

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра відновлюваних джерел енергії
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
д-р техн. наук Будько В.І.

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2021 р.

Дипломний проект

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» по
спеціалізації «Відновлювальні джерела енергії»
(код і назва)

на тему: Система комплексного енергозабезпечення приватного домогосподарства
на основі використання сонячних колекторів та фотоелектричних перетворювачів

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕД-71
(шифр групи)

Терешенко Андрій Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник ст. викл. кнд. тех. наук Вишневська Ю.П.
(посада, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ - 2021р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра відновлюваних джерел енергії

(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Спеціалізація – «Відновлювальні джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Терешенко Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Система комплексного енергозабезпечення приватного домогосподарства на основі використання сонячних колекторів та фотоелектричних перетворювачів.

Керівник проекту Вишневська Юлія Павлівна, ст. викл. кнд.тех.наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, посада, науковий ступінь)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2021 р. № _____

2. Термін подання студентом проекту 11 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проекту 1) Житловий будинок, 2) Місце розташування м. Чернігів, 3) Дах будинку направлений на Південний Схід, 4) Кут нахилу даху 10 та 30 градусів.

4. Зміст пояснювальної записки 1) Розрахувати сонячну інсоляція на похилу поверхню для СЕС; 2) Обрати обладнання СЕС; 3) Розрахувати генерацію СЕС протягом року; 4) Розрахувати сонячну інсоляцію для геліоколекторної системи; 5) Обрати обладнання геліоколекторної системи; 6) Розрахувати об'єм нагрітої води протягом року.

5. Дата видачі завдання 10 лютого 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Загальні відомості про сонячну енергетику	28.04.2021	
2	Розрахунок СЕС	16.05.2021	
3	Розрахунок геліоколекторної системи	30.05.2021	
4	Охорона праці.	11.06.2021	

Студент

(підпис)

Терешенко А.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Вишневська Ю.П.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дана робота бакалавра обсягом 68 аркушів, складається з 4 розділів, 45 рисунків, 9 таблиць та висновків після кожного розділу та включає 10 використаних джерел.

Метою проекту є проектування сонячної електростанції та геліо-колекторної системи для потреб приватного будинку, який знаходиться в місті Чернігові. Була порахована сонячна інсоляція на похилу поверхню та обрано оптимальне обладнання, розрахована річна генерація електроенергії та об'єм нагрітої води протягом року.

В результаті розрахунків та моделювання було спроектовано геліо-колекторну систему гарячого водопостачання, яка дозволяє на 100% перекрити потреби гарячої води в літні дні та 15-20% в зимові місяці. Спроектована СЕС перекриває власні потреби споживання електроенергії будинку, а надлишки дозволяє продавати в мережу по зеленому тарифу, що дозволяє значно швидше її окупити і надалі заробляти.

Abstract

This bachelor's paper consists of 75 sheets, consists of 4 sections, 45 figures, 8 tables and conclusions after each section and includes 15 sources used.

The aim of the project is to design a solar power plant and a solar collector system for the needs of a private house located in the city of Chernihiv. Solar insolation on a sloping surface was calculated and the optimal equipment was selected, the annual generation of electricity and the volume of heated water during the year were calculated.

As a result of calculations and modeling, a helio-collector system of hot water supply was designed, which allows to 100% cover the needs of hot water in summer days and 15-20% in winter months. The designed SES covers own needs of consumption of the electric power of the house, and allows to sell surpluses in a network at the green tariff that allows to pay back it much faster and to earn further.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Система комплексного енергозабезпечення приватного домогосподарства на основі використання сонячних колекторів та фотоелектричних перетворювачів

Київ - 2021 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	11
1.1 Фотоенергетика	12
1.1.1 Характеристика сонячної радіації	12
1.1.2 Способи перетворення енергії сонця в електричну	13
1.1.3 Кремнієві фотомодулі.....	14
1.1.4 Пошук нових напівпровідників для ФМ	15
1.1.5 Концентраторні ФМ.....	15
1.1.6 Сонячна енергетика в світі.....	16
1.1.7 Найбільші сонячні електростанції в світі	18
1.1.8 Перспективи розвитку сонячної енергетики в світі.....	21
1.1.9 Розвиток сонячної енергетики в Україні	22
1.2 Геліоенергетика.....	25
1.2.1 Види сонячних геліоколекторів.....	26
1.2.2 Використання геліоколекториних систем в світі.....	31
1.3 Висновок	31
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ	32
2 Розрахунок фотоелектричної станції	33
2.1 Опис типу СЕС	33
2.2 Розрахунок кількості фотомодулів та їх розташування	34
2.3 Підбір параметрів СЕС	35
2.3.1 Вибір фотомодулів.....	36
2.3.2 Вибір інверторів	40
2.3.3 Розрахунок затіненості	44
2.3.4 Розташування ФМ в масиві.....	45
2.3.5 Симуляція роботи СЕС.....	47
2.2 Висновок	50

					141.ЕД-7119.016.БР.В					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст					
Розробив		Терешенко А.М.						Букв.	Арк.	Листків
Провірив		Вишнеvsька Ю.П.						7	68	
Т. контр.								НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.		Головко В.М.								
Затвердив		Будько В.І.								

ВСТУП

Використання альтернативних джерел енергії для приватних потреб є одним із трендів сьогодення. Цьому сприяють значні екологічні проблеми, невідворотне вичерпання природних копалин, доступність нових технологій отримання енергії, впровадження урядами країн вигідних зелених тарифів.

Серед усіх альтернативних джерел енергії, оптимальним для не промислових потреб є енергія сонця, яку можна перетворювати в електричну або теплову. Перевагою сонячних установок є їх статичність і мінімум рухомим елементів, що знижує вірогідність поломки та мінімальні фізичні розміри, відсутність шуму та вібрацій під час експлуатації. Такі системи можна будувати на дахах жилих будівлі, не створюючи проблем та загроз для людей.

Більшість сонячних електростанцій працюють на фото модулях. Бувають моно і полікристалічні фото модулі. Монокристалічні ФМ мають більш високий ККД до 22%, полікристалічні ФМ мають ККД до 17% та меншу ціну, також в полікристалічних ФМ менше падає ККД при частковому затіненні ніж в полікристалічних ФМ. Якщо СЕС працює з мережею, то для її роботи потрібен інвертор, який перетворює постійну напругу в змінну та синхронізує станцію з мережею. Для автономних станцій необхідні акумулятори та зарядні пристрої для них.

Геліоколекторні системи шляхом абсорбції отримують енергію сонця. Такі системи використовують для гарячого водопостачання. Бувають одно контурні та багатоконтурні системи. В одно контурних системах використовують, як теплоносій воду, такі системи переважно сезонні, оскільки вода замерзає при температурі нижче 0 С. В багатоконтурних два або більше контури з низько киплячим теплоносієм, що дозволяє використовувати таку

					141.ЕД-7119.016.БР.В			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Терешенко А.М.			Вступ	Букв.	Арк.	Листків
Провірив		Вишневецька Ю.П.					8	68
Т. контр.								
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		

систему при низьких температурах та підвищує ККД, в таких системах використовують теплові насоси

В даній роботі наведено розрахунок геліостеми для гарячого водопостачання та СЕС для власних потреб та продажу надлишків за зеленим тарифом, та наведений розрахунок економічної доцільності такої системи.

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

					141.ЕД-7119.016.БР.В			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Терешенко А.М.			Розділ 1 Загальні відомості	Букв.	Арк.	Листків
Провірів		Вишневська Ю.П.					11	68
Т. контр.								
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		

1.1 Фотоенергетика

1.1.1 Характеристика сонячної радіації

Кожну секунду сонце випромінює на Землю достатньо енергії, щоб задовольнити проблеми людства приблизно на 2 години. Враховуючи, що сонячна енергія легкодоступна та відновлювальна, вона є привабливим джерелом енергії. Сонячне випромінювання може бути перетворене в теплову або електричну енергію.

Сонячне випромінювання є основним джерелом енергії для всіх процесів, що відбуваються в атмосфері та на земній поверхні. Воно поділяється на дві частини – пряме та дифузне сонячне випромінювання. Розсіяне сонячне випромінювання спричинене розсіюванням прямих сонячних променів на молекулах газоподібних компонентів повітря, на краплях води, кристалах льоду та на різних аерозольних частинках, що знаходяться в повітрі Землі.

Спектри сонячної радіації можна розділити на три частини:

- Ультрафіолетовий спектр $\lambda < 0,40$ мкм, (рентгенівське випромінювання);
- Видимий спектр $\lambda = 0,40 - 0,76$ мкм;
- Інфрачервоний спектр $\lambda > 0,76$ мкм, (радіовипромінювання сонця).

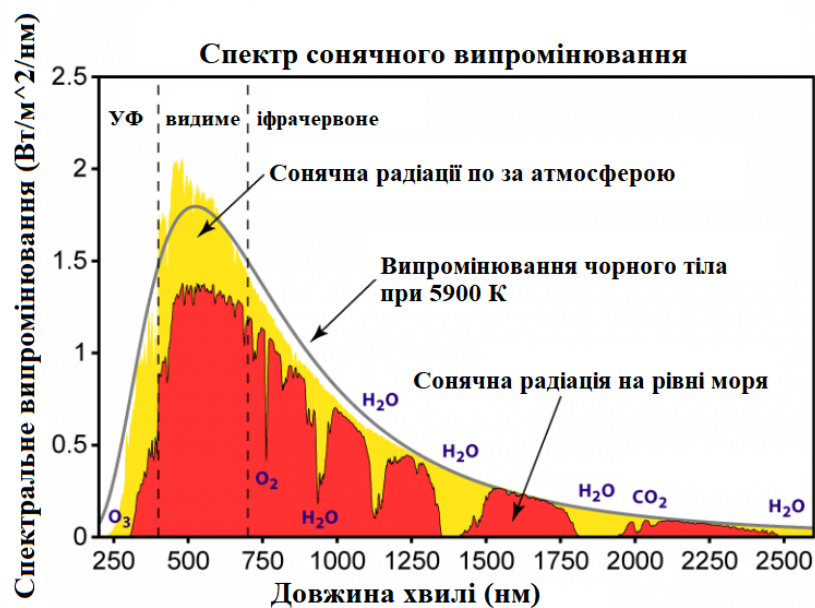


Рисунок 1.1 – Спектр сонячного випромінювання

									Арк.
									12
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата				

ринку. Перший кремнієвий ФЕП створили в 1954 році Гордон Пірсон і Дерріл Чапкін. Його ККД складав всього 4%, надалі його вдалося значно збільшити.

