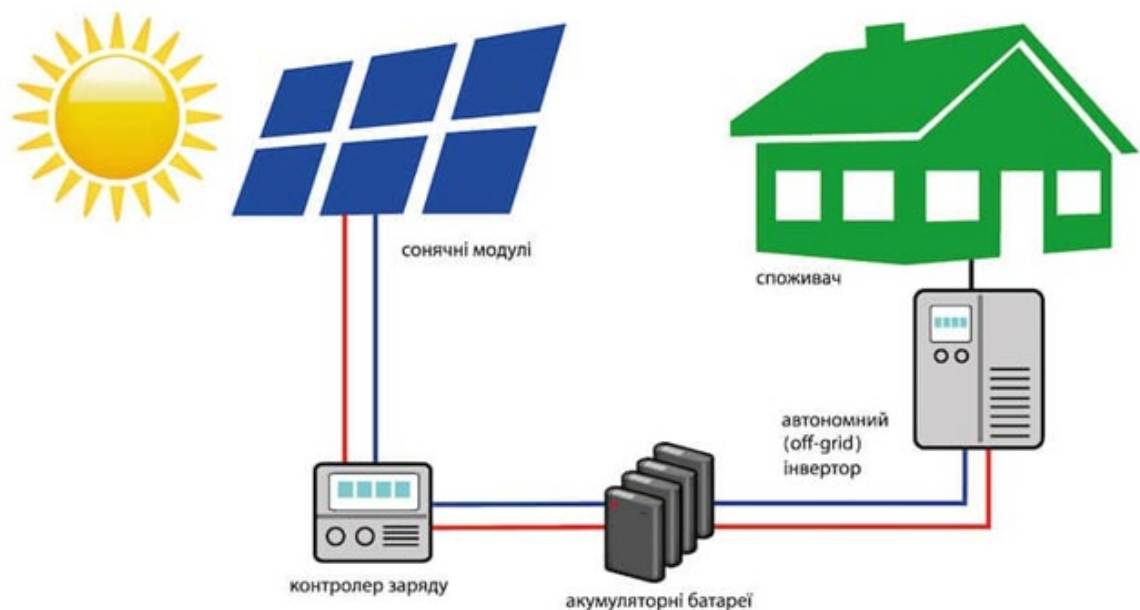


Рисунок 1.3 — Базова схема роботи АФЕС [12]

Оцінка необхідної потужності фотоелектростанції (ФЕС) для забезпечення потреб споживачів визначається рядом факторів. Найважливішими серед них є:

1. Споживчі потреби: розмір і тип фотоелектростанції буде залежати від того, які саме потреби потрібно задовольнити. Це може бути житловий сектор, комерційні об'єкти або промислові підприємства.

2. Рівень енергоспоживання: чим більший обсяг електроенергії потрібно виробляти, тим більша потужність ФЕС буде необхідною. Це пов'язано із загальною потужністю споживачів та їхніми планами щодо розвитку.
3. Географічні та кліматичні умови: розташування ФЕС грає важливу роль. В регіонах з великою кількістю сонячних днів може знадобитися менше панелей, ніж в областях з менш інтенсивним сонячним випромінюванням.
4. Технологічні обмеження: розвиток технологій сонячних батарей впливає на ефективність та вартість ФЕС. Сучасні технології можуть дозволити побудувати більш потужні та ефективні станції на менших площах.
5. Економічні фактори: вартість будівництва та утримання ФЕС, а також доступність фінансування, може обмежити потужність, яку можна побудувати.
6. Енергоефективність та втрати: чим ефективніше ФЕС перетворює сонячну енергію в електричну і чим менше відбувається втрат під час передачі та перетворення, тим менше потужності буде потрібно для задоволення конкретних потреб.

Таким чином, для точної оцінки потрібно провести індивідуальний аналіз кожного конкретного випадку, враховуючи всі зазначені фактори.

1.8 Висновок до розділу 1

Очевидно, що в області енергетики майбутнього відновлювальні джерела енергії візьмуть верховенство, особливо враховуючи обмеженість природних ресурсів та постійне зростання їх вартості. Крім того, використання традиційних джерел енергії призводить до загострення екологічних проблем у світі. Серед різноманітних відновлювальних джерел енергії сонячна енергетика видається простою та доступною альтернативою для приватного використання з метою задоволення особистих енергетичних потреб.

А можливість отримання кількох видів енергії з сонячного випромінювання є її додатковою перевагою. Окрім того, сонячна енергія може бути використана для трансформації сонячного світла в тепло за допомогою сонячних колекторів. Ці системи зараз використовуються переважно як додаткові джерела енергії. Серед різних типів сонячних колекторів можна виділити абсорбуючі, плоскі, вакуумні, концентраторні та інші, які, незважаючи на різницю в конструкції, ґрунтуються на однакових фундаментальних принципах роботи.

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СПОЖИВАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ

2.1 Огляд будівлі для автономного забезпечення енергоресурсами

Розрахунок проведено для проекту приватного будинку з високим рівнем теплоізоляції. Будинок розташований у місті Олександрія, Кіровоградська обл., всі подальші дані для розрахунків будуть приведені для м. Олександрія.

Будівля являє собою одноповерховий будинок загальною площею 100 м². Схема та розміри будинку наведені на рис. 2.1. План даху будинку наведений на рис. 2.2.

Даним проектом передбачено один поверх, 8 кімнат, включаючи санвузол і кухню. Площі кімнат наведені на рис. 2.1. У будинку встановлені металопластикові вікна з п'ятикамерними склопакетами.

Загальні характеристики будинку:

- Площа 1 поверху — 100,00 м².
- Житлова площа — 58,08 м².
- Габарити — 14,73 м x 10,73 м.
- Об'єм будинку — 350 м³.
- Висота будинку — 6,18 м.
- Матеріал зовнішніх стін — керамоблок 380 мм + утеплювач 100 мм.
- Кількість людей, що проживають в будинку — 4 особи.

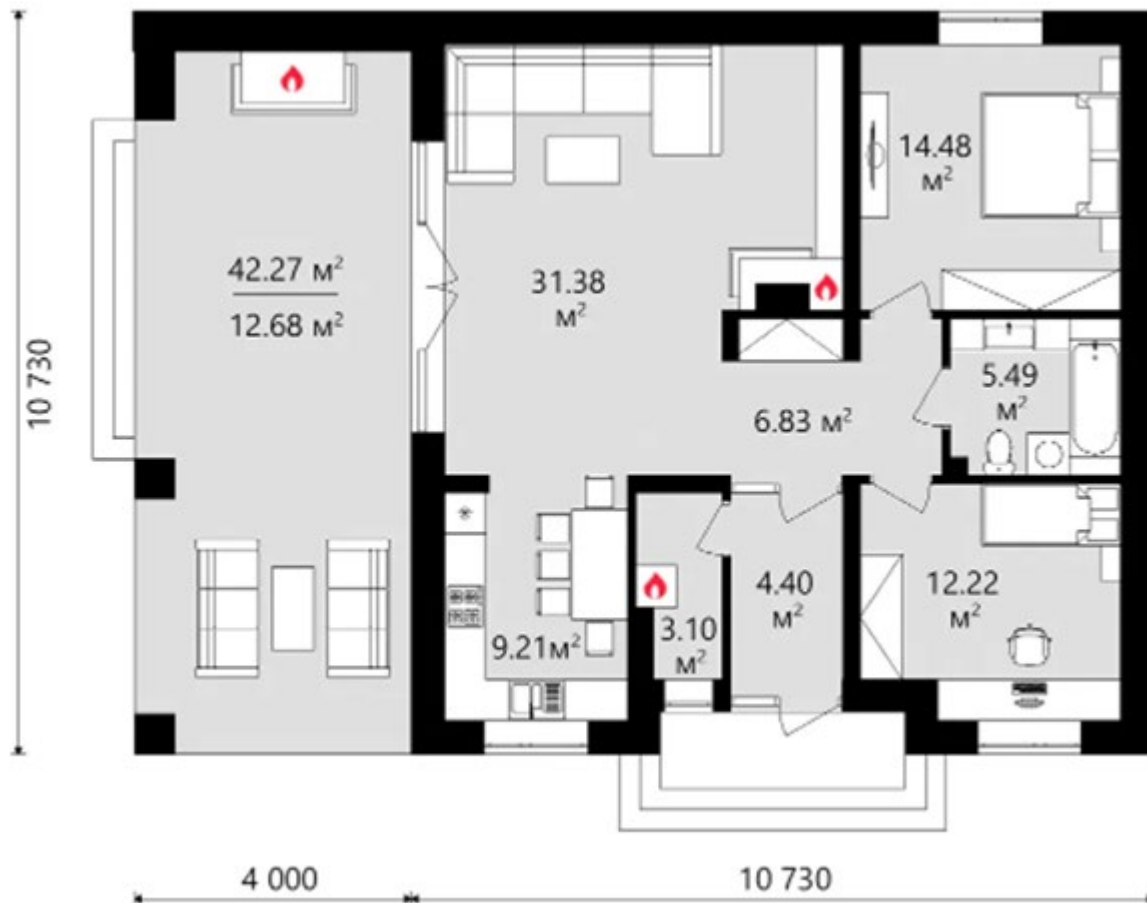


Рисунок 2.1 — План першого поверху будинку[13]

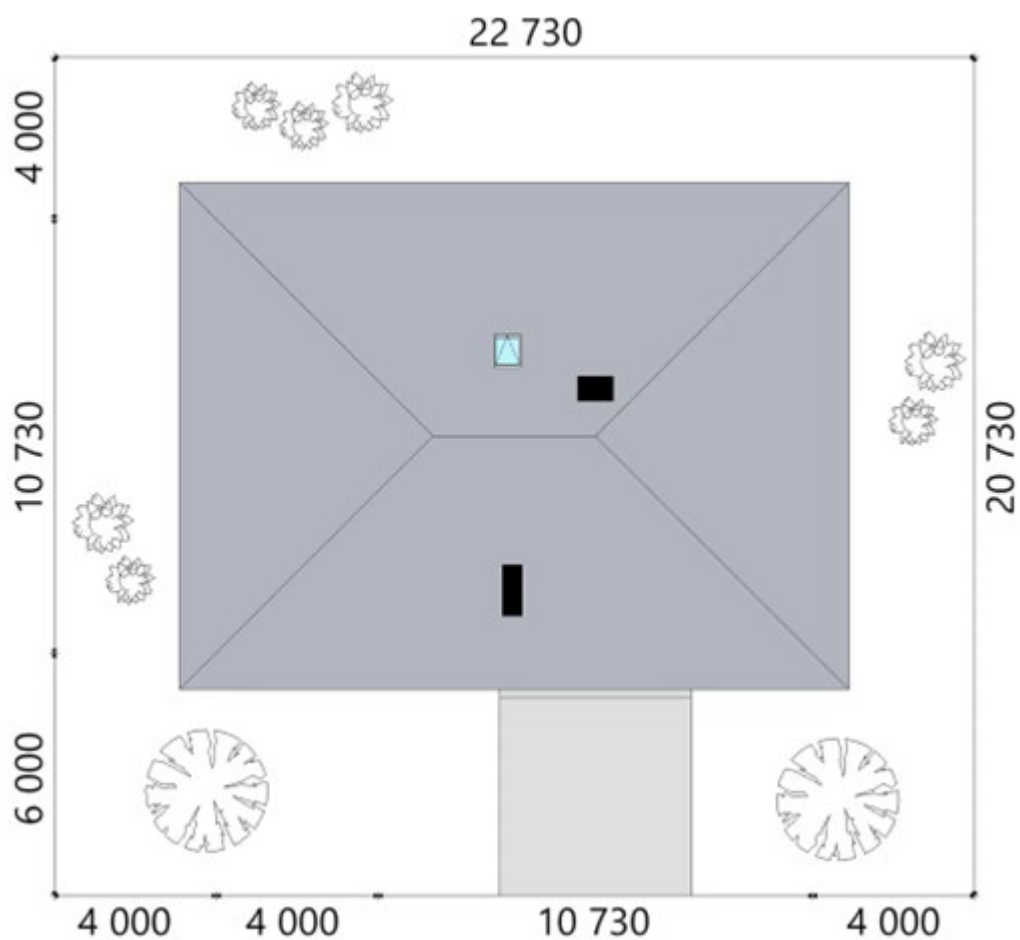


Рисунок 2.2 — План даху будинку [13]

2.2 Оцінка кліматичної зони для встановлення фотостанції

Температури зовнішнього повітря наведені у табл. 2.1. Інформація взята з довідникових даних "Будівельна кліматологія" ДСТУ-Н Б В.1.1- 27:2010 [14].

Таблиця 2.1 — Температура зовнішнього повітря для міста Кіровоград

Середня місячна температура повітря, °С /Середня добова амплітуда температури, °С											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-4,9/ 6,4	-3,9/ 6,2	0,8/ 7,4	9,1/ 10,7	15,2/ 11,9	18,6/ 11,6	20,4/ 11,6	19,7/ 12,1	14,7/ 11,6	8,2/ 9,7	2,1/ 6,0	-2,6/ 5,4
Температура повітря, °С											
Середня за рік	Холодного періоду						Теплого періоду				
	Найхолодніша доба забезпеченістю			Найхолодніша п'ятиденка забезпеченістю			Найжаркіша доба забезпеченістю 0,95	Найжаркіша п'ятиденка забезпеченістю 0,99			
	0,98	0,92		0,98	0,92						
8,1	-30	-26		-25	-22		29	25			
Період із середньою добовою температурою повітря											
≤ 8 °С			≤ 10 °С				≥ 21 °С				
тривалість, діб	середня температура, °С		тривалість, діб	середня температура, °С		тривалість, діб	середня температура, °С		тривалість, діб	середня температура, °С	
175	-0,3		192	0,5		32	20,8				

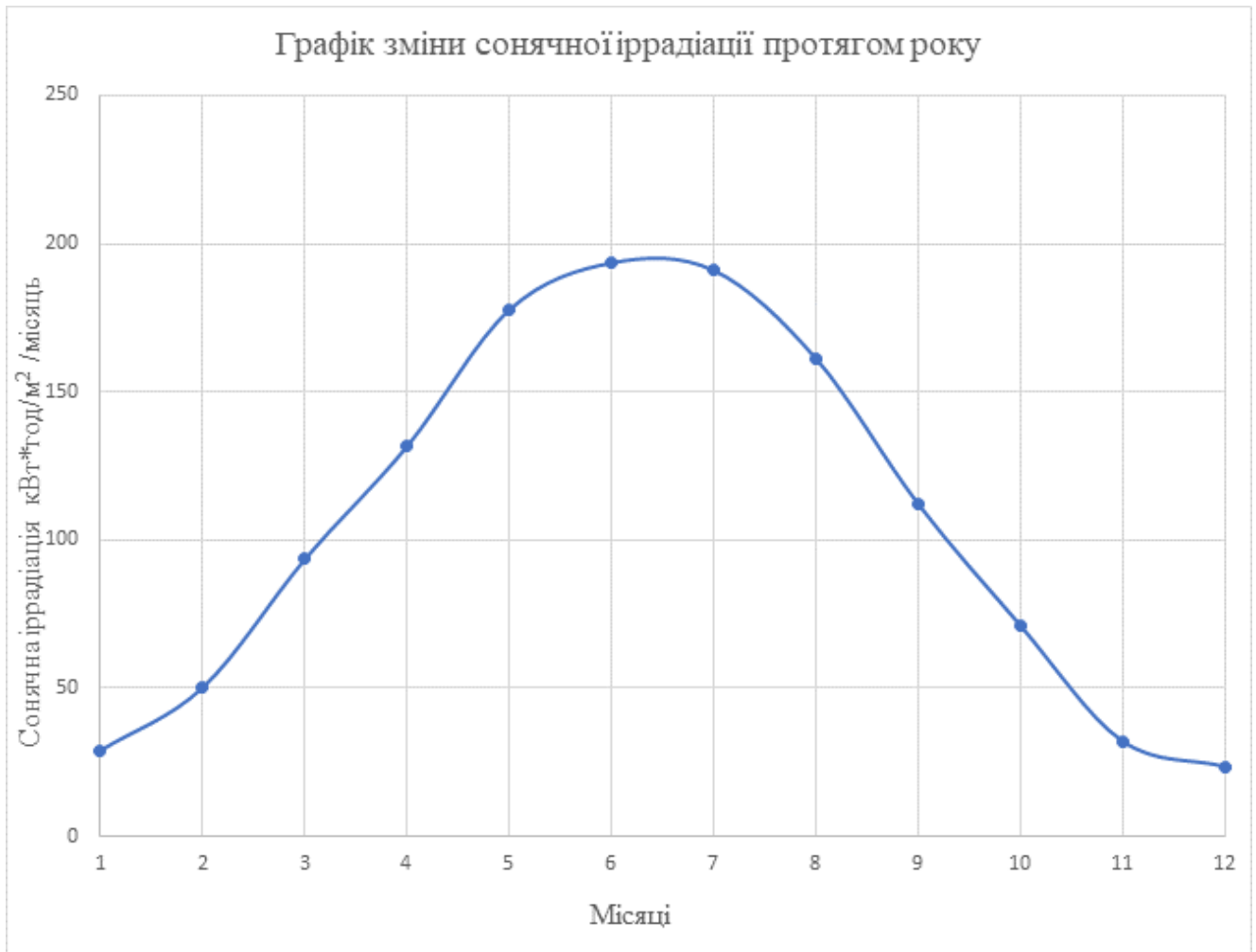


Рисунок 2.3 — Середній місячний рівень сонячної радіації(сонячна постійна) на похилу площину у місті Олександрія (кВт*год/м² /місяць)

2.3 Дослідження об'ємів необхідного електропостачання

Виходячи з обладнання та потреб родини, зіставлено таблицю споживачів електроенергії, їх кількості та потужності.

Оскільки погодні умови протягом року змінюються, - мінливі і графіки споживання енергії. Наприклад: взимку мало світлових годин, отже частіше вмикається освітлення, через несприятливі погодні умови родина більше часу проводить за комп'ютерами та телевізором, котел догріває воду для користування, влітку навпаки – освітлення і гаджети використовуються рідше, воду підігрівати зовсім нема необхідності, але кондиціонер стабільно працюватиме по 5-6 годин на добу. Перелік встановленого електрообладнання і його споживана потужність наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 — Перелік встановленого електрообладнання

Електрообладнання	Кількість n, шт	P, Вт
Освітлення	8	7
Wi-Fi роутер	1	5
Мікрохвильова піч	1	1200
Пральна машина	1	2000
Холодильник	1	200
Заряд телефону	3	6
Комп'ютер	2	150
Телевізор	1	50
Кондиціонер	1	620
Циркуляційний насос	1	500

Встановивши денні години роботи всіх електроприладів, було обраховано загальне споживання енергії протягом дня для кожного місяця окремо. Графік споживання у кожен місяць року наведений на рис. 2.4.

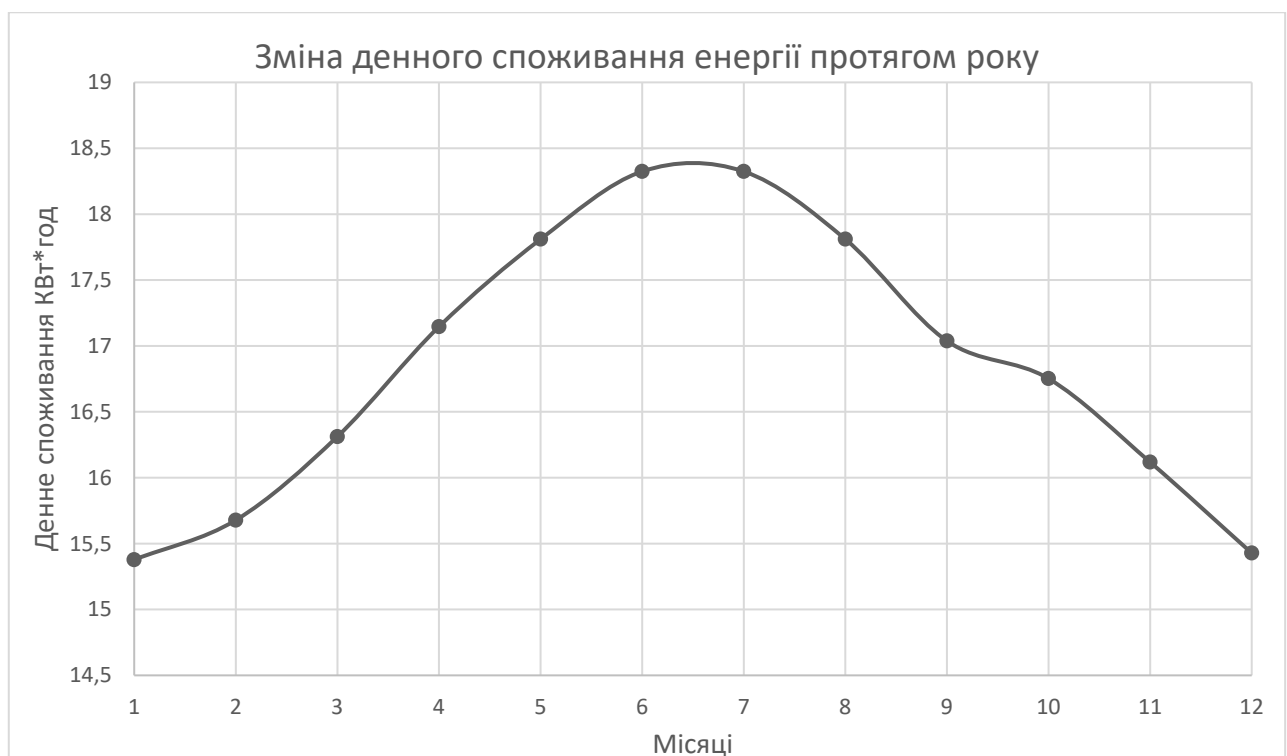


Рисунок 2.4 — Графік зміни денного електроспоживання протягом року

2.4 Теплові потреби будівлі

Теплове навантаження на опалення житлових будинків визначене за формулою 2.14 КТМ 204 України 244-94 «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні», Гкал/год [15]:

$$Q_0^{max} = V \cdot q_0 \cdot (t_B - t_{з.п.}) \alpha \cdot 10^{-6}, \quad (2.1)$$

де V – зовнішній будівельний об'єм, m^3 (згідно технічного паспорту та довідок БТІ за вилученням об'ємів вбудованих неопалювальних лоджій та балконів, квартир з автономним опаленням); q_0 – питома опалювальна характеристика будівлі, $0,45 \text{ ккал}/m^3 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}$ (згідно табл. 2.5, 2.6 КТМ 204 України 244-94); t_B – температура внутрішнього повітря, $^\circ\text{C}$ (згідно табл. 2.2 КТМ 204 України 244-94, $t_B = 18 \text{ }^\circ\text{C}$); $t_{з.п.}$ – температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$ (згідно табл. 2 ДСТУ-Н Б В.1.1- 27:2010 «Будівельна кліматологія» при температурі зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 92%, для Кіровоградської області $t_{з.п.} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$); α – коефіцієнт перерахунку (згідно табл.2.7 КТМ 204 України 244-94 для Кіровоградської обл. при $t_{з.п.} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ $\alpha = 1,034$).

На підставі отриманого теплового навантаження на опалення визнаються річні витрати теплової енергії на потреби опалення за формулою 2.11 КТМ 204 України 244-94, Гкал:

$$Q_0 = Q_0^{max} \cdot \frac{t_B - t_{ср.міс}}{t_B - t_{з.п.}} \cdot m \cdot n, \quad (2.2)$$

де Q_0^{max} — раніше розраховане максимальне теплове навантаження на опалення житлового будинку, Гкал/год; t_B — температура внутрішнього повітря в приміщенні, $t_B = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{ср.міс}$ — середня температура зовнішнього повітря (згідно табл. 2 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» для Кіровоградської області $t_{ср.міс} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$); $t_{з.п.}$ — розрахункова температура зовнішнього повітря (згідно табл. 2 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія" для Кіровоградської області $t_{з.п.} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$); m — кількість годин роботи на добу, $m = 24 \text{ год}$; n — тривалість опалювального періоду впродовж

року. (згідно табл.2 ДСТУ-Н Б В.1.1- 27:2010 „Будівельна кліматологія“ для Кіровоградської області $n = 175$ днів) [16];

Далі рахуються витрати теплої води. Для однієї людини приймемо норму 50 літрів води з температурою 45 °С, що відповідає нормі споживання 1 750 Ккал теплової енергії. Витрати теплої води, Гкал:

$$Q_{\text{ГВП}} = Q_{\text{люд}} \cdot n \cdot n_p, \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{люд}}$ — норма споживання однією людиною, ккал; n — кількість людей, що проживають у будинку; n_p — кількість днів у році, $n_p = 365$ днів.

Тепер можна провести розрахунок теплової потужності з урахуванням сумарних навантажень на нагрівання теплоносія для системи опалення та нагрівання води для побутових потреб.

Сумарна теплова потужність на обігрів і ГВП для якісно утепленого будинку складає:

$$Q_{\text{СУМ}} = Q_o + Q_{\text{ГВП}}, \quad (2.4)$$

де Q_o — річні витрати теплової енергії на потреби опалення, Гкал; $Q_{\text{ГВП}}$ — річні витрати теплої води для даного будинку за рік, Гкал.

Максимальне теплове навантаження за формулою (2.1):

$$Q_0^{\text{max}} = 350 \cdot 0,45 \cdot (18 - (-18)) \cdot 0,934 \cdot 10^{-6} = 0,005\,293 \text{ Гкал/год}$$

Річні витрати теплової енергії на потреби опалення за формулою (2.2):

$$Q_o = Q_0^{\text{max}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.міс}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{з.п}}} \cdot m \cdot n = 0,005\,293 \cdot \frac{18-5}{18+22} \cdot 24 \cdot 180 = 7,432 \text{ Гкал}$$

Витрати теплої води для даного будинку за рік за формулою (2.3) складають:

$$Q_{\text{ГВП}} = Q_{\text{люд}} \cdot n \cdot n_p = 1\,750 \frac{\text{Ккал}}{\text{люд}} \cdot 4 \text{ люд} \cdot 365 \text{ днів} = 2,555 \text{ Гкал}$$

Сумарна теплова потужність на обігрів і ГВП для даного будинку за формулою (2.4):

$$Q_{\text{СУМ}} = Q_o + Q_{\text{ГВП}} = 7,431 + 2,555 = 9,986 \text{ Гкал}$$

Зміна теплового споживання будинку протягом року наведена на рис.2.5.

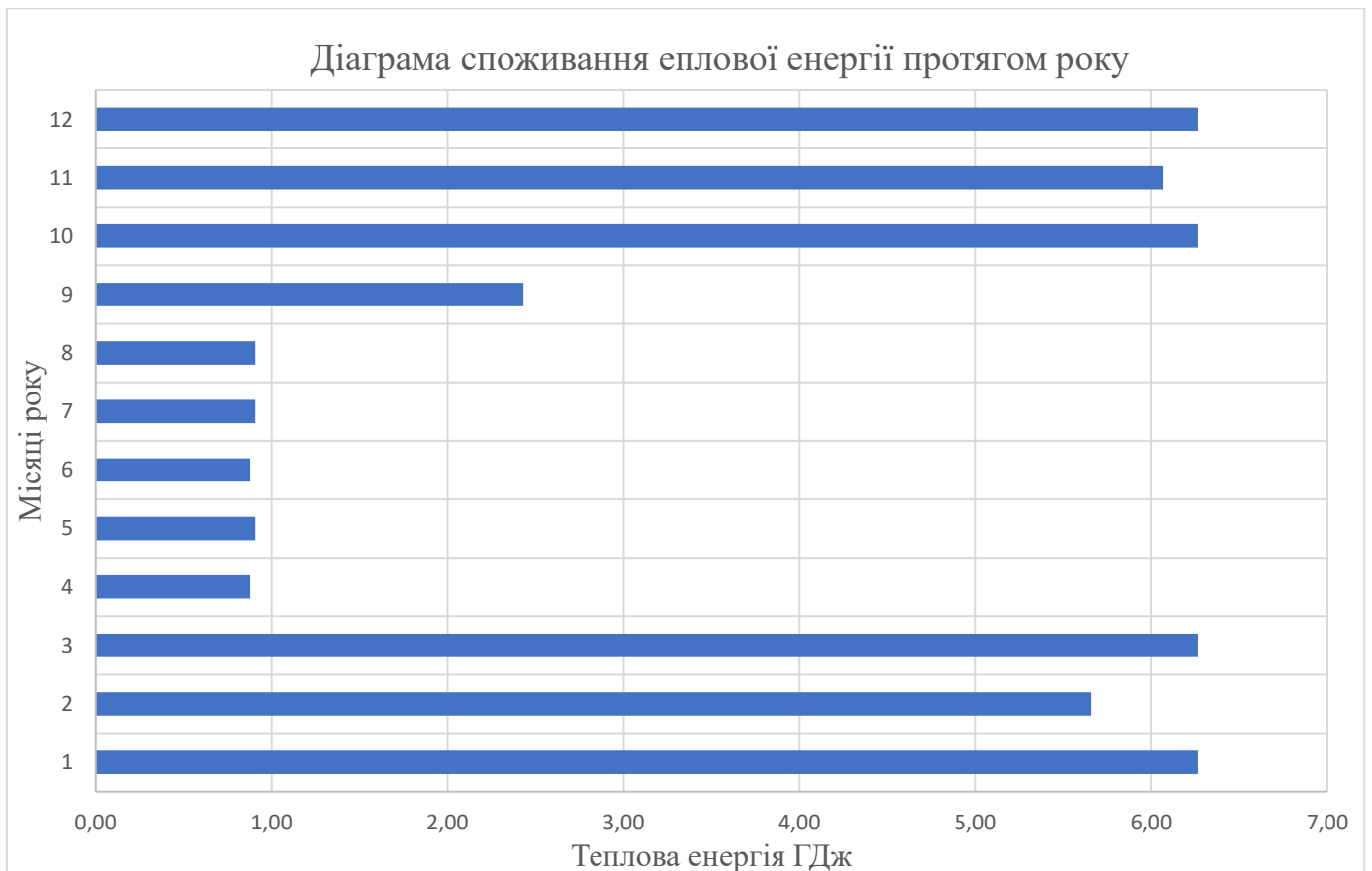


Рисунок 2.5 — Зміна теплового споживання будинку протягом року

2.5 Висновок до розділу 2

Було зібрано всю необхідну інформацію про будинок, місцевість, її погодні умови, цілорічні зміни температури та сонячного випромінювання. Було оцінено змінні електропотреби будинку та побудовано графік цілорічних змін у споживанні. На основі цієї інформації надалі будуть проводитись всі електричні розрахунки фотостанції.