Принцип роботи панелі базується на р-n переході. В конструкції фотомодуля є два типи напівпровідників:

- n-шар з надлишковою кількістю електронів;
- р-шар з дефіцитом електронів.

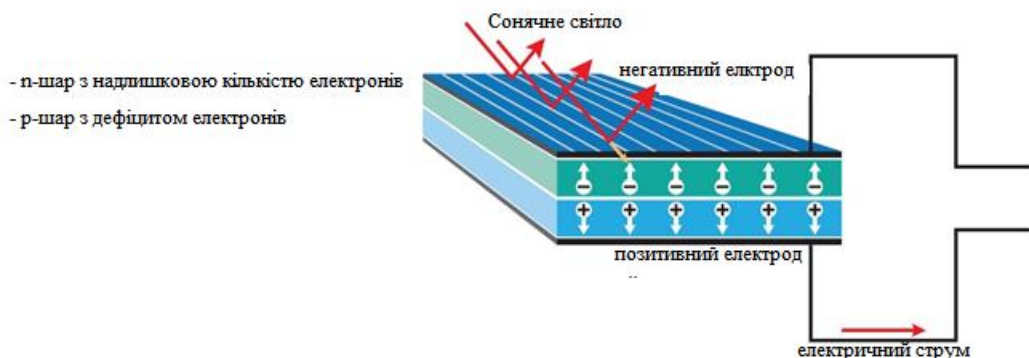


Рисунок 1.3 – Поперечний переріз ФМ

При потраплянні сонячного світлового потоку на панель, утворюються допоміжні негативні заряди та дірки. Під дією електричного поля, яке присутнє в р-n переході, відбувається розділення позитивно і негативно заряджених частинок. Таким чином з'являється різниця потенціалів, тобто постійна напруга.

1.1.3 Кремнієві фотомодулі

Сучасні кремнієві ФМ поділяються на монокристалічні та полікристалічні.

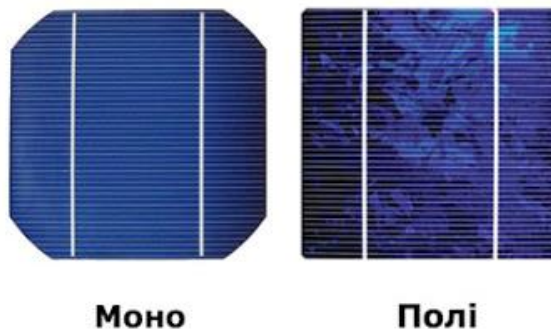


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд моно та полі кристалічної фото комірки

Монокристалічні фотомодулі виготовлені з високоякісного кремнію, які виготовлені за технологією Чохральського – це стандартний метод для отримання кремнієвих пластин для виготовлення мікропроцесорів і мікросхем. Ефективність таких ФМ 19-22%. Нещодавно, компанія Panasonic заявила про серійний випуск ФМ з ефективністю 24.5%.

Полікристалічні ФМ виготовлені з більш дешевого кремнію, який виготовлений за методом направленої кристалізації. Пластини виготовлені за цим методом складаються з багатьох дрібних різнонаправлених кристалів. Ефективність таких ФМ 14-18%. Перевагою полікристалічних ФМ є їх дешевизна, відносно монокристалічних.

1.1.4 Пошук нових напівпровідників для ФМ

Наразі ведуться активна робота по пошуку нових технологій для виготовлення ФМ, що допоможе зменшити їх ціну та збільшити продуктивність. Оскільки звичайні кремнієві ФМ мають низький коефіцієнт поглинання, особливо в діапазоні інфрачервоного випромінювання, то кремнієві пластини виготовляють товщиною 100-300 мкм, що призводить до значних затрат на виробництво.

Існують прямозонні напівпровідники, такі як GaAs, CdTe, Cu(InGa)Se₂. Вони можуть поглинати необхідну кількість сонячної енергії при товщині всього декілька мікрон, що дозволяє значно зекономити при виробництві. Також ці напівпровідники, мають більшу ефективність в умовах розсіяного сонячного випромінювання. Дослідження цих типів напівпровідників почалося ще в 70х роках минулого століття, проте є труднощі, які досі не можна вирішити. Деякі елементи є екологічно шкідливими або дуже рідкісними та мають високу вартість.

1.1.5 Концентраторні ФМ

Найбільш технічні і довершені сьогодні концентраторні фотомодулі. Їх ефективність досягає 44%. Вони являють собою ряд напівпровідників пошарово вирощених один на одному. Найбільш ефективною являється комбінація з трьох шарів: Ge, GaAs та GaInP. Завдяки тому, що кожен шар

										Арк.
										15
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В				

- США 132.63 ТВт*год;
- Китай 261.1 ТВт*год;
- Німеччина 51 ТВт*год;
- Індія 58.73 ТВт*год;
- Іспанія 20.76 ТВт*год;
- Італія 26.6 ТВт*год.

Як видно з наведених графіків генерація сонячної енергії зросла у десятки разів за останні 10 років. Більшість країн, які займають лідируючі позиції в впровадженні сонячної енергетики в свої енергосистеми планують в найближчі роки виробляти як мінімум 50% зеленої енергії.

1.1.7 Найбільші сонячні електростанції в світі

Сонячний парк Бхадла, Індія - 2,25 ГВт



Рисунок 1.8 – фото сонячної СЕС в Бхадлі, Індія.

Сонячний парк Бхадла, який є найбільшою сонячною електростанцією у світі, базується в селищі Бхадла, в індійському районі Джодхпур, штат Раджастан. Електростанція була введена в експлуатацію в березні 2020 року з встановленою потужністю 2,25 ГВт і займає 14000 акрів. Станція забезпечує 10% від потреб регіону Раджастан.

Раніше найбільший повністю діючий сонячний парк, потужністю 2 ГВт в штаті Карнатака, Індія, є третьою за величиною електростанцією у світі. Розроблений компанією Karnataka Solar Park Development Corporation Limited та Національною тепловою енергетичною корпорацією, займає понад 13 000 акрів землі. Проект за 2,1 млрд. доларів був завершений у грудні 2019 року. Він включає вісім сегментів фотоелектричних установок, а номінальна потужність кожного сегмента становить 250 МВт, кожен з яких додатково розділений на п'ять блоків потужністю 50 МВт.

Сонячний парк Бенбан, Єгипет - 1,65 ГВт



Рисунок 1.11 – фото сонячного парку Бенбан, Єгипет

Сонячний парк Бенбан, який базується приблизно в 650 км на південь від столиці Єгипту Каїру в Бенбані, є найбільшою сонячною електростанцією в Африці та четвертим за величиною об'єктом у своєму роді. Ділянка належить Управлінню з питань нової та відновлюваної енергетики і має загальну потужність 1,65 ГВт - що відповідає річному виробництву близько 3,8 терават-годин. Сонячний парк був завершений у листопаді 2019 року за 4 млрд доларів.

					141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	

Сонячний парк пустелі Тенггер, Китай - 1,55 ГВт



Рисунок 1.12 – фото сонячного парку Тенггер, Китай

Сонячний парк пустелі Тенггер у Нінся, Китай, є п'ятою за величиною сонячною електростанцією у світі. Об'єкт потужністю 1,55 ГВт, який часто називають "Великою сонячною стіною", охоплює 1200 км пустелі Тенггер. Він належить China National Grid та Zhongwei Power Supply Company. Електростанція була запущена в 2017 році, і тепер вона забезпечує чистою енергією більше 600 000 будинків.

1.1.8 Перспективи розвитку сонячної енергетики в світі

В майбутньому сонячна енергетика буде відігравати одну з головних ролей в енергетиці. Планується до 2050 року забезпечити за допомогою СЕС 25% світових потреб в електроенергії, це приблизно 8519 ГВт, що в 18 разів більше ніж сьогодні. Очікується, що лідерами серед країн в сонячній енергетиці стануть країни Азії -50%, Північна Америка -20%, Європа – 10%. Очікується значне зниження ціни на потужності СЕС, що підвищує її конкурентоспроможність. До 2030 року капітальні затрати можуть знизитися до 340-834 доларів за кВт установленної потужності, а до 2050 року – до 165-481 доларів за кВт. Для порівняння в 2018 році 1 кВт коштував 1210 доларів. З зниженням затрат на будівництво, сонячні електростанції стануть все більш популярними. Приведена ціна на електроенергію знизиться до 2-8 центів за

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

21

кВт*год до 2030 року. До 2050 року очікується зниження ціни до 1,4-5 центів за кВт*год. Очікується, що великі СЕС будуть складати 60% від загальної потужності до 2050 року.

1.1.9 Розвиток сонячної енергетики в Україні

Стрімкий розвиток і популяризація сонячної енергетики не оминула Україну. Географічне розташування України сприяє розвитку нових СЕС, оскільки переважна більшість днів протягом року сонячні.