Наступним кроком стала оцінка теплових потреб. Вони складаються з опалення в холодну пору року 7,432 Гкал протягом 180 днів та ГВП, яке склало 2,555 Гкал протягом всього року. Ці данні були зведені у діаграму зміни теплоспоживання протягом року для наочності, та будуть використовуватись в подальших теплових розрахунках геліосистеми.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Підбір бака-акумулятора теплової енергії

Усі теплоакумулятори мають однакові характеристики, різниця полягає лише у об'ємі, матеріалі або наявності нагрівача для підтримки температури.

З попереднього пункту відомо, що будинок споживає $Q_{гр} = 1,5 \cdot 10^6$ ккал тепла у найскладніший місяць року. Отже, денне споживання:

$$Q_{ден} = \frac{Q_{гр}}{n_{д_м}}, \quad (3.1)$$

де $Q_{гр}$ — теплові потреби будинку за грудень, ккал; $n_{д_м}$ — кількість днів у місяці.

Виходячи з цього параметру, розрахуємо мінімальний об'єм баку акумулятора тепла:

$$V = \frac{Q_{ден}}{\Delta t}, \quad (3.2)$$

де $Q_{ден}$ — денне споживання теплової енергії, ккал; Δt — різниця температур в геліосистемі.

Тоді, денне споживання за формулою (3.1):

$$Q_{ден} = \frac{Q_{гр}}{n_{д_м}} = \frac{1,5 \cdot 10^6}{31} = 48\,387,1 \text{ Ккал}$$

Мінімальний об'єм баку акумулятора тепла за формулою (3.2):

$$V = \frac{Q_{ден}}{\Delta t} = \frac{48\,387,1}{100} = 484 \text{ л}$$

Згідно отриманих даних, було обрано утеплений теплоакумулятор 500 л з теплообмінником на 12 КВт та баком для ГВП на 80л. Теплоакумулятор Vizon зображено на рис. Б.1.

Таблиця 3.1 — Технічні характеристики баку-акумулятора [17]

Загальна потужність теплообмінника	12 кВт
Матеріал бака-акумулятора	Вуглецева сталь
Максимальна температура у баку	95 град.
Висота	1900 мм
Гарантійний термін, міс.	36 міс.
Країна виробника	Україна
Товщина ізоляції	50 мм
Матеріал ізоляції	Пінополіуретан
Кількість теплообмінників	1 шт.
Об'єм бака	500 л + 80 л ГВП
Діаметр (без ізоляції)	800 мм
Загальна площа поверхні теплообмінника	2.3 кв.м
Матеріал теплообмінника	Нерж. сталь 50 м Eco Flex 3/4
Максимальний тиск теплообмінника	10 бар
Товщина металу	3 ММ
Тепловтрати, доб	7%

Цей бак вже включає в себе і теплообмінник для отримання теплової енергії від геліосистеми, і бак для опалення будинку з замкнутою системою циркуляції підготованої (пом'якшеної) води, і спеціальний бак для ГВП розрахований на воду від централізованого водопостачання, що є значно агресивнішою до металів. А завдяки великому об'єму він дозволить значно збільшити надійність системи на випадок відключення геліосистеми на цілу добу.

3.2 Розрахунок потужності геліосистеми

Дані сонячної інсоляції на м² протягом року для м. Олександрії з рис. 2.3 переведно у Гкал/м²/міс і відображено у табл. 3.2 для подальшого теплового розрахунку.

Таблиця 3.2 – Надходження питомої енергії протягом року для м. Олександрія

Місяць	Питома енергія	
	кВт*год/м ²	Гкал/м ²
Січень	29	0,02494
Лютий	50,3	0,04325
Березень	93,6	0,08048
Квітень	131,7	0,11324
Травень	177,8	0,15288
Червень	193,6	0,16647
Липень	191,1	0,16432
Серпень	161,4	0,13878
Вересень	112,3	0,09656
Жовтень	71,3	0,06131
Листопад	32,2	0,02769
Грудень	23,6	0,02029
Річна	1267,9	1,09020

Розраховувати потужність майбутньої геліосистеми доцільніше на основі найбільш вибагливого місяця року. Оскільки пікове теплоспоживання припадає на січень та грудень, то розрахунок проведено по місяцю з мінімальною інсоляцією, а саме грудню.

Потужність даної системи буде значною, тому зупинимось на вакуумних всесезонних сонячних колекторах Altek SC-HD-30 (Drainback), на 30 трубок з захистом від закипання влітку. Сонячний колектор Altek SC-HD-30 (Drainback) зображено на рис. Б.2.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики геліоколектора [18]

1	2
Модель	ALTEK SC-HD-30
Площа апертури	2.82 м ²
Довжина	1990 мм
Ширина	2390 мм
Кількість трубок	30
Коефіцієнт розсіювання	5%
Мінімальна робоча температура навколишнього середовища	-30 °С
ККД	95%
Режим використання	Цілорічне
Спосіб монтажу	Похилий
Термін служби	15 років
Тип вакуумної трубки	Heat-pipe
Тип колектора	Вакуумний
Площа абсорбера (кв.м)	2.42
Кут нахилу	45 ⁰
Зовнішній діаметр трубок	58 мм
Довжина трубок	1800 мм
Матеріал трубки	Скло

Місячна продуктивність одного колектору розраховується за формулою:

$$Q_{\text{кол}} = S_{\text{аб}} \cdot \text{Irr}_{\text{міс}} \cdot (1 - k_{\text{роз}}) \cdot \eta, \quad (3.3)$$

де $S_{\text{аб}}$ — площа абсорбера геліоколектора, м²; $\text{Irr}_{\text{міс}}$ — місячна сонячна іррадіація на площину 1 м², Вт/м²; $k_{\text{роз}}$ — коефіцієнт розсіювання; η — ККД геліоколектора за паспортними даними.

Необхідна кількість колекторів для усієї геліосистеми розраховується за формулою:

$$n = \frac{Q_{\text{груд}}}{Q_{\text{кол}} \cdot \eta_{\text{сист}} \cdot \eta_{\text{бак}}}, \quad (3.4)$$

де $Q_{\text{груд}}$ — теплоспоживання за грудень, Гкал; $Q_{\text{кол}}$ — місячна продуктивність одного колектору, Гкал; $\eta_{\text{сист}}$ — ККД системи труб. Оскільки геліосистема буде розміщена на крівлі та поблизу будинку, втрати мінімальні; $\eta_{\text{бак}}$ — ККД баку теплоколектора.

Отже, місячна продуктивність одного колектору за формулою (3.3):

$$Q_{\text{кол}} = S_{\text{аб}} \cdot Irr_{\text{міс}} \cdot (1 - k_{\text{роз}}) \cdot \eta = 2,42 \cdot 0,020292 \cdot (1 - 0,05) \cdot 0,95 = 0,044 \text{ Гкал}$$

Необхідна кількість колекторів для даної геліосистеми за формулою (3.4):

$$n = \frac{Q_{\text{груд}}}{Q_{\text{кол}} \cdot \eta_{\text{сист}} \cdot \eta_{\text{бак}}} = \frac{1,5}{0,044 \cdot 0,97 \cdot 0,93} = 36,88 \approx 37 \text{ колекторів}$$

Розміщення даної геліосистеми було спроектовано у програмному середовищі PVsyst, рис 3.1. Оскільки місця на даху виявилось не достатньо, 24 панелі було розміщено поряд з будинком на спеціальних комплектних підпорках.

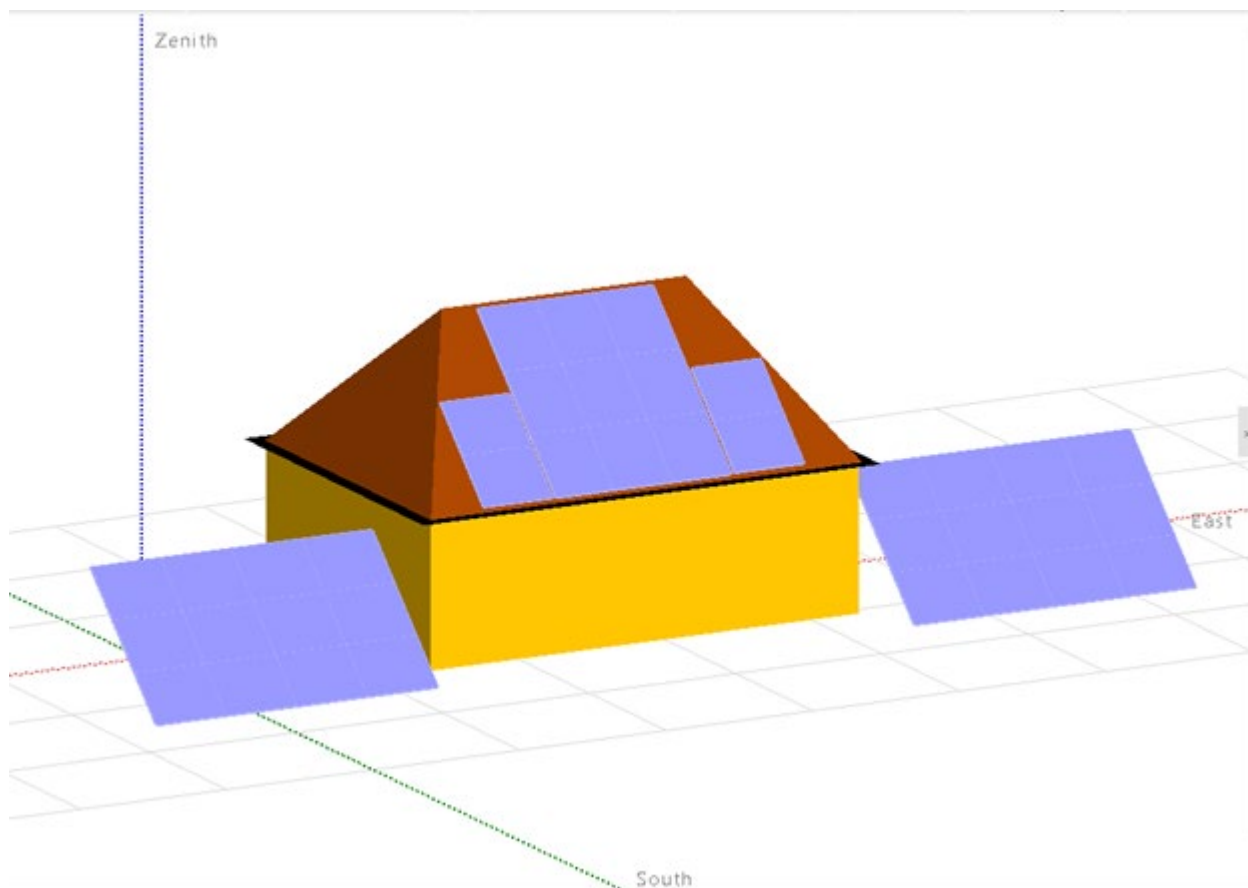


Рисунок 3.1 — Спроекована у програмі PVsyst схема розміщення геліоколекторів

Співставимо дані генерації геліосистеми та теплоспоживання будинку протягом року, скориставшись формулою (3.3) та домноживши на обрану нами кількість колекторів – 37 шт. Графік теплоспоживання та теплогенерації протягом року наведено на рис. 3.2.

Оскільки теплогенерація більшу частину року є надлишковою, додатково можна також підігрівати воду в басейні, витратити тепло на господарські потреби, або просто користуватись технологією Drainback яка дозволить зливати робочу речовину з колектора і вбереже його від перегріву та пошкодження.



Рисунок 3.2 — Діаграма теплоспоживання та теплогенерації протягом року

3.3 Розрахунок потужності фотовольтаїчної системи

Було обрано фотостанцію з мережевим інвертором, цей тип станцій дозволяє збувати надлишки енергії по зеленому тарифу. Вона дозволить нам вирішити проблему з надлишковою генерацією влітку та завдяки отриманим коштам пришвидшить окупність інвестицій в створення системи. Принципова схема автономної фотостанції з можливістю продажу надлишків енергії в мережу зображена на рис. 3.3.

Для проведення розрахунків було використано програмне забезпечення PVsyst. На сьогодні це один з найбільш популярних інструментів серед

інженерів, що займаються створенням сонячних електростанцій. Ця програма дозволяє ефективно моделювати сонячні електростанції та проводити економічні розрахунки виробництва енергії для комерційних та приватних проектів.

PVsyst може використовуватися для проектування як статичних, так і трекінгових сонячних електростанцій, а також враховує затінення за допомогою спеціальних алгоритмів.

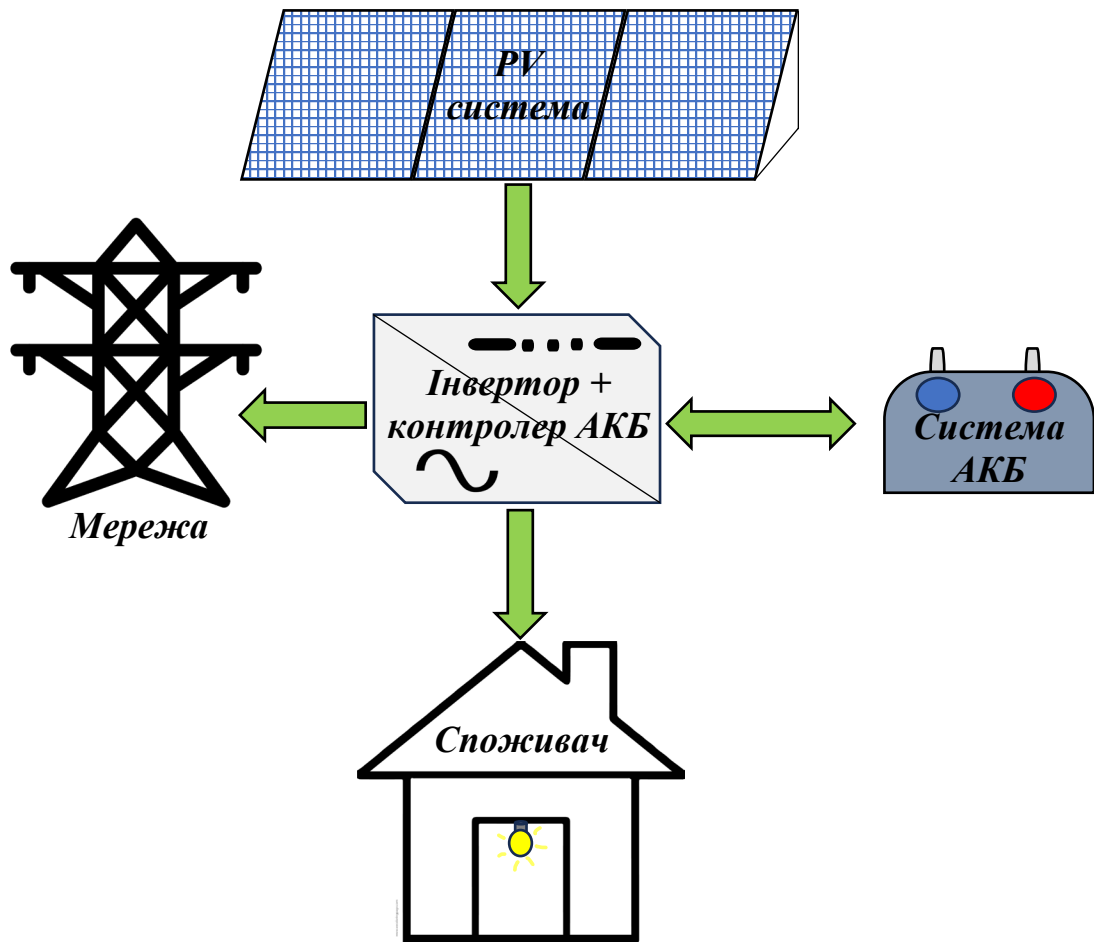


Рисунок 3.3 — Принципова схема автономної фотостанції з можливістю продажу надлишків енергії в мережу

При виборі фіксованої системи фотомодулів ми встановлюємо кут нахилу та азимутальний кут. Оскільки об'єкт, на якому розташована сонячна електростанція, ми також створюємо, то використаємо найефективніше позиціонування. Кут нахилу фотомодулів дорівнює куту нахилу даху і становить 45 градусів, азимутальний кут складає 0 градусів. Процес встановлення кута нахилу фотомодулів в меню програми PVsyst зображений на рис. 3.4.

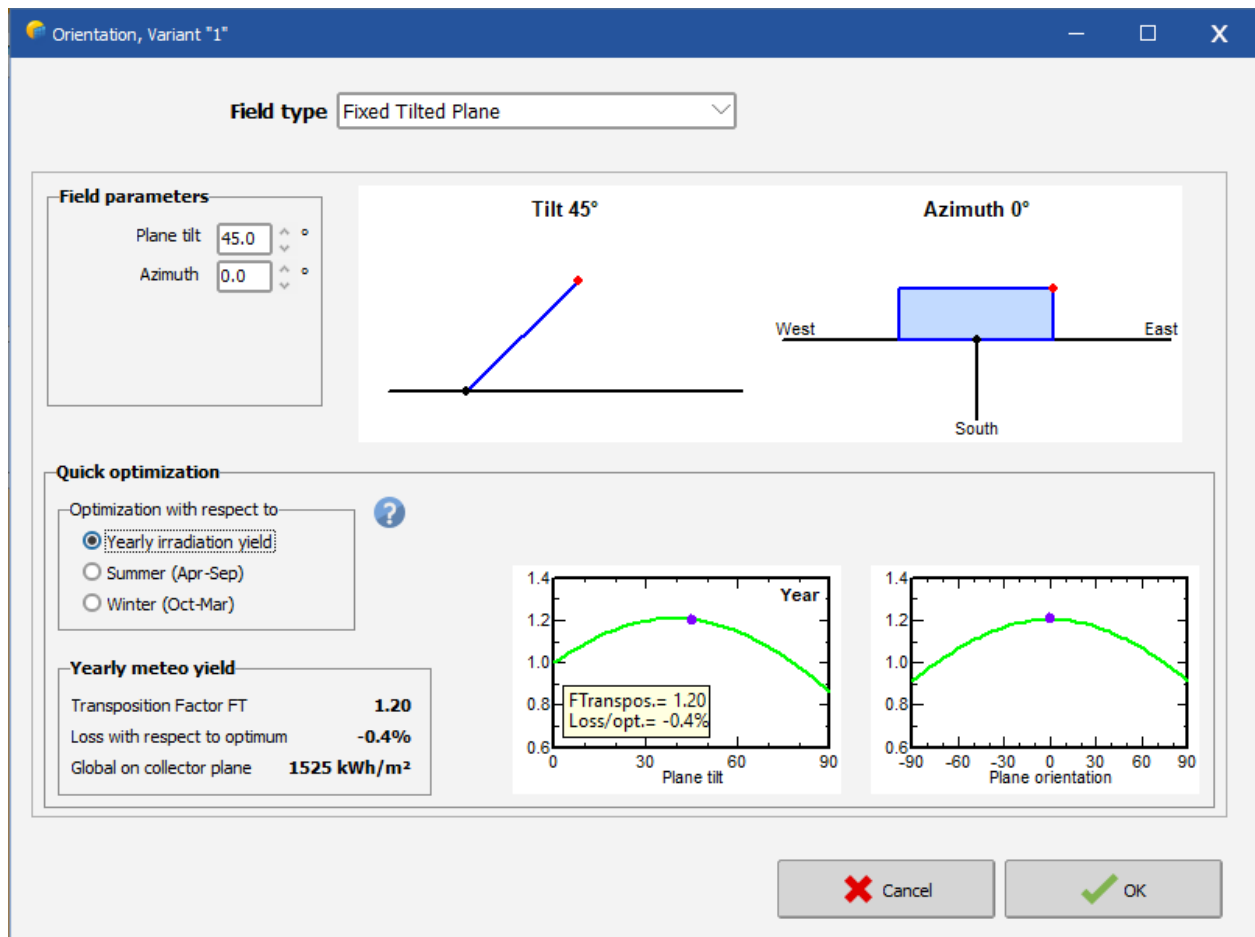


Рисунок 3.4 — Встановлення кута нахилу фотомодулів в меню програми PVsyst

Коефіцієнт транспозиції становить 1.2, що вказує на співвідношення опромінення на нахилений поверхні до горизонтальної, а втрати в порівнянні з оптимальними параметрами становлять усього 0,4%. При таких параметрах на площину фотомодуля 1m^2 за рік надійде більше 1.5 МВт·год сонячного випромінювання.

Задавши параметри навантаження для кожного місяця і вказавши бажану кількість днів автономної роботи (період який потреби споживача можуть задовольнятись за рахунок АКБ без дозаряду сонячними панелями), програма згенерувала рекомендовану потужність PV системи та ємність АКБ на основі власних алгоритмів. Ці дані зображені на рис. 3.5.

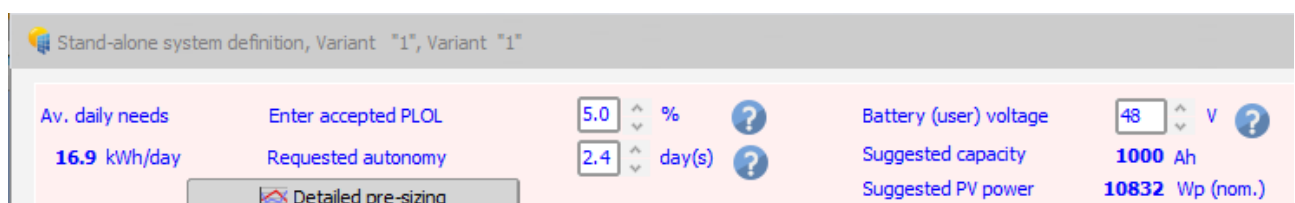


Рисунок 3.5 — Рекомендовані значення системи PVsyst

Було підібрано параметри дещо вищі від рекомендованих задля більшої стабільності системи та комфорту користувачів. До PVмасиву увійшли фотомодулі RSM144-6-385P від всесвітньо відомого виробника Risen. Фотомодуль Risen RSM144-6-385P зображено на рис. Б.3. Технічні характеристики фотомодуля наведені у табл. 3.4. Вольт-амперна характеристика модуля зображена на рис. Б.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики фотомодуля [19]

Параметр	Значення
Модель	Risen RSM144-6-385P
Розміри модуля	2015*996*40мм
Конфігурація комірок	144 монокр. ком. (6*12+6*12)
Пікова потужність	385 Вт
Напруга холостого ходу	48,8 В
Напруга при максимальній потужності	40,41 В
Струм короткого замикання	10,15 А
Струм при максимальній потужності	9,54 А
ККД	19,2%

Розрахуємо необхідну кількість модулів та звіримо з результатом програмних обрахунків PVsyst. Розглянемо знову місяць з найменшою генерацією. Площа системи розраховується за формулою:

$$S_{\text{сист}} = \frac{E_{\text{міс}}}{I_{\text{гміс}} \cdot \eta}, \quad (3.5)$$

де $E_{\text{міс}}$ — місячна споживана енергія, кВт;

$I_{\text{гміс}}$ — місячна іррадіація на м^2 , $\text{Вт}/\text{м}^2$;

η — ККД фотопанелі.

Кількість фотомодулів розраховується за формулою:

$$n = \frac{S_{\text{сист}}}{S_{\text{мод}}}, \quad (3.6)$$

де $S_{\text{сист}}$ — площа системи, м^2 ;

$S_{\text{мод}}$ — активна площа одного фотомодуля, м^2 .

Отже, площа всієї системи за формулою (3.5) складає:

$$S_{\text{сист}} = \frac{E_{\text{міс}}}{Irr_{\text{міс}} \cdot \eta} = \frac{438,984}{23,6 \cdot 0,192} = 85,55 \text{ м}^2$$

Необхідна кількість фотомодулів за формулою (3.6)

$$n = \frac{S_{\text{сист}}}{S_{\text{мод}}} = \frac{85,55}{2} = 43 \text{ модулі}$$

В той же час було підібрано кількість фотомодулів у програмному середовищі для задовільнення аналогічних потреб при заданих параметрах інсоляції. Результати підбору у програмному середовищі PVsyst зображено на рис. 3.6.

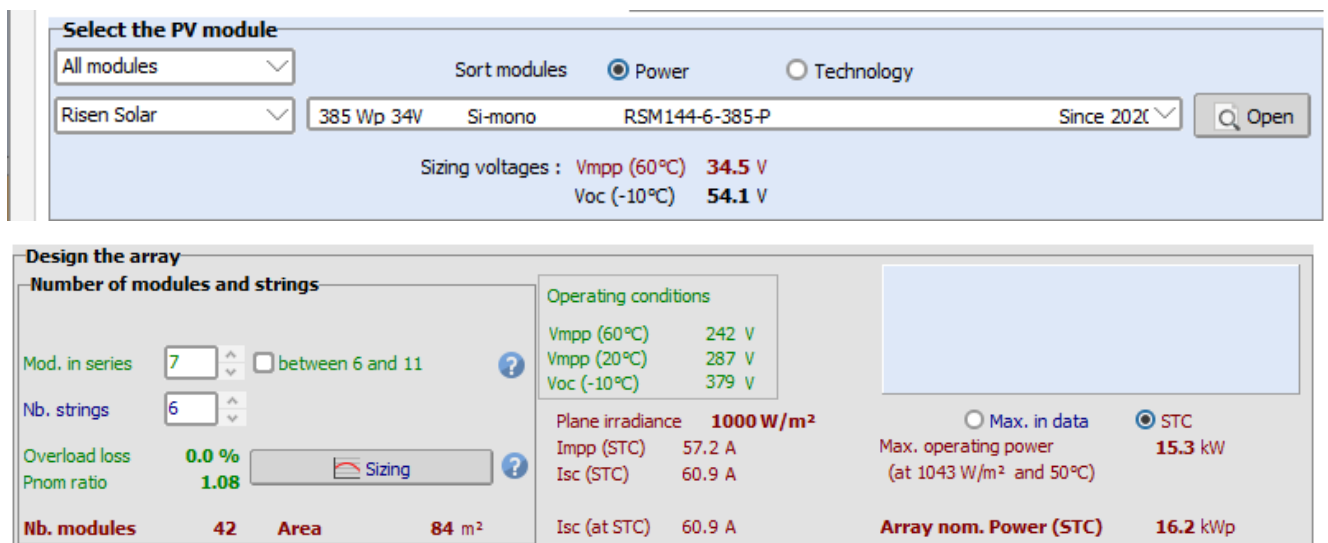


Рисунок 3.6 — Меню PVsyst, підбір фотомодулів

Розрахований нами PVмасив включає на 1 більше модуль, ніж підібрана оптимальна система в програмі PVsyst. Підберемо інші елементи системи та проведемо їх перевірку в симуляції.

3.4 Підбір інвертора з контролером заряду акумулятора

На підбрану вище потужність знаходимо мережевий інвертор Sunmaster XL15 з MPPT, потужністю 15 кВт. Результат підбору у програмному середовищі PVsyst зображено на рис. 3.7.