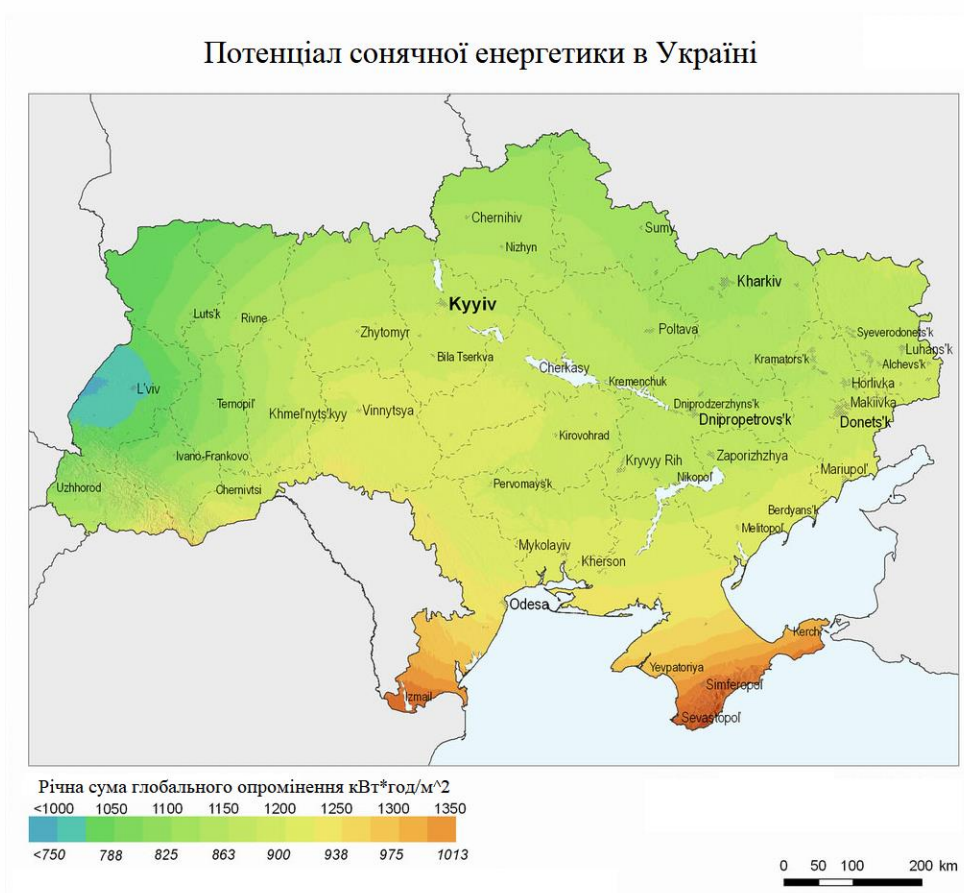


Рисунок 1.13 – Карта потенціалу сонячної енергетики в Україні

Починаючи з 2010 року почалося активне будівництво нових потужностей, вже в 2018 році сумарна генерація СЕС склала більше 1 ТВт*год на рік. Такий стрімкий ріст, спричинений вигідними умовами зеленого тарифу, що дозволяло швидко окупити станцію.

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
							22
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		

Генерація сонячної електроенергії в Україні

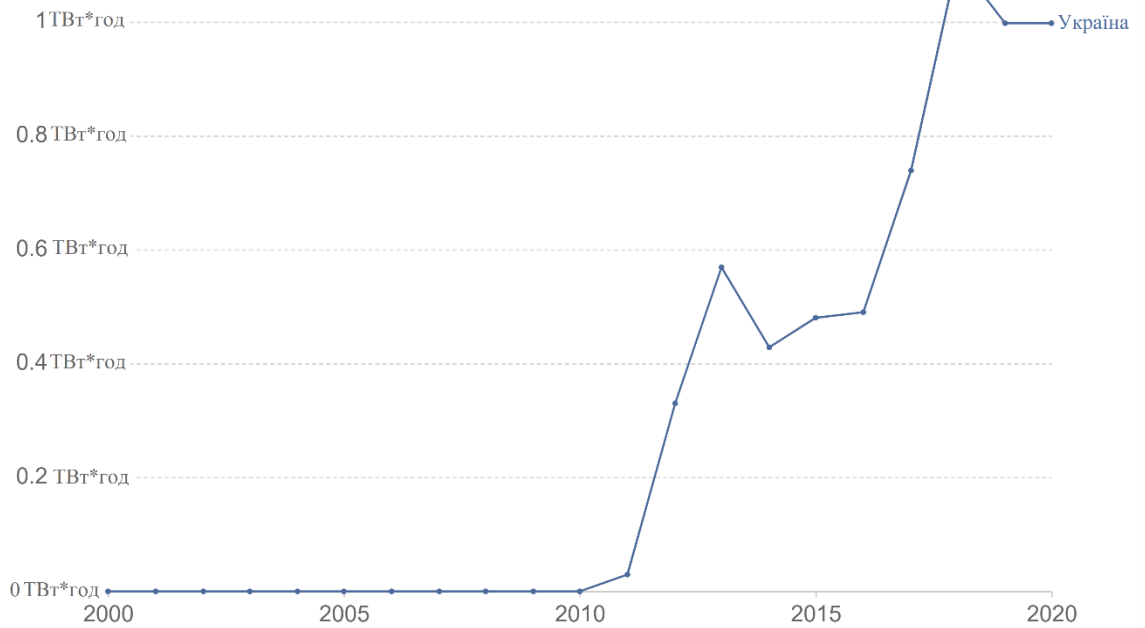


Рисунок 1.15 – Генерація електричної енергії сонячними електростанціями в Україні за роками

Перша промислова СЕС була побудована в Україні в 1985 поблизу м. Щолкіного.



Рисунок 1.16 – модель першої СЕС в Україні побудована в 1985 році

Її потужність склала 5 МВт, що на той момент становила 24.5% потужності всіх сонячних електростанцій світу. За 2 роки роботи, вони згенерувала 2 млн. кВт*год. В 90-х роках станцію було закрито. Надалі на початку 2000-х років почали будувати малі електростанції в Луганській та Вінницькій областях та інших областях України. Основне будівництво потужностей почалося з 2011 року. На даний момент найпотужнішими СЕС в Україні є:

- Покровська СЕС є другою по потужності станцією в Європі, її потужність складає 240 МВт, а щорічна генерація 400 млн кВт*год. Вона дозволила зменшити в атмосферу CO₂ на 420 тис. тон на рік. Ціна проекту 193 млн. доларів.

- Нікопольська сонячна електростанція знаходиться поблизу с. Старозаводське, Дніпровської області. Потужність станції 200 МВт, а генерація за рік 280 млн. кВт*год.

- Сонячна електростанція «Яворів-1» знаходиться в с. Терновиця, Львівської області. Потужність станції 72 МВт, річна генерація 73 МВт*год. Перша черга була запущена в 2018 році.

- Кам'янець подільська СЕС в с. Панівці, Хмельницької області має потужність 63.8 МВт. СЕС розташована на полях фільтрації Кам'янець-Подільського цукрового заводу, який зараз є непридатний для ведення сільського господарства. 50% комплектуючих СЕС виготовлені в Україні.

Активному розвитку сонячної енергетики в майбутньому сприяє, вигідне географічне розташування та достатня кількість землі для будівництва станцій, наявність законодавства про зелений тариф. Україна активно розвиває альтернативну енергетику на рівні з іншими країнами.

										Арк.
										24
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В				

1.2 Геліоенергетика

Сонячні геліоколектори – це пристрої, які призначені для поглинання сонячної енергії та перетворення її в теплову. Такі системи широко використовують у системах опалення приміщень та нагріву води. Навіть в прохолодну і похмуру погоду геліоколектори дозволяють підігріти воду до 35-40 С – це дозволяє зменшити опалюваний сезон на 2-3 місяці, та замінити до 40% енергії в зимову пору року.

Використання сонячних колекторів забезпечує альтернативу традиційному нагріванню води для побутових потреб за допомогою водонагрівача, що потенційно знижує витрати енергії з часом. Як і в побутових умовах, велику кількість цих колекторів можна об'єднати в масив і використовувати для виробництва електроенергії на сонячних теплових електростанціях.

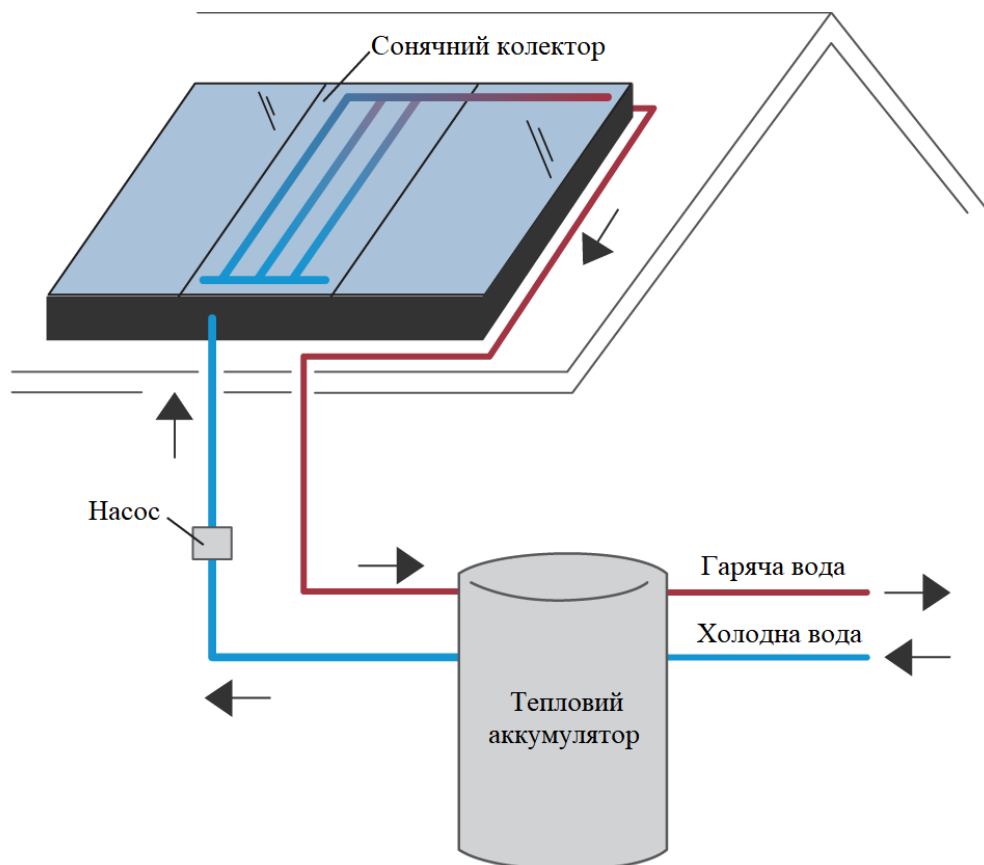


Рисунок 1.17 – Схема роботи геліосистеми

Принцип роботи геліоколектора досить простий, сонячна радіація проходить через скло і потрапляє на темний матеріал всередині колектору,

який нагрівається. Прозорий пластиковий або скляний кожух утримує тепло. В середині колектору по трубкам циркулює теплоносій, який нагрівається. Існує багато різних типів сонячних колекторів, але всі вони побудовані за однаковим принципом.

1.2.1 Види сонячних геліколекторів

Пластикові колектори (абсорбери)

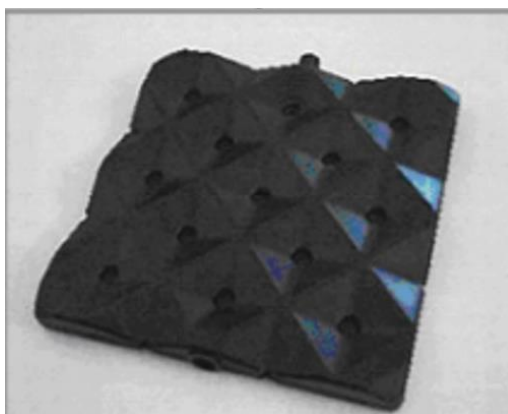


Рисунок 1.18 – Фото пластикового геліколектору

Однією з найпростіших форм сонячних колекторів є пофарбовані в чорний колір бак або бочка, які можна побачити на дахах будинків. Такі системи використовуються для нагрівання води для побутових потреб в теплий період року. Перевагою їх є легкість, низька ціна та простота установки. Такі колектори виготовляються різної форми та в різних розмірах.

Плоскі пластинчасті колектори

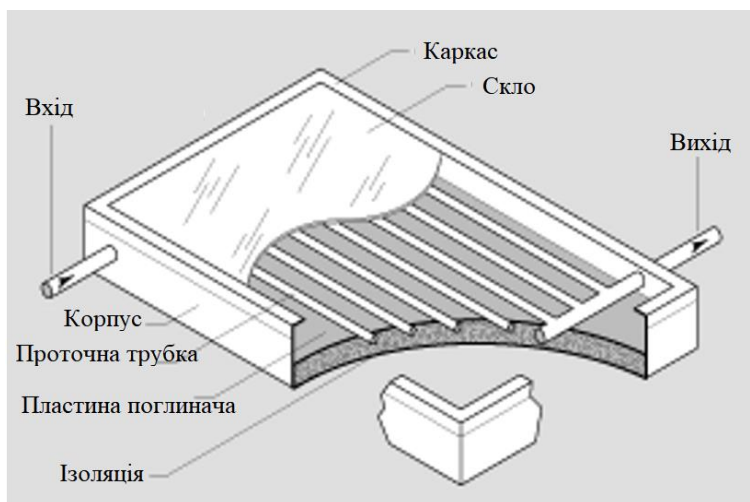


Рисунок 1.18 – Схема плоского сонячного колектора

Простий тип колекторів – це металеві коробки, покриті прозорим склом на верхній частині, та поглинальні пластини в середині покриті селективним покриттям. Боки і дно колектору покриті теплоізоляцією, для зменшення втрат. Сонячне випромінювання проходить через прозоре скло та попадає на пластини абсорбера, які покриті селективним покриттям. Пластини виготовляють з добре теплопровідного матеріалу, найчастіше з міді, алюмінію, хромонікелевої сталі). Весь колектор добре герметичний. У разі потрапляння всередину повітря з навколишнього середовища, на внутрішній стороні скла утворюється конденсат, що перешкоджає проходженню світлу. Завдяки селективному шарі ці колектори придатні для цілорічного використання, при умові використання низько киплячих теплоносіїв. Такі колектори – це ідеальне рішення для теплого і помірного клімату. Вартість плоских колекторів значно нижча ніж вакуумних.

Вакуумні колектори

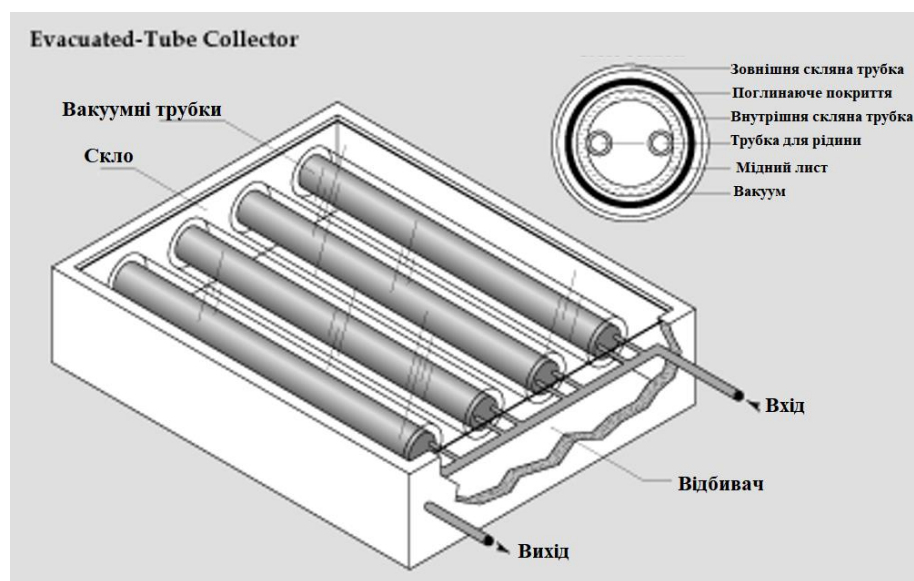


Рисунок 1.19 – Схема вакуумного сонячного колектора

Вакуумно - трубчастий колектор складається з декількох рядів паралельних прозорих скляних трубок. Ці скляні трубки мають циліндричну форму. Кожна трубка складається з товстої скляної зовнішньої трубки і тоншої скляної внутрішньої трубки (яка називається «трубкою з подвійним склом») або «трубки-термоса», яка покрита спеціальним покриттям, яке поглинає сонячну енергію, але стримує втрати тепла. Трубки виготовлені з

										Арк.
										27
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В				

боросилікатного або содово-вапняного скла, яке є міцним, стійким до високих температур і має високий коефіцієнт пропускання для сонячного опромінення. Внутрішній тиск між трубками досягає 0.001 Па. Завдяки опуклій формі поверхні поглинається випромінювання з широкого діапазону кутів. Тому ці колектори непогано працюють в хмарну погоду. Під поверхнею скла, нанесена спеціальна речовина, яка індукує про наявність повітря в середині, це дозволяє легко виявити поломку. Оптимізований параболічний відбивач забезпечує освітлення задньої частини поглинальної трубки прямим і непрямим сонячним випромінюванням. Правильне налаштування геометрії колектора - регулювання відстані між трубами та відбивачем - забезпечує максимальну ефективність. Якщо одна трубка пошкоджена (наприклад, градом), не потрібно замінювати весь колектор. Заміна, як правило, дуже проста, полягає у введенні трубки в ущільнювальну втулку. Тому його можна виконувати без зняття колектора. Навіть при великій різниці температур навколишнього середовища та теплоносія, втрати тепла відносно низькі. Підходять для опалення взимку. Використовуються для опалення, для гарячого водопостачання. Рекомендується встановлювати під кутом нахилу не менше 45 град. У разі невеликого нахилу, скло гелі колекторів може покритися снігом, що не унеможливить його роботу. У літні місяці їх ефективність порівнянна з невакуумними сонячними колекторами, тоді як у поганих сонячних умовах або в перехідні місяці та взимку ефективність їх вища. Термін експлуатації цих колекторів заявляється виробниками до 30 років. Витрати на придбання високоякісних вакуумних колекторів зазвичай у 2,5-3 рази вищі, ніж у звичайних невакуумних колекторів, і в 2 рази вищі, ніж у вакуумних плоских колекторів. Випускаються два типи трубчастих вакуумних колекторів, які відрізняються механізмом тепловіддачі.

					141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	

Вакуумні сонячні колектори з heat-pipe

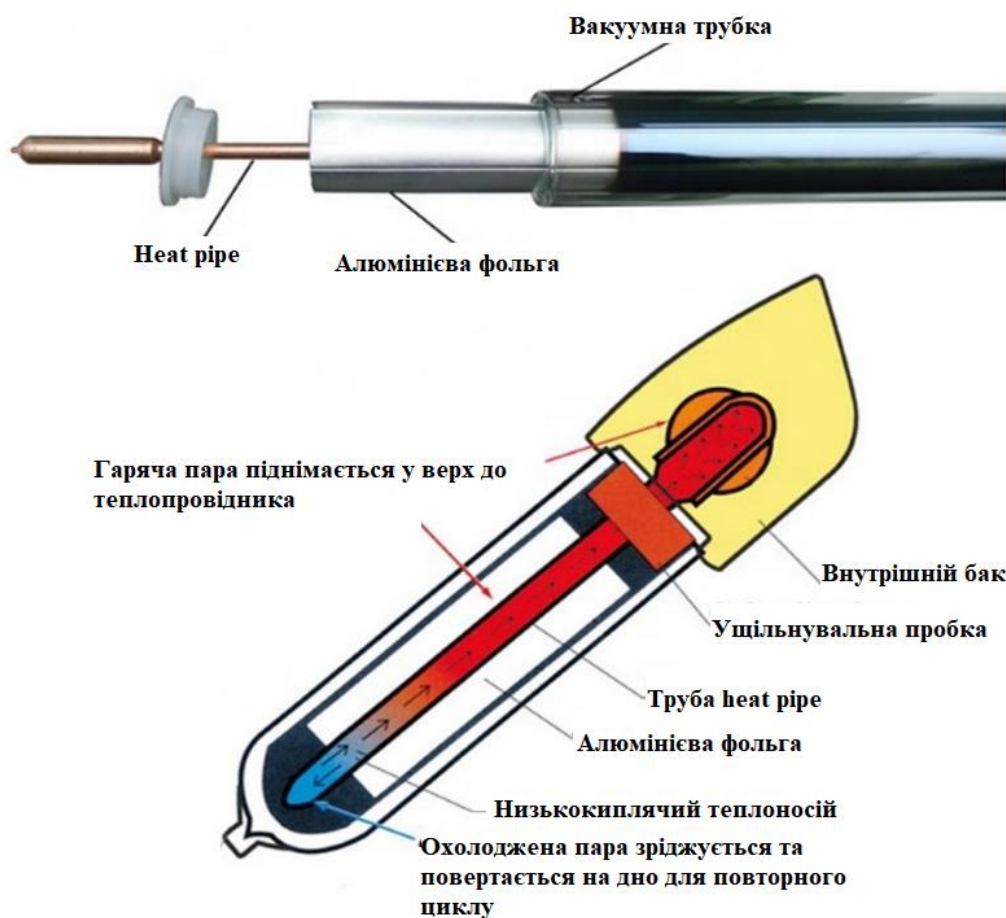


Рисунок 1.20 – Схема колектора системи heat pipe

На перший погляд, вона схожа на попередню систему, але насправді працює за зовсім іншим принципом. Герметичні скляні труби, не є проточними, а глухими із закритими кінцями. Верхні кінці занурені в трубу для збору теплоносійної рідини, яка проходить через верх колектора. Всередині знаходиться низькокипляча речовина, така як етиловий спирт, гліколь тощо. Завдяки сонячній радіації середовище випаровується (приблизно при 25°C) і піднімається до верхнього кінця, де конденсується і передає тепло в теплоносій. Потім стікає вниз, і цикл повториться.