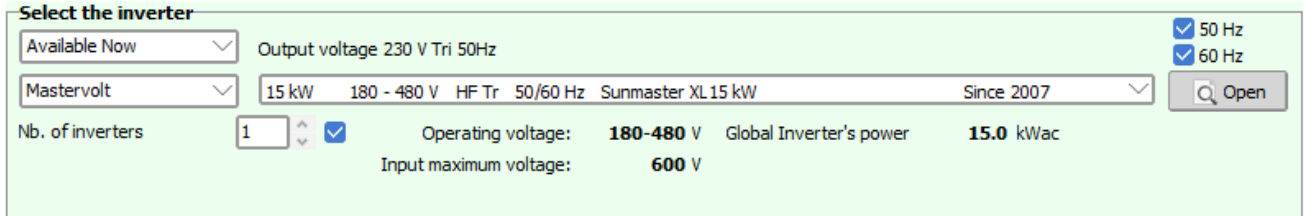


Рисунок 3.7 — Меню PVsyst, підбір інвертора

Інвертор Sunmaster XL15 з MPPT рис. Б.5 — гібридно-мережевий інвертор для фотовольтаїчної (PV) системи, призначений для конвертації високовольтного постійного електричного струму, який генерується сонячною установкою, в синусоїдальний змінний струм з аналогічною частотою і фазою, що характерні для міської електричної мережі. Крім того, інвертор може бути з'єднаний з блоком акумуляторів. Цей пристрій застосовується як у невеликих домашніх електростанціях, так і в комерційних мережевих сонячних системах. Його використовують для продажу електроенергії в мережу за "зеленим тарифом", або для ефективного використання власних ресурсів з метою економії електроенергії. Технічні характеристики інвертора наведені у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 — Характеристики інвертора [20]

Модель	Mastervolt Sunmaster IS15 15.75kW
Параметр	Значення
Рекомендована потужність PVмасиву	14-20 кВт
Максимальна вхідна потужність	16,8 кВт DC
Межі вхідної напруги	100-600 В DC
Вхідний струм	3кл x 30 А
Номінальна вихідна напруга	3ф x 230 В AC
Вихідний струм	3ф x 22 А
Частота	50/60 Гц
ККД	96%

Продовження таблиці 3.5

МРР трекер	3 МРРt x 99.9% МРР efficiency
Межі напруги МРР	180 - 480 В DC
Вбудований контролер заряду АКБ	
Максимальний струм заряду	120 А
Номінальна напруга АБ	48 В DC

Оскільки наша РVсистема складається з 42 модулів, розподілимо їх на 6 стрінгів по 7 панелей (послідовно з'єднаних між собою) та підімкнемо по 2 запаралелених стрінги на кожну вхідну клему інвертора та на один МРРТ трекер. Схема розміщення та підключення стрінгів панелей до клем інвертора з МРРТ зображені на рис. 3.8.

Розрахуємо максимальну напругу стрінгів a,b,c,d,e,f:

$$V_a = V_b = V_c = V_d = V_e = V_f = 7 \cdot U_{\max} = 7 \cdot 48,8 = 341,6 \text{ В} \quad (3.7)$$

де U_{\max} — максимальна вихідна напруга фотомодуля, В.

Максимальний струм стрінгів a,b,c,d,e,f:

$$I_a = I_b = I_c = I_d = I_e = I_f = I_{\max} = 9,54 \text{ А}, \quad (3.8)$$

де I_{\max} — максимальний вихідний струм фотомодуля, А.

Тепер з'єднаємо по 2 стрінги паралельно і розрахуємо характеристики системи.

Напруга будь-якого стрінга:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_i = 341,6 \text{ В} < 480 \text{ В} < 600 \text{ В} \quad (3.9)$$

Струм будь-якого стрінга:

$$I_1 = I_2 = I_3 = 2 * I_i = 19,08 \text{ А} < 30 \text{ А} \quad (3.10)$$

Оскільки максимальна напруга двох запаралелених стрінгів менша максимальної вхідної напруги інвертора та МРР трекера, а струм значно менший максимально допустимого, наше підключення стрінгів фотопанелей до інвертора та МРР трекера доцільне та надійне.

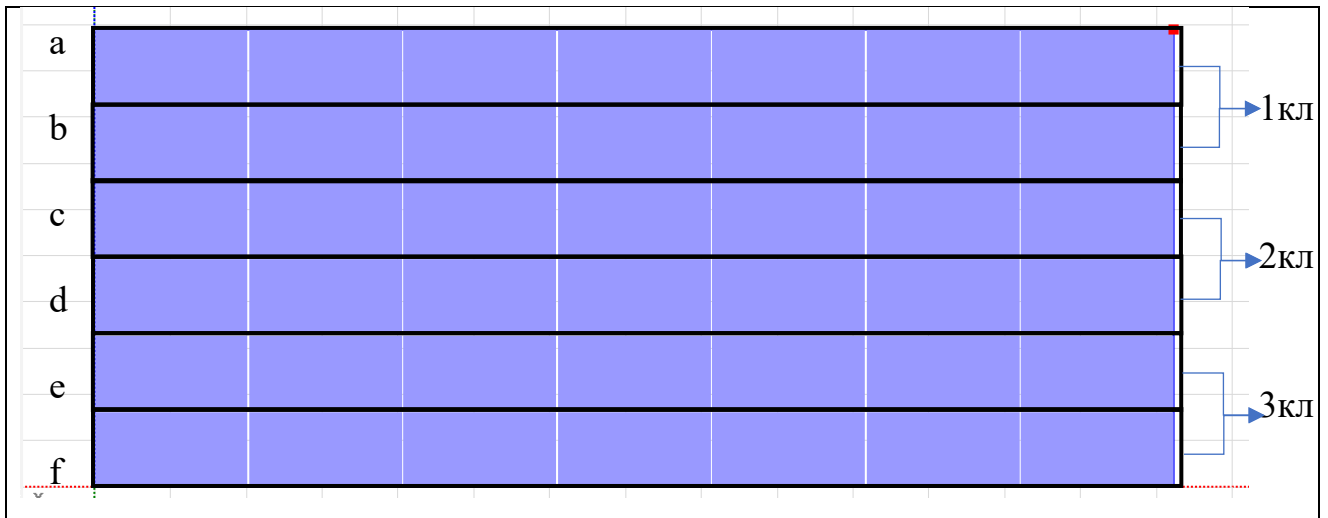


Рисунок 3.8 — Схема розміщення та підключення стрінгів панелей до клем інвертора з MPPT.

3.5 Підбір акумуляторної батареї

Оскільки потреби користувача складають близько 15 кВт год на день, підберемо АКБ, яка зможе задовольнити хоча б 36 годин неперервного енергопостачання споживача на випадок непередбачуваних обставин. Підбір системи АКБ зображено на рис. 3.9.

Specify the Battery set

Sort batteries by voltage capacity manufacturer

Cegasa 48 V 560 Ah Li LFP ULTRA 175 48V 560Ah Since 2021

Lithium-ion The selected battery is a module

1 modules in series Number of modules 1

1 modules in parallel Number of elements 30

100.0 % Initial State of Wear (nb. of cycles)

100.0 % Initial State of Wear (static)

Battery pack voltage	48 V
Global capacity	560 Ah
Stored energy (80% DOD)	21.5 kWh
Total weight	210 kg
Nb. cycles at 80% DOD	5000
Total stored energy during the battery life	109 MWh

Рисунок 3.9 — Меню PVsyst, підбір системи АКБ

В результаті було обрано систему АКБ Cegasa ULTRA 175 на 560 Аг, зображена на рис. Б.6. Це блок з 30 літій-іонних акумуляторів з робочою напругою 48 В, який задовольняє всі умови як контролера заряду-розряду, так і споживача. Адже при розряді до 20%, що є максимальним значенням для довговічної роботи АКБ, споживач зможе користуватись електропостачанням півтори доби, доки буде усунуто перешкоду для PV системи. Характеристики акумуляторної батареї наведені у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 — Характеристики акумуляторної батареї [21]

Модель	Cegasa ULTRA 175 560 Аг
Параметр	Значення
Напруга	48 В DC
Номінальний струм зар/розр	280 А
Ємність	560 Аг ~ 27 кВт*год при повному розряді
Розміри	765x405x1050
Вага	210 Кг

3.6 Розрахунок затінення фотомодулів

Перейдемо до розділу "Near Shadings", у якому виконується розрахунок затіненості фотоелектростанції. Для цього створюється 3D-модель будинку, на якій розміщується масив фотомодулів. Схема розміщення СЕС, спроектована у програмному забезпеченні PVsyst зображена на рис. 3.10. За допомогою 3D-симуляції визначається положення сонця протягом кожного дня року, щоб точно визначити затінюванні області сонячної електростанції (СЕС).

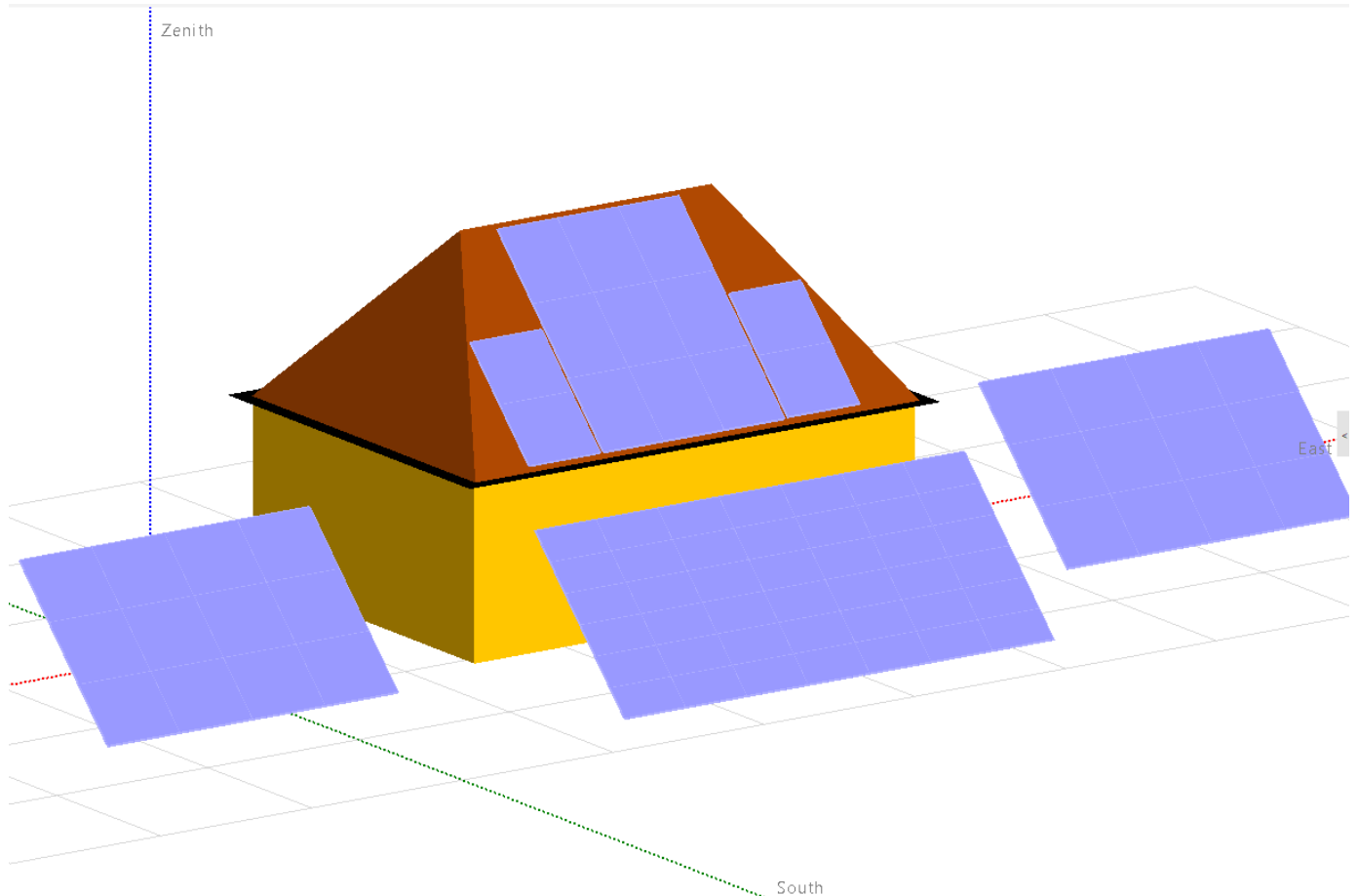


Рисунок 3.10 — Спроектвана у програмі PVsyst схема розміщення СЕС

Після створення моделі будинку запускається симуляція затіненості, а отримані дані збираються в табл. 3.7. Ця таблиця представляє собою розрахунок коефіцієнта затінення (де 0 вказує на відсутність затінення, а 1 - на повне затінення) для всіх положень сонця на півсфері неба, які освітлюють поверхню фотомодулів. Це дозволяє розрахувати коефіцієнт затінення для дифузної і альbedo складових, які є інтегралами цього коефіцієнта затінення по сферичному сегменту. Для кожного годинного значення і погоди процес моделювання буде інтерполювати цю таблицю в залежності від положення сонця, щоб оцінити поточний коефіцієнт затінення кожного елемента системи.

Таблиця 3.7 — Затіненість площі сонячних панелей та колекторів

Azimuth	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	
Height																				
90°	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
80°	0.150	0.143	0.123	0.095	0.065	0.036	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.036	0.065	0.095	0.123	0.143	0.150	0.150
70°	0.317	0.292	0.226	0.150	0.079	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.079	0.149	0.225	0.292	0.317	0.317
60°	0.539	0.526	0.397	0.224	0.095	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.095	0.223	0.395	0.524	0.539	0.539
50°	0.539	0.515	0.488	0.341	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.115	0.340	0.486	0.513	0.539	0.539
40°	0.539	0.504	0.500	0.452	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.142	0.436	0.484	0.502	0.539	0.539
30°	Behind	Behind	0.511	0.703	0.189	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.183	0.433	0.481	Behind	Behind	Behind
20°	Behind	Behind	Behind	0.954	0.327	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.267	0.429	Behind	Behind	Behind	Behind
10°	Behind	Behind	Behind	Behind	0.652	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.650	Behind	Behind	Behind	Behind	Behind
2°	Behind	Behind	Behind	Behind	0.976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	1.000	Behind	Behind	Behind	Behind	Behind

3.7 Симуляція цілорічної роботи фотосистеми

Після вибору обладнання, налаштування кута нахилу та визначення місця розташування станції, запускається симуляція її роботи в PVsyst протягом року. Це дозволяє отримати дані про функціонування станції, які використовуються для створення детального звіту після завершення симуляції. Структура електричної схеми зображена на рис. Б.7. Протягом року загальна генерація електроенергії склала 20.518 МВт·год/рік (див. рис. 3.13). Спожита енергія склала 6079 кВт·год у рік. Акумулятор накопичив 4001 кВт·год/рік, витрачаючи накопичену енергію протягом ночі, коли немає інсоляції, його рівень заряду протягом року див. рис. 3.12. Кількість проданої енергії за зеленим тарифом склала 13879 кВт·год.