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

29

Концентруючі сонячні станції

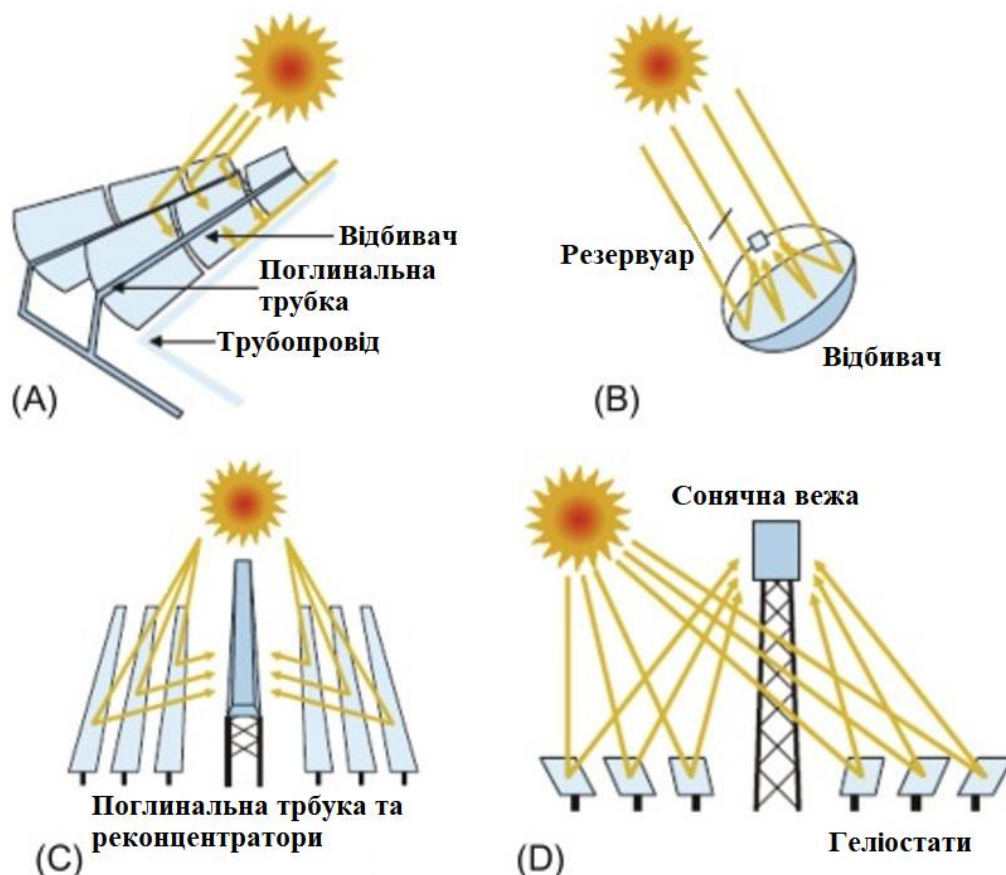


Рисунок 1.21 – Типи концентруючих геліоколекторних систем

Концентрована сонячна енергія (CSP) - це підхід до виробництва електроенергії за допомогою дзеркал. Дзеркала відображають, концентрують і фокусують природне сонячне світло на певну точку, яке потім перетворюється в тепло. Потім тепло використовується для створення пари, яка рухає турбіну для генерації електричної енергії. Процес можна повторювати безперервно, оскільки технологія CSP може зберігати вироблене тепло. Тому його можна використовувати в дні, коли немає сонця, або до сходу сонця та після заходу сонця.

CSP можна легко інтегрувати в існуючі електростанції на паровій основі. Навіть ті, що працюють на викопному паливі. Експлуатаційні витрати на станції CSP нижчі, ніж на атомних станціях та установках на вуглеводневій основі, оскільки експлуатація та обслуговування простіші.

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

1.2.2 Використання геліоколекторних систем в світі

Сонячна теплова енергетика стає все більше полярною. У 2019 році сонячні теплові системи виробили 479 ГВт, що дозволили заощадити 43 мільйони тон нафти та зменшити викиди CO₂ на 138 мільйонів тон. Лідерами використання геосистем є такі країни як: Німеччина, Італія, Японія, США, Іспанія, Китай, Франція, Чехія, Бельгія і Австралія.

1.3 Висновок

Очевидно, що відновлювальна енергетика в майбутньому займе провідне місце в світовій енергетиці, оскільки запас природних корисних копалин обмежений, а ціни на них постійно зростають. Також використання традиційних джерел енергії призводить до погіршення екологічної ситуації в світі.

Серед всіх відновлювальних джерел енергії простими та доступними для приватного використання для власних потреб є сонячна енергетика. З сонячної енергії можливо отримати теплову та електричну енергію. Перевагою сонячних станцій є їх надійність, невимогливість до обслуговування, доступність, безшумність та екологічність та джерело енергії доступно на всій земній поверхні.

Для перетворення сонячної енергії в електричну використовують кремнієві фото модулі, вони бувають моно та полікристалічними. Моно кристалічні ФМ мають більший ККД ніж полікристалічні, проте більш дорогі, через технологічність виробництва. Є інші види сонячних батарей, але через різні проблеми масово не використовуються.

Для перетворення сонячної енергії в теплову використовують сонячні колектори. На сьогодні використовують такі системи переважно як додаткові. Бувають абсорбуючі, плоскі, вакуумні, концентраторні та інші. Всі вони відрізняються своєю конструкції, але мають однаковий принцип роботи.

									Арк.
									31
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В			

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

					141.ЕД-7119.016.БР.В						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Терешенко А.М.			Розділ 2 Розрахунок фотоелектричної станції						
Провірив		Вишневська Ю.П.									
Т. контр.											
Н. Контр.		Головко В.М.									
Затвердив		Будько В.І.									
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Букв.</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Арк.</td> <td style="width: 70%; text-align: center;">Листків</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">32</td> <td style="text-align: center;">68</td> </tr> </table> НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71	Букв.	Арк.	Листків		32	68
Букв.	Арк.	Листків									
	32	68									

2 Розрахунок фотоелектричної станції

2.1 Опис типу СЕС

Фотоелектричну станцію розміщаємо на даху будинку, що знаходиться в м. Чернігів. Тому потужність станції обмежено площею даху, та чинним законодавством. Згідно закону про відновлювальну енергетику потужність приватних сонячних електростанцій для фізичних осіб не повинна перевищувати 30 кВт.



Рисунок 2.1 – Фото будинку з Google maps та межі розміщення СЕС на даху будинку

Сонячна електростанція працює на мережу, тобто видає надлишки електричної енергії в мережу за зеленим тарифом, це дозволяє окупити СЕС та надалі заробляти. Електрична мережа служить накопичувачем та розподільником енергії. Такий тип сонячних електростанцій є найвигіднішим економічно. Така станція дозволяє значно скоротити витрати споживача та заробляти, продавши електроенергію в мережу за зеленим тарифом. Також використання СЕС з мережею дозволяє заощадити кошти на акумуляторних батареях. Принципова схема станції такого типу зображена на малюнку:

										Арк.
										33
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В				

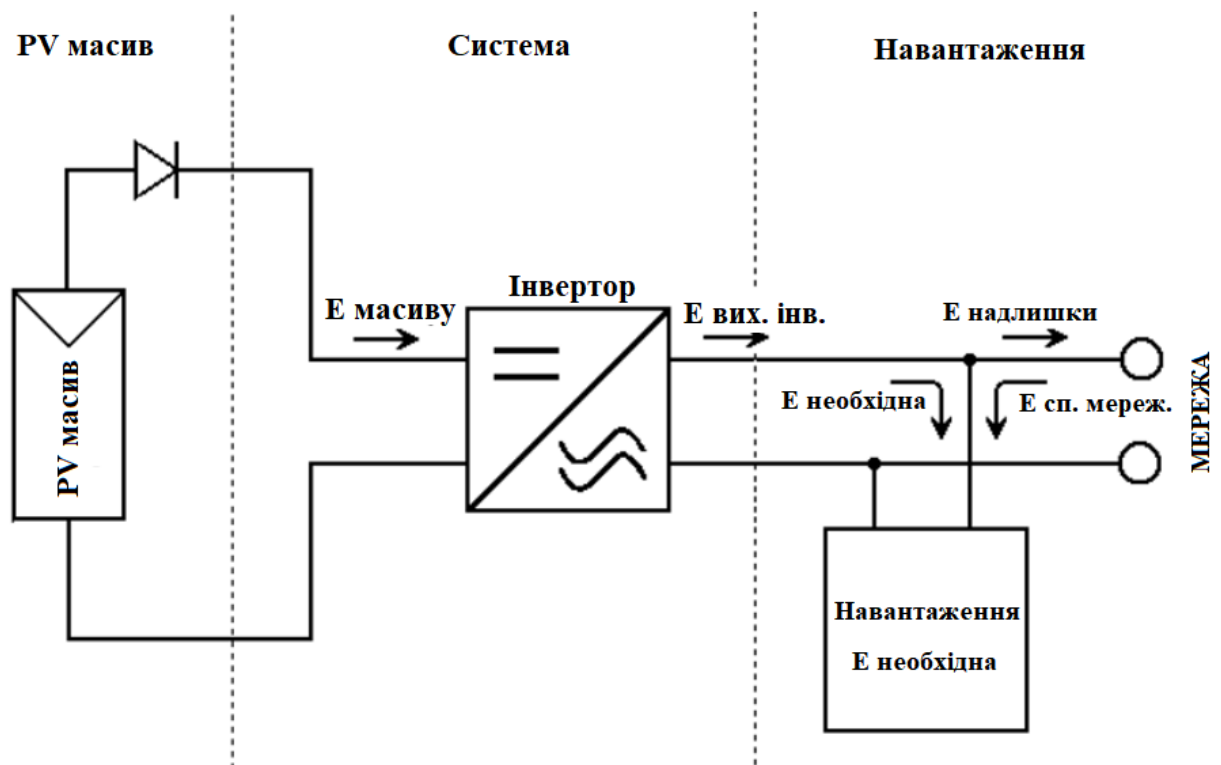


Рисунок 2.2 – Схема приватної СЕС для власних потреб, яка працює на мережу

2.2 Розрахунок кількості фотомодулів та їх розташування

Розрахунки здійснюємо за допомогою програмного забезпечення PVsyst. На сьогодні це один з найбільш затребуваних інструментів для моделювання сонячних електростанцій серед інженерів, які займаються реалізацією сонячних електростанцій. Програма дозволяє виконувати розрахунки ефективності і виконувати економічні розрахунки оцінки виробництва енергії для комерційного та для приватного використання. Підходить для проектування як статичних так і тренінгових СЕС, також є алгоритми, які дозволяють розрахувати затінення.

Обираємо фіксовану систему фотомодулів. Спочатку задаємо кут нахилу та азимутальний кут. Та обираємо параметри розрахунку для оптимального кута нахилу та азимутального кута. Об'єкт на якому розміщується СЕС вже збудований, тому використовуємо його параметри, хоча вони є не оптимальними. Кут нахилу ФМ = куту нахилу даху = 30 град, азимутальний кут склав 60 градусів.

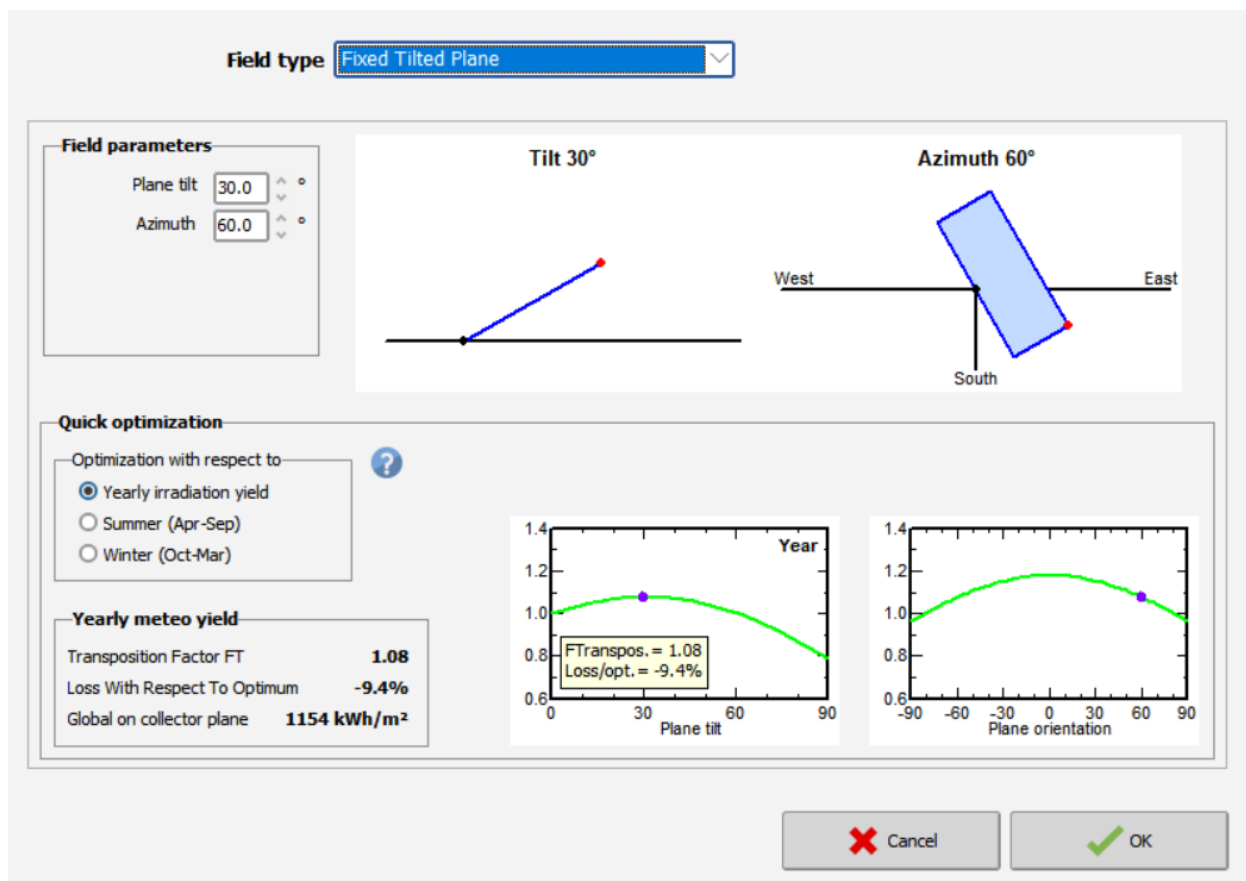


Рисунок 2.3 – Меню програми PVsyst для вибору кутів та типу установалення ФМ

Після введення вхідних даних, програма показує графіки графіки оптимального кута нахилу та азимутального кута. В пункті Yearly meteo yield показує дані:

- Коефіцієнт транспозиції – 1,08. Показує коефіцієнт відношення опромінення на похилу поверхню до горизонтальної;
- Втрати відносно оптимальних параметрів – 9,4%;
- Прихід сонячної радіації на похилу поверхню за рік 1154 кВт*год/м².

2.3 Підбір параметрів СЕС

Площа, яку ми може використати для встановлення фотомодулів складає приблизно 52 м². За допомогою пункту Pre-sizing helping знаходимо приблизну можливу потужність СЕС. Вона склала 10,8 кВт.

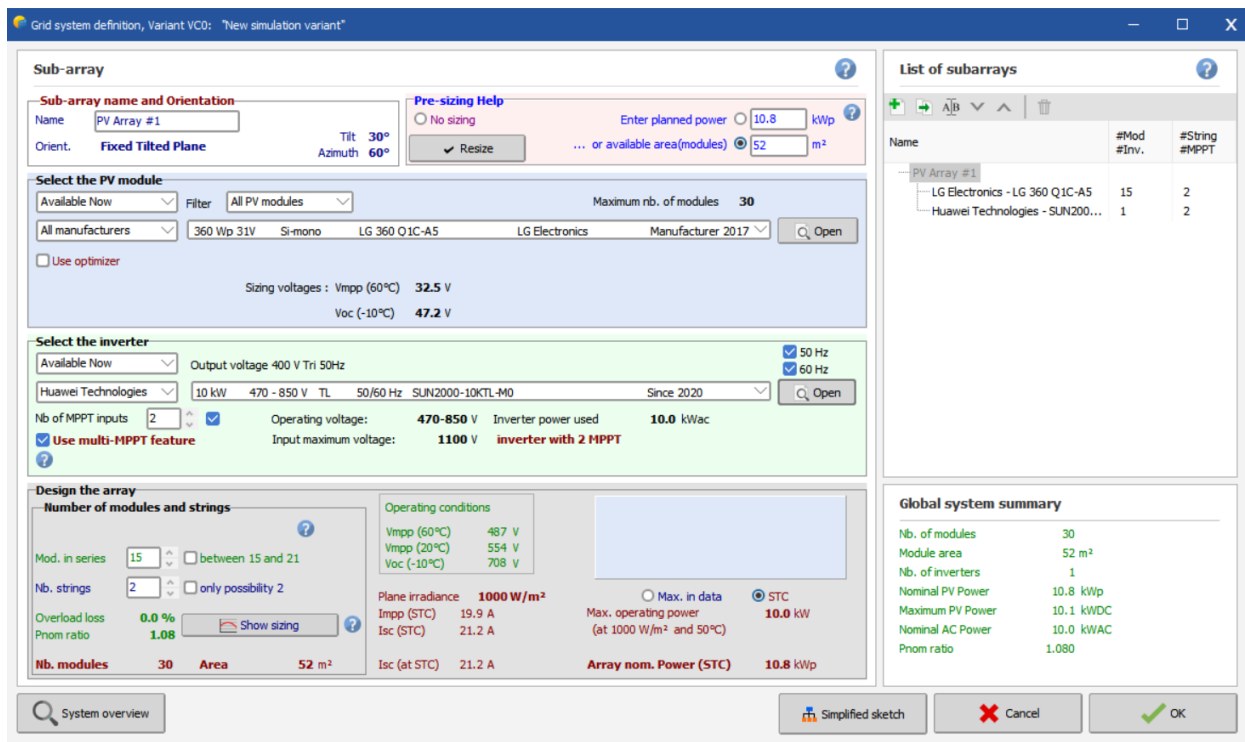


Рисунок 2.4 – Меню програми PVsyst для вибору параметрів СЕС

2.3.1 Вибір фотомодулів.

Провівши попередній розрахунок в PVsyst враховуючи обмежену площу станції для оптимального використання простору обираємо фотомодулі LG 360 Q1C-A5, номінальна потужність якого 360 Вт.

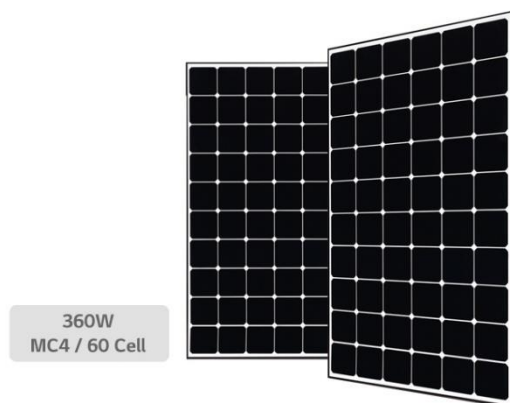


Рисунок 2.5 – Фотопанель LG 360 Q1C-A5

Дана модель фотомодулів дозволяє максимально використати доступний простір та досягти максимальної доступної потужності на заданій ділянці - 10.8 кВт.