Електрична схема автономної СЕС з гібридним інвертором наведена на рис. Б.7. Діаграма річного розподілу енергії фотостанції наведена на рис. 3.11.

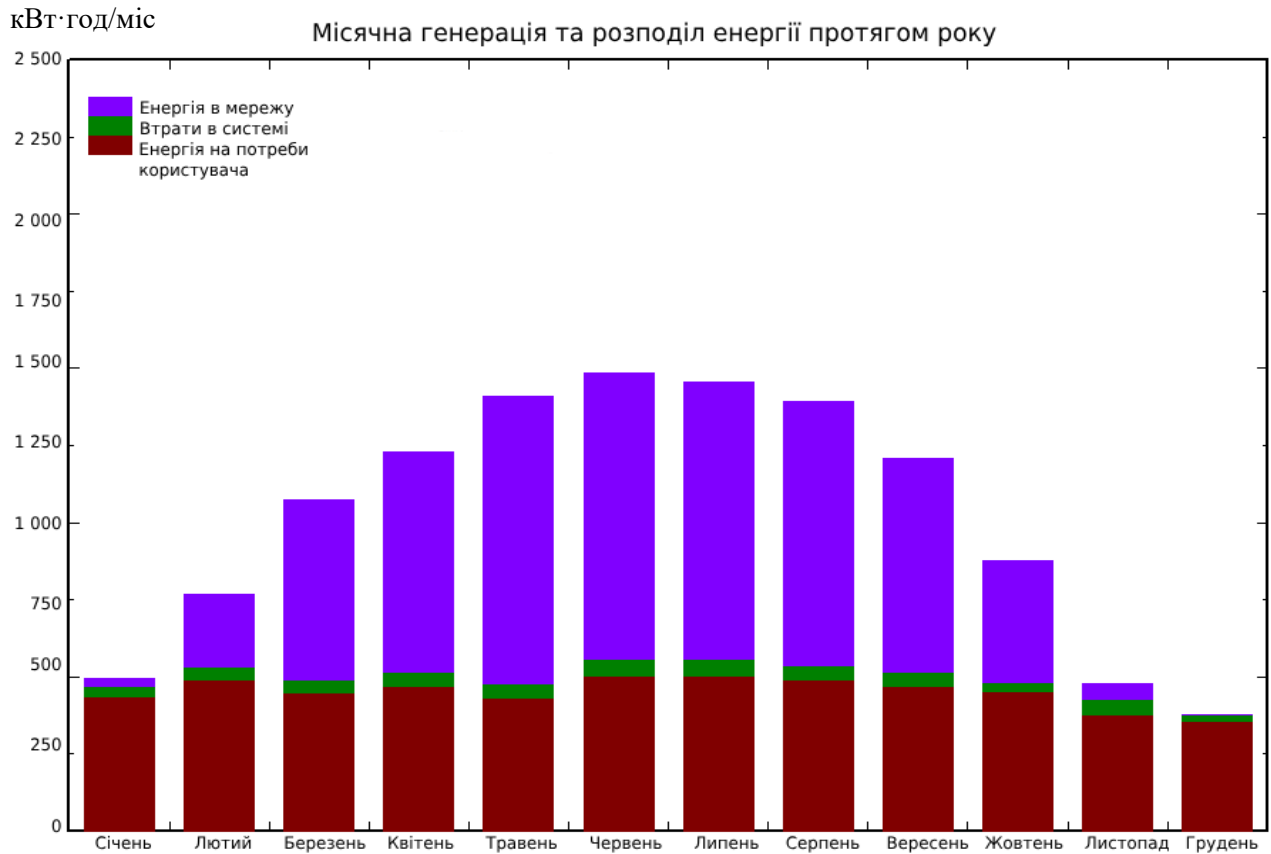


Рисунок 3.11 — Розподіл згенерованої енергії

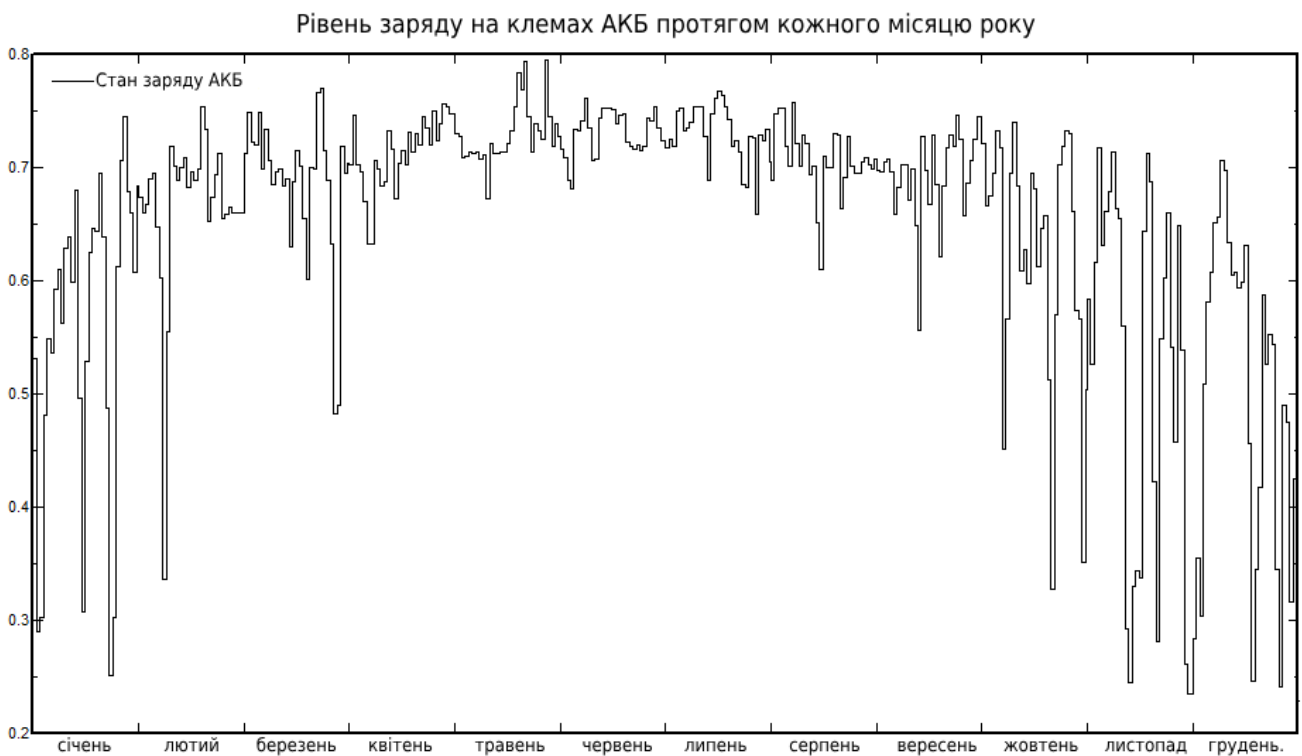


Рисунок 3.12 — Рівень заряду АКБ протягом року

Річний розподіл енергії фотосистеми

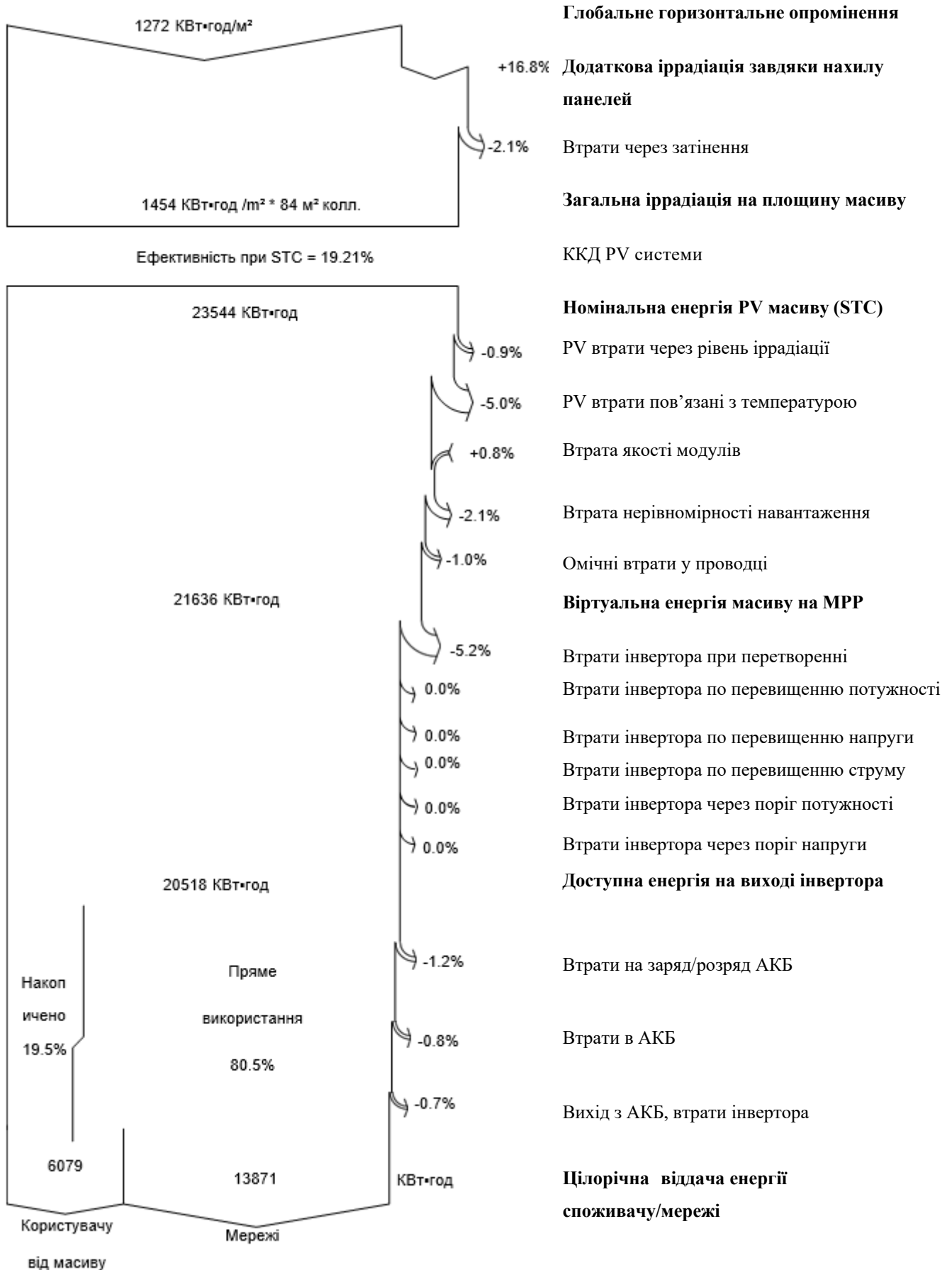


Рисунок 3.13 — Річна генерація та втрати енергії фотосистеми

3.8 Різні режими роботи автономної системи

Змоделюємо ситуацію, коли взимку пішов сильний снігопад, який закриває надходження сонячного випромінювання до фотопанелей та геліоколекторів, а власник своєчасно не попідкувався про очистку робочої поверхні системи.

Розглянемо спочатку теплову частину питання. Оскільки геліоколектори припинили роботу, в нас залишилось тепло в системі обігріву, а також в баку-акумуляторі. Розрахуємо період, на який вистачить цієї теплоти для опалення, діб:

$$t_{\text{отоп}} = \frac{V_{\text{бак_оп}} \cdot t_{\text{бак}} \cdot \eta_{\text{бак}}}{Q_{\text{ден_оп}}}, \quad (3.11)$$

де $V_{\text{бак_оп}}$ — об'єм баку під систему опалення, $V_{\text{бак_оп}} = 500$ л; $t_{\text{бак}}$ — температура води в баку, прийmemo за максимальну $t_{\text{БАК}} = 95$ °С; $\eta_{\text{бак}}$ — ККД баку, $\eta_{\text{бак}} = 93\%$; $Q_{\text{ден_оп}}$ — денні втрати будинку на опалення, $Q_{\text{ден_оп}} = 0,04129$ Гкал = 41 290 ккал.

Період, на який вистачить залишкової теплоти в системі обігріву, а також теплоти з бака-акумулятора для ГВП, діб:

$$t_{\text{отоп}} = \frac{V_{\text{бак_ГВП}} \cdot t_{\text{бак}} \cdot \eta_{\text{бак}}}{Q_{\text{ден_ГВП}}}, \quad (3.12)$$

де $V_{\text{бак_ГВП}}$ — об'єм баку під систему ГВП, $V_{\text{бак_ГВП}} = 80$ л; $Q_{\text{ден_ГВП}}$ — денні потреби на ГВП, $Q_{\text{ден_ГВП}} = 0,007$ Гкал = 7 000 ккал.

Тоді, період, на який вистачить залишкової теплоти в системі обігріву, а також теплоти з бака-акумулятора, для опалення за формулою (3.11):

$$t_{\text{отоп}} = \frac{V_{\text{бак_оп}} \cdot t_{\text{бак}} \cdot \eta_{\text{бак}}}{Q_{\text{ден_отоп}}} = \frac{500 \cdot 95 \cdot 0,93}{42\,290} = 1,07 \text{ діб}$$

Період, на який вистачить залишкової теплоти в системі обігріву, а також теплоти з бака-акумулятора, для ГВП за формулою (3.12):

$$t_{\text{отоп}} = \frac{V_{\text{бак_оп}} \cdot t_{\text{бак}} \cdot \eta_{\text{бак}}}{Q_{\text{ден_отоп}}} = \frac{80 \cdot 95 \cdot 0,93}{7\,000} = 1,01 \text{ діб}$$

Отже, дана система зможе підтримувати комфортне користування тепловою енергією ще 1 повну добу.

Розглянемо електричну частину, обрахуємо який час вільного користування електроенергією може покрити дана система АКБ:

$$t_{\text{отоп}} = \frac{E_{\text{АКБ}} \cdot 80\%}{E_{\text{ден}}}, \quad (3.13)$$

де $E_{\text{АКБ}}$ — енергія, накопичена в АКБ, 560 Аг при напрузі розряду 48В $\approx 26,88$ кВт*год, але розряджати АКБ ми будемо лише до 20%, для подовження строку служби; $E_{\text{ден}}$ — середній денний спожиток ел. енергії у зимні місяці, кВт.