Таблиця 2.1 – Механічні та електричні характеристики ФМ LG 360 Q1C-A5

Механічні характеристики	
Розмір комірок	6x10
Виробник	LG
Тип комірок	Монокристалічні
Розмір комірки	161.7 x 161.7 мм
Габарити	1700 x 1016 x 40 мм
Маса	18,5 кг
Тип роз'єму	MC4 (MC)
Тип скла	Загартоване скло з високою пропускнуою здатністю
Рамка	Анодований алюміній
Електричні характеристики	
Максимальна потужність, P_{max}	360 Вт
Напруга MPP, V_{mpp}	36.7 В
Струм MPP, I_{mpp}	9.8 А
Напруга холостого ходу, V_{oc}	43.6 В
Напруга короткого замикання, I_{sc}	10.6 А

LG360Q1C-A5 це високопродуктивний сонячний модуль від LG. Естетичний дизайн та ефективні характеристики роблять їх вигідним рішенням для приватного використання. Сонячний модуль може витримувати статичне навантаження на фронт до 6000 Па, має розширену гарантію 25 років і ще раз покращену гарантію продуктивності.

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		37

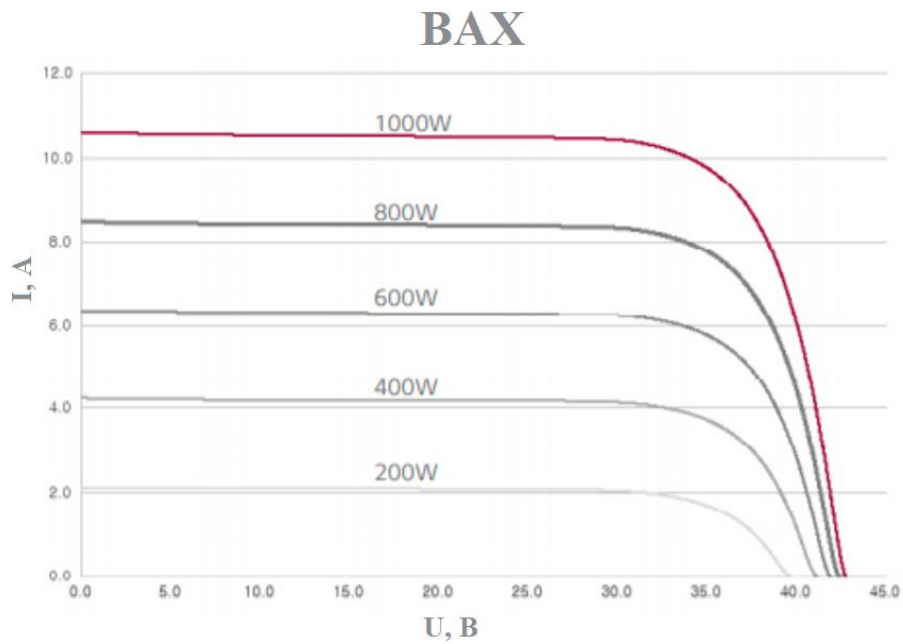


Рисунок 2.6 – ВАХ обраного фотомодуля

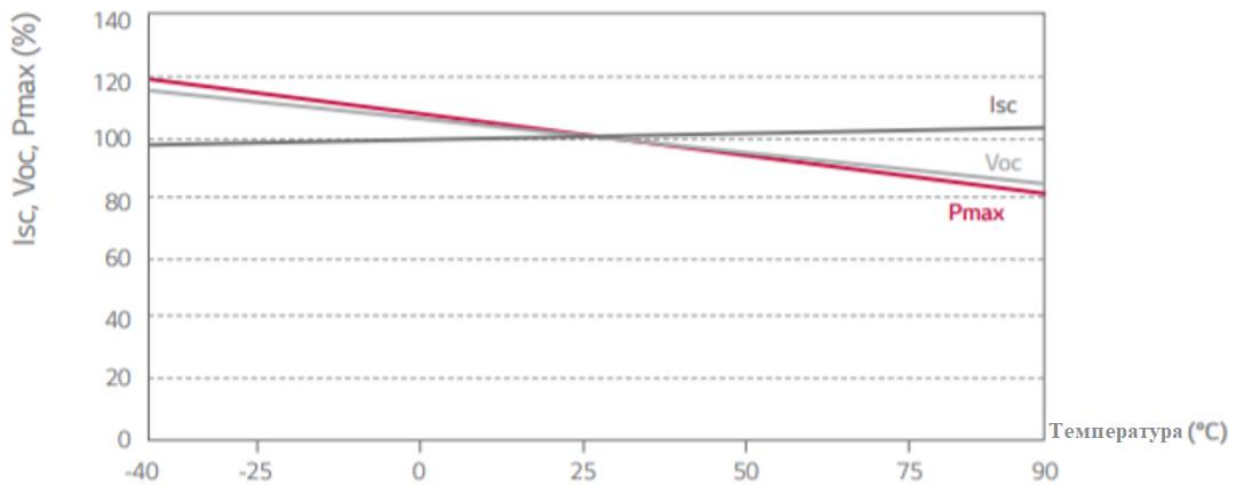


Рисунок 2.7 – Залежність напруги ХХ, струму КЗ, та максимальної потужності від температури

Кількість фотомодулів обмежно площею даху, в ході підбору оптимальним прийнято масив фотомодулів розміром 2x15. Розмір ФМ 1016x1700 мм. Відстань між ФМ прийнято 20 мм. Загальна кількість ФМ – 30 шт.

Знаючи кількість фотомодулів та їх номінальну потужність визначаємо номінальну потужність стації:

$$P_{\text{СЕС}} = N \cdot P_{\text{ФМ}} = 30 \cdot 0.36 = 10.8 \text{ кВт}$$

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

38

- Кількість паралельно з'єднаних масивів ФМ – 2;
- Кількість послідовно з'єднаних ФМ – 15.

Фотомодулі розташовуємо на частині даху, яка направлена на схід, для більшої сонячної інсоляції.

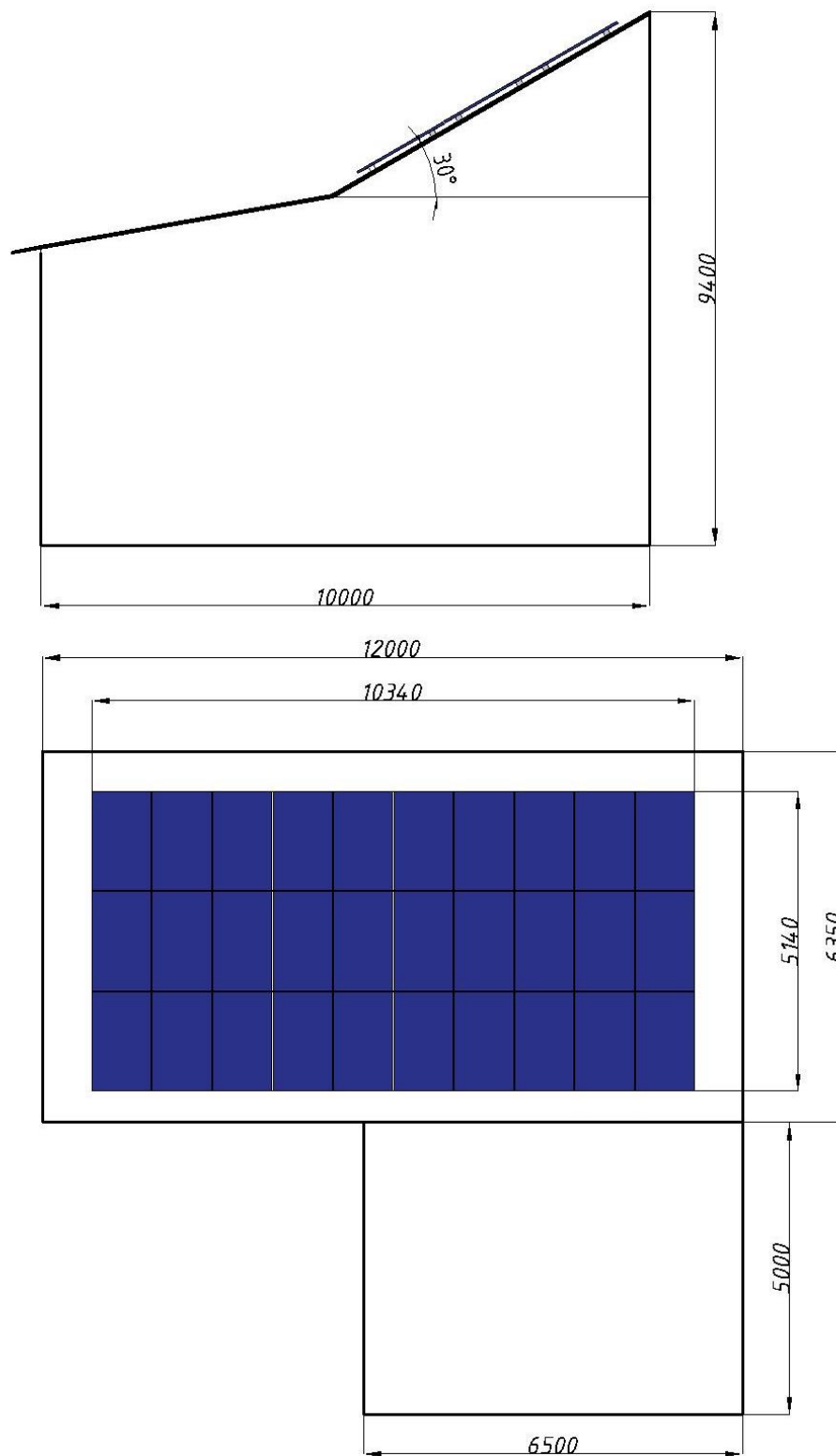


Рисунок 2.8 – Схема розташування ФМ на даху будинку

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

39

Далі в пункті Select the PV module обираємо (Рисунок 2.4) обираємо обрані ФМ ФМ LG 360 Q1C-A5 потужністю 360 Вт.