Тоді, час вільного користування електроенергією, який може покрити дана система АКБ, за формулою (3.13):

$$t_{\text{отоп}} = \frac{E_{\text{АКБ}} \cdot 80\%}{E_{\text{ден}}} = \frac{26,88 \cdot 80\%}{15} = 1,433 \text{ діб}$$

Отже, дана система АКБ дозволить користуватись всіма електроприладами, у т.ч. і циркуляційним насосом ще півтори доби, за умови невеликого зменшення використання комп'ютерів та освітлення.

Але якщо далі систему так і не запустять, то доведеться перейти до крайніх мір добутку енергії. Найбільш зручним та компактним рішенням є дизельний генератор. Йому доведеться покрити все електроспоживання не тільки базової системи, а ще й додаткових ТЕНів, які будуть підігрівати воду для ГВП та опалення. Розрахуємо приблизну потужність ТЕНів за формулою:

$$P_{\text{ТЕН}} = \frac{Q_{\text{ден}}}{24}, \quad (3.14)$$

де $Q_{\text{ден}}$ — денне споживання теплової енергії, кВт.

Пікове споживання системи (в умовах розумного споживання, де мікрохвильова піч вмикається лише при вимкнутій пральній машині, а 2 комп'ютери не вмикаються одночасно) розраховується за формулою:

$$P_{\text{max}} = P_{\text{нас}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{комп}} + P_{\text{осв}} + P_{\text{хол}} + P_{\text{ТЕН}}, \quad (3.15)$$

Тоді, потужність ТЕНів за формулою (3.14):

$$P_{\text{ТЕН}} = \frac{Q_{\text{ден}}}{24} = \frac{56,2}{24} = 2,34 \text{ кВт} \cong 2,5 \text{ кВт}$$

Пікове споживання системи в умовах розумного споживання за формулою (3.15):

$$\begin{aligned} P_{\text{max}} &= P_{\text{нас}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{комп}} + P_{\text{осв}} + P_{\text{хол}} + P_{\text{ТЕН}} = \\ &= 0,5 + 2 + 0,15 + 0,007 \cdot 8 + 0,2 + 2,5 = 5,206 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Виходячи з цих даних було обрано дизельний генератор Senci SC 6000 Di, зображений на рис. Б.8. Технічні характеристики дизельного генератора наведені у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики дизельного генератора [22]

Модель	Senci SC 6000 Di
Параметр	Значення
Паливо	Дизель
Номінальна потужність	5,5 КВт
Максимальна потужність	6 КВт
Кількість фаз	1
Об'єм баку	20л

Даний генератор з легкістю зможе покривати піки споживання електроенергії вдень (рис.3.14) та підзарядивши АКБ через інвертор протягом 14 годин, для нічного покриття невеликого споживання, вимикатись до наступного дня, що є прийнятним режимом функціонування, для цього пристрою.



Рисунок 3.14 – Діаграма покриття денного споживання генератором

3.9 Висновок до розділу 3

1. В першій частині розділу розглядалися параметри геліоколекторної системи для цілорічного теплопостачання, враховуючи місяць з мінімальною інсоляцією (грудень). Розраховано потребу в тепловій енергії та вибрано бак-акумулятор для задоволення цих потреб. Розрахована необхідна площа адсорберів та кількість колекторів (37 колекторів Altek SC-HD-30) для вироблення 1,5 Гкал теплової енергії в місяць. Визначено оптимальний кут нахилу системи та сонячну радіацію на похилій поверхні. Проведено 3D-моделювання системи з використанням програми PVsyst.
2. У другій частині розглянута електрична частина енергопостачання за допомогою сонячної електростанції (СЕС) з програмою PVsyst. Обрано параметри фотомодулів, інвертора та акумулятора, та визначено площу для розміщення СЕС. Запущено симуляцію для цілорічного врахування змін погодних умов та навантажень. Система згенерувала 20.518 МВтгод, спожила 6079 кВтгод та забезпечила накопичення 4001 кВтгод/рік в акумуляторі.
3. У передостанньому розділі розглянуто поведінку системи в непередбачуваних ситуаціях, таких як заметіль чи поломка. Розраховано час теплопостачання та електропостачання від акумулятора, а також визначено аварійне рішення – дизель-генератор потужністю 5,5 кВт.
4. Було проведено комплексний аналіз та моделювання системи теплопостачання та електропостачання, враховуючи різні умови та непередбачені обставини.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Мета розробки стартапу

Мета стартапу полягає у розробці та впровадженні енергоефективних рішень для приватних будинків, сприяючи заощадженню ресурсів на опалення та електропостачання. Стартап спрямований на поєднання гелоколекторних та фотовольтаїчних сонячних систем з акумуляторами для досягнення стовідсоткового забезпечення енергією будинку протягом всього календарного року. Таке рішення є особливо актуальним в умовах нестабільності енергосистеми країни.

4.2 Ідея стартап-проекту

Головна ідея проекту - поєднання гелоколекторних та фотовольтаїчних сонячних систем з акумуляційними пристроями для будівництва автономних приватних будинків. Це дозволяє отримувати теплову енергію незалежно від централізованого опалення та надійне автономне електрозабезпечення з додатковою можливістю реалізації надлишків за зеленим тарифом.

Стартап розглядається через призму рентабельності інвестицій, зокрема враховується технологічний аудит та оцінка ефективності різних технічних рішень. Зазначаються основні напрями реалізації проекту, включаючи тарифи на електроенергію та газ, а також техніко-економічні характеристики порівняно з конкурентами.

4.3 Технологічний аудит стартап-проекту

Таблиця 4.1 – Техніко-економічний розрахунок системи

Товар	Модель	Кількість	Ціна за шт, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5
Геліоколектор	Altek SC-HD-30	37	11963	442 630
Фотомодуль	Risen Solar Technology RSM 144-6-385P	42	4883	205 086
Буферна ємність	Bizon термо 5	1	17300	17 300
Інвертор	Mastervolt Sunmaster IS15	1	52400	52 400
АКБ	Cegasa ULTRA 175 560 Ah	1	122700	122 700
Дизельний генератор	Senci SC 6000 Di	1	51800	51 800
Система труб та утеплення для геліосистеми, у т.ч. монтажні та налагоджувальні роботи		1	12000	12 000
Система кабельних з'єднань та електозахисних елементів для системи фотопанелей з інвертором та акб, у т.ч. монтажні та налагоджувальні роботи		1	18000	18 000
Сумарні витрати:				921 916

4.4 Оцінка витрат на оплату комунальних послуг протягом року

1. Теплопостачання. Діючі тарифи на теплову енергію встановлені рішенням виконавчого комітету Кропивницької міської ради від 25 жовтня 2022 року №765, становлять: для потреб населення – 3811,49 грн/Гкал (з ПДВ), отже річні витрати склали б 38 061,5 грн;
2. Електропостачання. Побутові індивідуальні споживачі мають сплачувати 1,68 гривні за кіловат-годину при споживанні понад 250 кіловат-годин за місяць, отже річні витрати склали б 12 332 грн.

4.5 Оцінка доходів з продажу надлишкової енергії за зеленим тарифом

На електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 30 кВт та які введені в експлуатацію з 01 січня 2024 року по 31 грудня 2024 року тариф складає – 590,24 коп/кВт·год. Отже, з продажу надлишкових 13 871 кВт*год. Дохід складе приблизно 82 тисячі гривень в рік.

Проведемо оцінку окупності системи:

$$O_c = \frac{42\,630 + 205\,086 + 17\,300 + 52\,400 + 122\,700 + 51\,800 + 12\,000 + 18\,000}{38\,061,5 + 12\,332 + 82\,000} = 6,96 \text{ років}$$

Розрахунок окупності показує, що стартап має потенціал окупити витрати протягом 7 років. Такий стартап відповідає ринкові, орієнтованому на енергоефективне будівництво в Україні.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Обслуговування

Для забезпечення довготривалої, надійної, безпечної та економічно ефективної експлуатації домашніх СЕС, необхідно виконувати технічне обслуговування та ремонт обладнання станцій відповідно до розроблених планів, дотримуючись вимог виробників щодо періодичності та графіку проведення робіт з технічного обслуговування.

Ці заходи включають в себе:

- Проведення діагностики встановленого обладнання та його компонентів.
- Виконання візуального огляду устаткування.
- Контроль за міцністю кріплень устаткування та вузлів.
- Оцінка стану та міцності конструкцій.
- Здійснення спеціальних вимірів, перевірок, регулювань та змащення вузлів.
- Облік деталей та устаткування, які досягли кінцевого терміну служби.
- Аналіз та швидкий пошук можливих причин зниження продуктивності станції.
- Придбання необхідних комплектуючих та запасних частин для повного відновлення роботи станції (у разі власної ремонтної служби або наявності персоналу).
- Перевірка системи заземлення станції.

У випадку виникнення несправностей або аварій на сонячних фотоелектричних станціях (СЕС), необхідно приймати відповідні заходи для відновлення роботи системи. Це може включати наступні етапи:

1. Відключення відмерлих ділянок: У випадку виявлення пошкоджень або несправностей, які можуть вплинути на роботу всієї станції, важливо відключити відмерлі ділянки від системи, щоб уникнути можливих небезпек або подальшого пошкодження.

2. Діагностика причини: Після виявлення проблеми важливо провести діагностику для встановлення причини несправності. Це може включати перевірку електричних з'єднань, вимірювання електричних параметрів, інспекцію модулів та інших компонентів.

3. Заміна пошкоджених компонентів: Якщо виявлено пошкоджені компоненти, такі як модулі, інвертори або кабелі, їх слід замінити новими або відремонтованими екземплярами.

4. Відновлення після аварій: У випадку серйозних аварійних ситуацій, наприклад, природних лих або механічних пошкоджень, може знадобитися відновлення всієї СЕС. Це може включати відновлення модулів, електричних з'єднань та перевірку функціональності всієї системи.

Важливо пам'ятати, що обслуговування та ремонт сонячних фотоелектричних станцій і модулів мають проводити кваліфіковані фахівці з енергетики або спеціалізовані сервісні компанії, які мають відповідний досвід і знання у даній галузі. З огляду на значний обсяг і складність робіт, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом сонячних фотоелектричних станцій (СФЕС), важливо враховувати деякі інші аспекти.

У деяких випадках може бути доцільно провести оновлення або модернізацію сонячної фотоелектричної станції (СФЕС) для підвищення її продуктивності. Це може включати заміну застарілого обладнання, додавання нових технологій або вдосконалення системи моніторингу та керування. Оновлення можуть допомогти збільшити ефективність, знизити витрати або розширити функціональні можливості СФЕС.

5.2 Техніка безпеки

Основні принципи техніки безпеки при монтажі, експлуатації і обслуговуванні системи на основі сонячних батарей мають бути дотримані. Перед початком робіт необхідно ознайомитися з інструкцією та зберігати її в доступному місці. З метою попередження травм або поломок обладнання необхідно виконувати всі роботи з дотриманням правил техніки безпеки, особливо при електромонтажних та налагоджувальних роботах, що включає використання особистого захисного спорядження, правильну роботу з електричними компонентами, дотримання ізольованих зон і процедур при виконанні робіт у висоті. Також слід враховувати можливі ризики, пов'язані з

роботою на відкритому повітрі, такі як ураження сонячним випромінюванням або погіршення погодних умов.

Ці аспекти технічного обслуговування сонячних фотоелектричних станцій є важливими для забезпечення їх надійності, ефективності та тривалого функціонування. Правильне обслуговування СФЕС допоможе максимізувати вироблену електроенергію і знизити витрати на експлуатацію.

Для цього рекомендується:

- Використовувати сонячні батареї відповідно до їх призначення, уникати будь-яких технічних змін в їх конструкції і дотримуватися вимог безпеки та експлуатації інших компонентів системи.
- Бути обережними, оскільки кілька з'єднаних між собою сонячних батарей можуть генерувати високу напругу. При підключенні батарей в послідовний ланцюг, напруга підвищується кратно кількості батарей, а при паралельному підключенні сумується струм.
- Дотримуватися певних запобіжних заходів, таких як використання захищених контактних роз'ємів MC4, уникання вставляння сторонніх предметів в роз'єми, зняття струмопровідних елементів з одягу під час маніпуляцій з електроустановкою, уникання робіт з сонячними панелями в дощову погоду, обережність під час роботи з ізоляцією проводів тощо.

5.3 Техніка безпеки при поводженні з акумуляторами

Ці загальні заходи безпеки відносяться до обережного поводження з акумуляторними батареями і надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ними. Відповідне дотримання цих заходів може допомогти запобігти серйозним травмам і матеріальним збиткам. Я надаю загальну інформацію про деякі запобіжні заходи, але важливо завжди розглядати конкретні інструкції та рекомендації, надані виробником акумуляторів або пристроєм, з яким вони використовуються.

Небезпека вибуху:

- Уникайте сильних ударів по батареї.

- Не намагайтеся пробити або проколоти акумулятор.
- Не кидайте батареї у вогонь.

Небезпека пожежі:

- Уникайте піддавання акумулятора температурі понад 60 °C.
- Не розміщуйте акумулятори поруч з джерелами тепла, такими як каміни.
- Уникайте прямого піддавання акумуляторів сонячним променям.
- Забезпечте, щоб роз'єми акумуляторних батарей не торкалися струмопровідних предметів, таких як дроти.

Небезпека ураження електричним струмом:

- Не розбирайте акумулятори.
- Уникайте контакту з акумулятором мокрими руками.
- Не дозволяйте акумуляторам потрапляти вологи або рідин.
- Тримайте акумулятори подалі від дітей та тварин.

Небезпека пошкодження акумуляторних батарей:

- Уникайте контакту акумулятора з рідинами.
- Уникайте піддавання акумуляторів високому тиску.
- Не кладіть предмети на акумулятори.

Реагування на надзвичайні ситуації:

- Витік акумуляторів:

- Уникайте контакту з рідиною або речовиною, що витікає.

- Якщо сталося забруднення:

- При вдиханні: видаліть забруднену область і негайно зверніться до лікаря.
- При контакті з очима: промийте очі проточною водою протягом 15 хвилин і негайно зверніться до лікаря.
- При контакті зі шкірою: ретельно очистіть забруднене місце з використанням мила та води, а потім зверніться до лікаря.
- При споживанні: спричиніть штучну блювоту і негайно зверніться до лікаря.

- При пожежі:

- Використовуйте вогнегасник ABC або вуглекислий газ для гасіння вогню перед тим, як акумулятор загориться.
- Якщо пожежу не можна загасити, перенесіть акумулятор в безпечне місце та негайно евакууйте людей.
- Якщо акумулятор мокрий або занурений у воду, не намагайтеся отримати до нього доступ. Зверніться до виробника або дистриб'ютора для отримання технічної допомоги.
- Пошкоджені акумулятори повинні бути утилізовані безпечним способом і не підлягають використанню.

Завжди слід враховувати, що це загальні рекомендації, інструкції виробника акумуляторів або пристрою, з яким вони використовуються, мають пріоритет і слід дотримуватися їх. У разі надзвичайних ситуацій завжди слід негайно звертатися до відповідних аварійних служб та медичної допомоги.

ВИСНОВКИ

У даному дослідженні вирішено важливе завдання, а саме, розробка інтегрованої системи енергопостачання для приватного будинку у місті Олександрія, що базується на використанні сонячних колекторів та фотоелектричних панелей. Аналізуючи сучасний стан сонячної енергетики на світовому та регіональному рівнях, робота детально розглядає актуальні проекти та перспективи у цій сфері, звертаючи увагу на різноманітні види сонячних фотоелектричних станцій, їх технічні характеристики та можливості оптимізації ефективності фотомодулів.

Другий розділ являє собою зібрану та структуризовану інформацію про будинок, місцевість, її погодні умови, цілорічні зміни температури та сонячного випромінювання. А також цілорічні зміни у електричних потребах користувача. Була проведена оцінка теплових потреб, що складаються з опалення в холодну пору року 7,432 Гкал протягом 180 днів та ГВП, яке склало 2,555 Гкал протягом всього року. Ці данні були зведені у діаграму зміни теплоспоживання та використовуватись в подальших теплових розрахунках геліосистеми.

Третій розділ докладно висвітлює розрахунки геліоколекторної системи, спроектованої для забезпечення всіх теплових потреб споживача протягом повного календарного року. З урахуванням оптимального кута встановлення та вибору компонентів системи забезпечується повне покриття теплових потреб будівлі.

За цим слідував розрахунок сонячної електростанції для будинку, включаючи вибір оптимального місця розташування, параметрів модулів, інвертора та акумуляторів. Результати симуляцій свідчать про те, що розроблена станція може повністю задовольнити електроенергетичні потреби будинку, навіть у зимовий період.

У четвертому розділі був проведений економічний розрахунок інвестицій у систему, річний заробіток за рахунок продажу надлишків енергії за зеленим тарифом а також термін окупності тепло-електричної сонячної станції, який склав 7 років.

П'ятий розділ детально аналізує питання охорони праці для фотоелектричної станції, акумуляторних батарей та геліоколекторів. Робиться акцент на ідентифікації можливих шкідливих факторів та запропонованих профілактичних заходів для забезпечення безпеки під час експлуатації цих систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетика сонячна – середньострокові перспективи 2022-2026 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://aw-therm.com.ua/sonyachna>
2. Українська енергетична біржа. Розвиток та нинішній стан сонячної енергетики в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news>
3. Solar Photovoltaic Technology Basics [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html>
4. Як працює сонячна батарея? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://sun-energy.com.ua/articles/yak_pratsuyut_sonyachni_paneli
5. Energy ua. Сонячна батарея: принцип роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eenergy.com.ua/baza-znan/sonyachna-batareya-pryntsyup-roboty/>
6. Utem Solar. Акумуляторні батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://utem.org.ua/ua/cats/akkumulyatornye_batarei
7. Study to Find Out [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.semanticscholar.org/paper/Study-to-Find>
8. Energyeducation. Solar collector [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_collector
9. TOTAL SKY IMAGER [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arm.gov/capabilities/instruments/tsi>
10. Total Sky Imager (TSI) Handbook [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.arm.gov/publications/tech_reports/handbooks/tsi_handbook.pdf
11. International Renewable Energy Agency [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/>
12. Призначення мережевої сонячної електростанції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://teplosolar.com.ua/>
13. Проект будинку 100м² [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tmv.com.ua/uk/projects/tmvr1>

14. ДСТУ-Н Б В.1.1- 27:2010 «Будівельна кліматологія» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://finance.smr.gov.ua>
15. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://gro-za.org/forum/index.php?action=dlattach;topic=9955.0;attach=12164>
16. Тепловий розрахунок будинку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://pyriatyn.org.ua>
17. Буферна ємність Vizon термо (утеплений теплоаккумулятор 600 л [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://teplodym.com.ua/ua/p1810766602-bufernaya-emkost-bizon.html>
18. Вакуумний всесезонний сонячний колектор Altek SC-HD-30 (Drainback) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sunservis.com.ua/ua/solnechnyj-kollektor-altek.html>
19. Обраний тип сонячної панелі Risen Solar Technology RSM 144-6-385P [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cdn.energypal.com/panels/rsm144-6-385p>
20. Інвертор Mastervolt Sunmaster IS15 15.75kW Power Inverter [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.renugen.co.uk/content/inverter_brochures/inverter_brochures
21. Обраний тип АКБ Segasa ULTRA 175 560 Аг [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cdn.ensolar.com/z/pp/2023/7/2s3cuno279e/ultra-175-2023-en.pdf>
22. Обраний тип дизельного генератора Senci SC 6000 Di [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://generator.ua/ru/dizelnye-generatory>

ДОДАТКИ

Додаток А: Звіт співпадінь в програмі Unicheck



Ім'я користувача:
Кириленко Катерина Всеволодівна

ID перевірки:
1016059281

Дата перевірки:
14.01.2024 01:07:19 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
14.01.2024 01:08:51 EET

ID користувача:
100006978

Назва документа: Barkar_ED-21mp_magistr_2024

Кількість сторінок: 72 Кількість слів: 10614 Кількість символів: 84080 Розмір файлу: 1.64 MB ID файлу: 1015762557

17.5% Схожість

Найбільша схожість: 7.62% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015305046)

8.88% Джерела з Інтернету

202

Сторінка 74

15.3% Джерела з Бібліотеки

216

Сторінка 79

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0.46% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 10 слів та 0%)

0.19% Вилучення з Інтернету

159

Сторінка 80

0.31% Вилученого тексту з Бібліотеки

157

Сторінка 82

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

230

Додаток Б: Перелік обладнання



Рисунок Б.1 — Буферна ємність Bizon термо 500л [17]



Рисунок Б.2 — Геліоколектор Altek SC-HD-30 (Drainback) [18]



Рисунок Б.3 – Зображення фотомодуля Risen RSM144-6-385P [19]

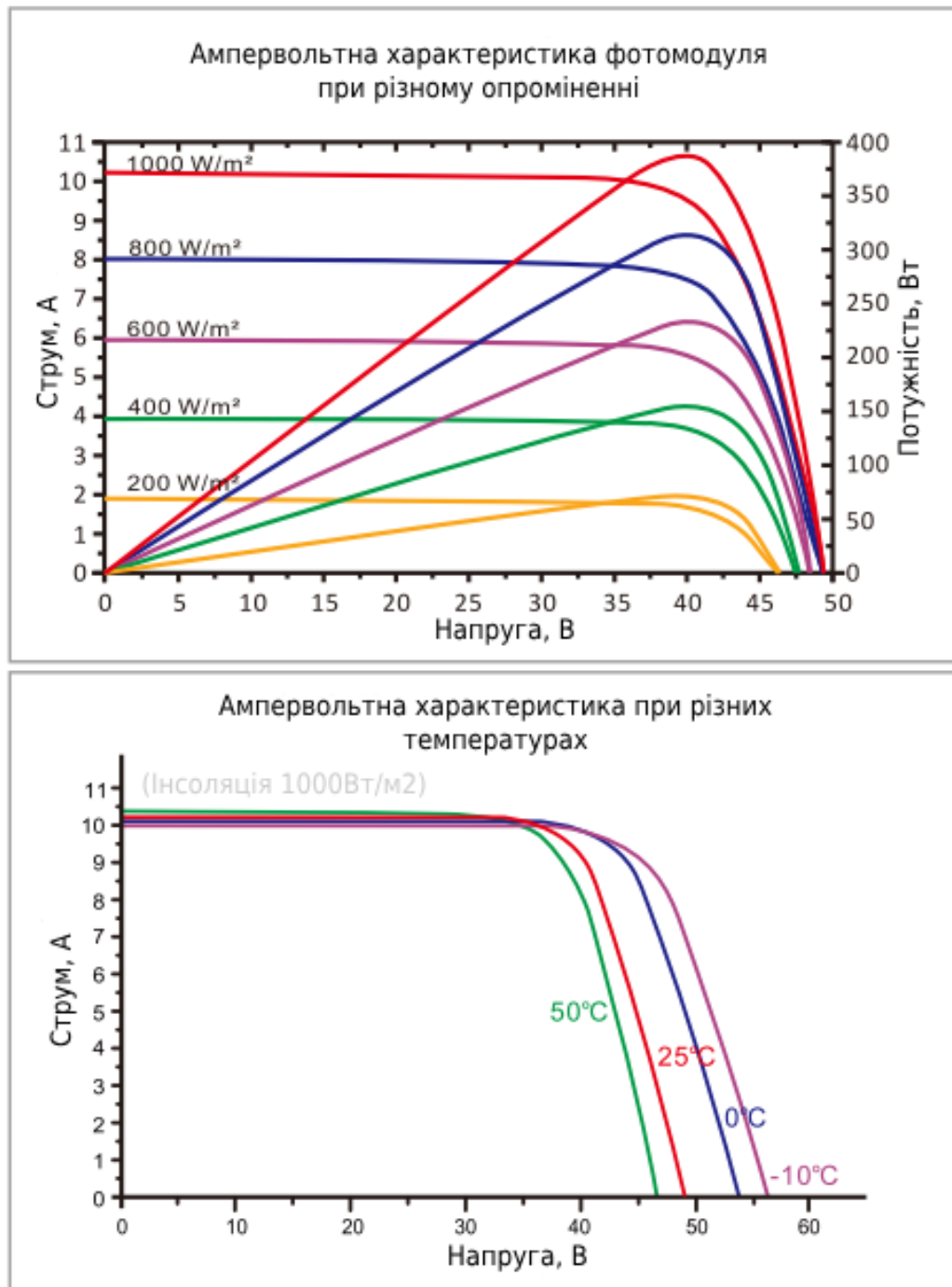


Рисунок Б.4 – Вольт-амперна характеристика модуля[19]



Рисунок Б.5 — Зображення Mastervolt Sunmaster IS15 15.75kW Power Inverter [20]



Рисунок Б.6 — Система АКБ Segasa ULTRA 175 560 Аг [21]

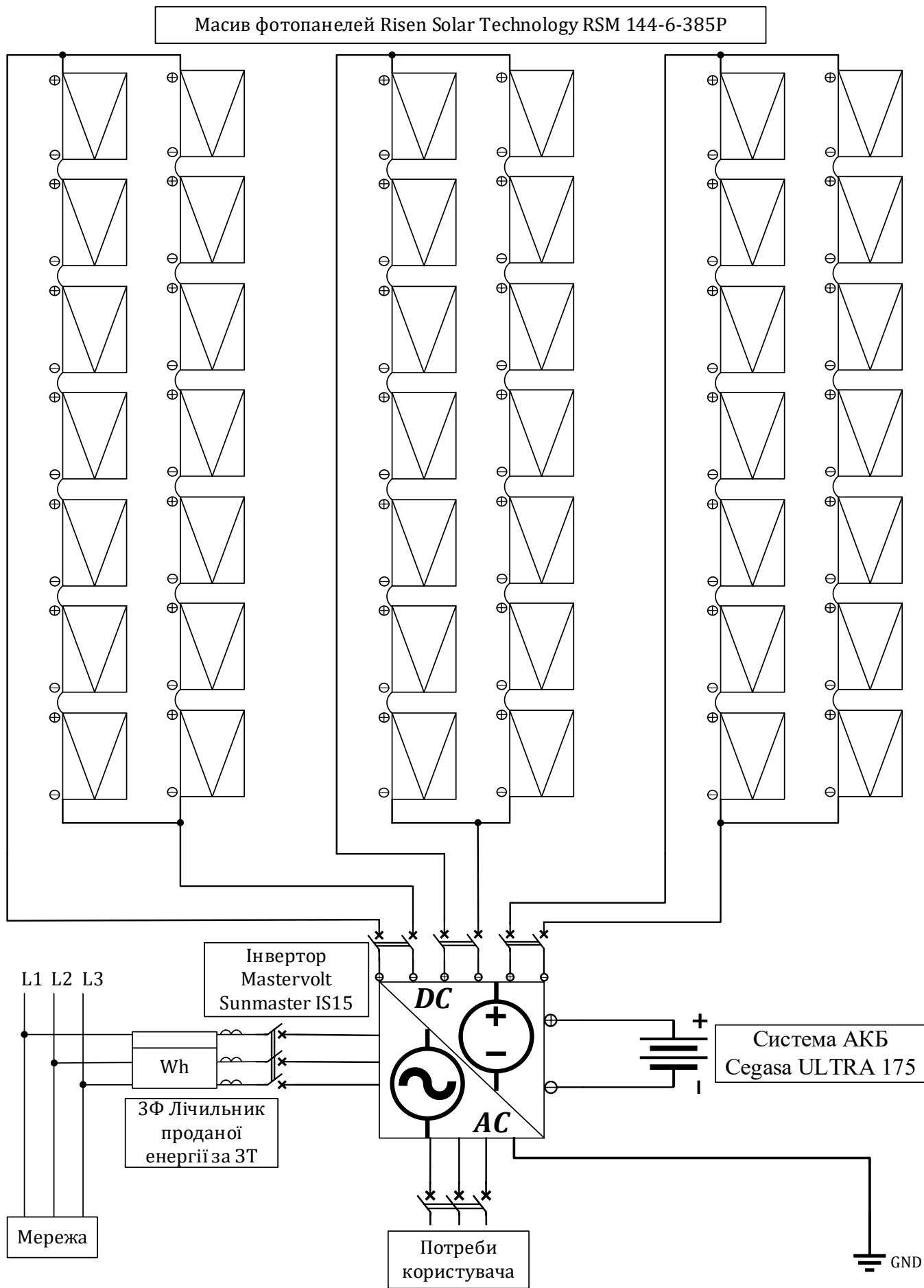


Рисунок Б.7 — Електрична схема автономної СЕС з гібридним інвертором



Рисунок Б.8 – Зображення дизельного генератора Senci SC 6000 Di [22]