Програма розраховує напругу при максимальній потужності станції при 20 °С та 60 °С та напругу ХХ при -10 °С.

- Напруга максимальної потужності при 60 °С склала $V_{mpp} = 487 \text{ В}$;
- Напруга максимальної потужності при 20 °С склала $V_{mpp} = 554 \text{ В}$;
- Напруга холостого ходу при -10 °С склал $V_{oc} = 708 \text{ В}$;
- Струм максимальної потужності склав $I_{mpp} = 19.9 \text{ А}$;
- Струм КЗ $I_{sc} = 21.2 \text{ А}$.

2.3.2 Вибір інверторів

За попередніми отриманими параметрами підбираємо інвертор. Інвертор підбираємо за діапазоном напруги та вхідному струмі. Під час підбору варіантів оптимальним виявився інвертор Huawei SUN2000-10KTL-M0.



Рисунок 2.9 – Фото обраного інвертора Huawei SUN2000-10KTL-M0

Трьох фазний інвертор Huawei SUN2000-10KTL-M0 – це сучасний інвертор для створення якісної сонячної електростанції, яка працюватиме на мережу. Виробник Huawei є світовим лідером у виготовленні такого обладнання та входить в п'ятірку компаній з найбільшими продажами інверторів для сонячних електростанцій. Даний інвертор є високоякісним та має нижчу ціну, ніж у конкурентів з аналогічною потужністю. Має два MPP

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		40

трекера, що дозволяє підключити сонячні батареї в двох різних положеннях. Тому даний інвертор є чудовим рішенням для розрахункової СЕС.

Таблиця 2.2 – Характеристики сонячного інвертора Huawei SUN2000-10KTL-M0

Вихідні характеристики	
1	2
Номінальна потужність АС	10 кВт
Максимальна повна потужність АС	11 кВт*А
Номінальна потужність DC	10 кВт
Вихідна напруга АС	220/380 В, 230/400 В, 3W/N+PE
Номінальна частота	50/60 Гц
Максимальна сила струму АС	16.9 А
Вхідні характеристики	
Максимальна потужність	14.9 кВт
Діапазон вхідної напруги	200 – 980 В
MPPT діапазон напруги	470 – 850 В
Максимальна напруга	1100 В
Максимальний вхідний струм	11/11 А
Максимальний струм КЗ	15 А
Кількість МРР трекерів	2
Ефективність	
Максимальна ефективність	98.6 %
Захист	
DC вимикач	+
Захист від секціонування	+
АС захист від надструмів	+
DC захист від неправильної полярності	+
Захист від перенапруги DC/AC	Тип 2
Моніторинг ізоляції	+

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		41

1	2
Прилад захисного відключення	+
Загальні характеристики	
Розміри (ДхВхШ)	525 x 470 x 166 мм
Маса	17 кг
Температура експлуатації	від -25 °С до +60 °С
Охолодження	Натуральна конвекція
Клас захисту	IP65
Гарантія	10 років

Крива ефективності

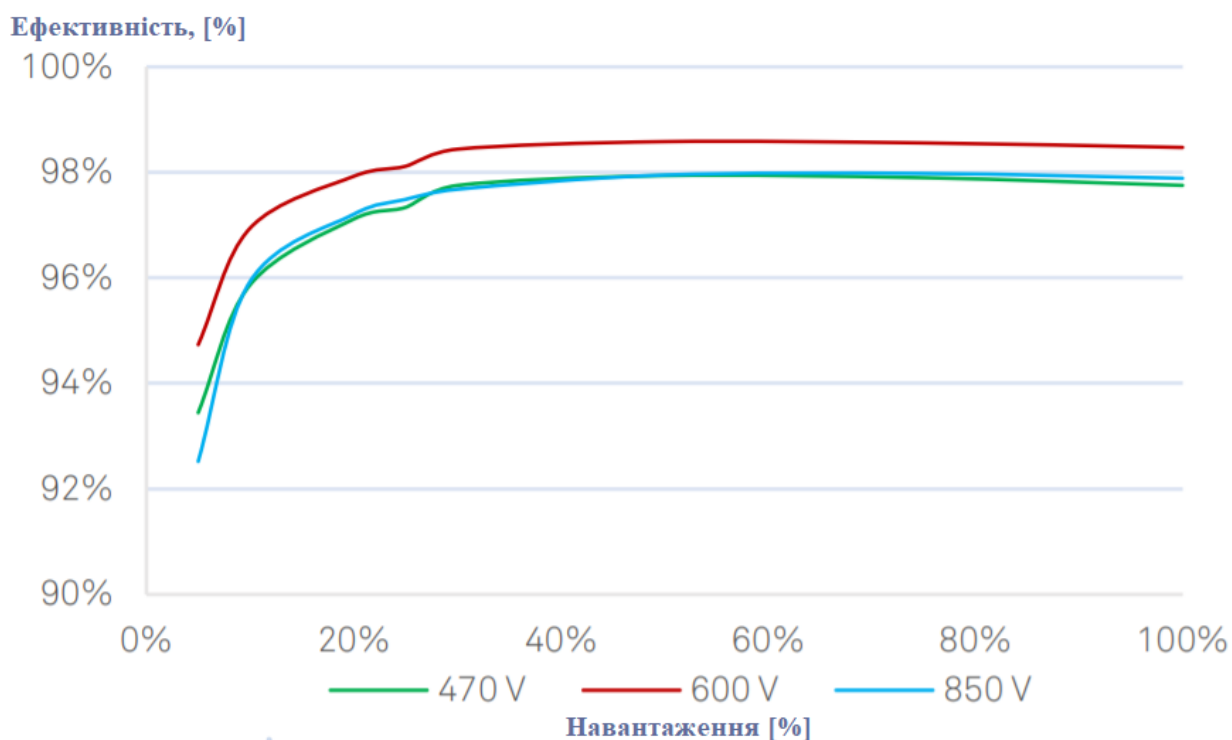


Рисунок 2.10 – Крива ефективності інвертора Huawei SUN2000-10KTL-M0 для різної напруги

До інвертору підключено два масива фотомодулів через 2 MPP. Сумісність сонячного масиву фото модуля з інвертором визнаємо за такими параметрами:

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		42

- Напруга максимальної потужності при 60 °C склала V_{mp} = 487 В;
- Напруга максимальної потужності при 20 °C склала V_{mp} = 554 В;
- Напруга холостого ходу при -10 °C склал V_{oc} = 708 В;
- Струм максимальної потужності склав I_{mp} = 19.9 А;
- Струм КЗ I_{sc} = 21.2 А.

Дані параметри відповідають параметрам інвертора. На рисунку 2.11 зображено ВАХ масиву фотомодулів при різних температурах та діапазон напруг інвертора.

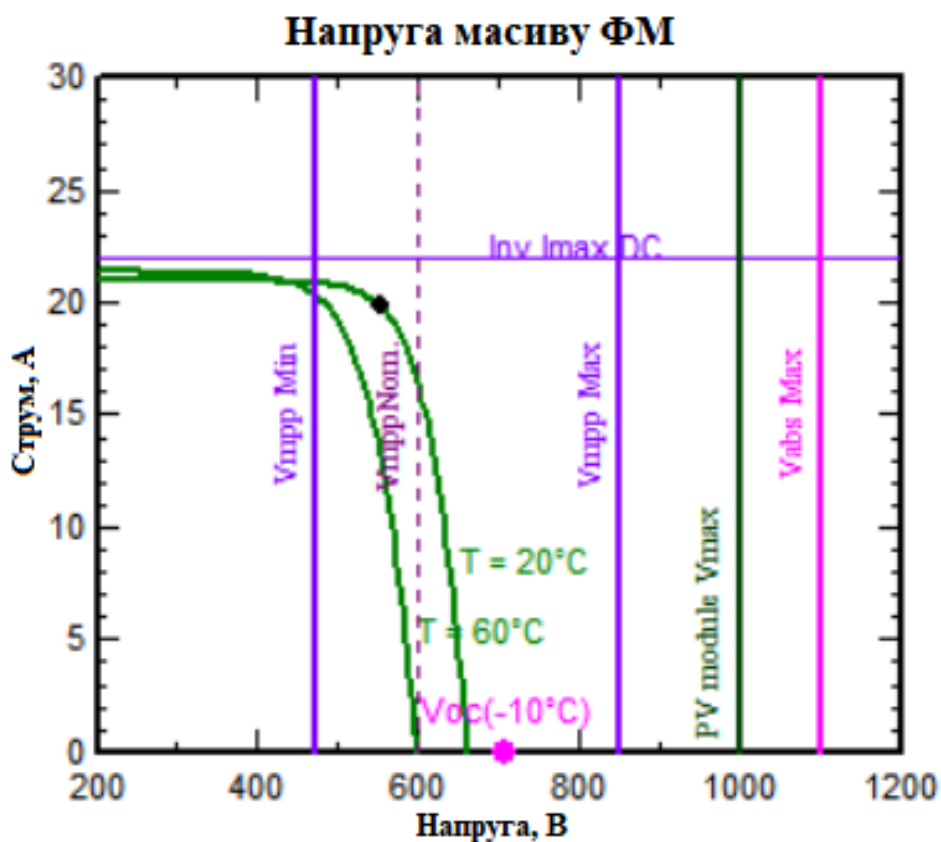


Рисунок – 2.11 – Наруга масиву ФМ та інвертора

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

43

Таблиця 2.3 – Дані про замінність СЕС

		Азимутальний кут									
		-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°
Кут падіння сонячного випромінювання на ФМ	90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	80°	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	70°	0.001	0.004	0.006	0.007	0.006	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000
	60°	0.005	0.011	0.014	0.015	0.014	0.011	0.005	0.000	0.000	0.000
	50°	0.009	0.022	0.030	0.031	0.030	0.022	0.011	0.000	0.000	0.000
	40°	0.013	0.032	0.064	0.077	0.072	0.048	0.023	0.002	0.000	0.000
	30°	0.013	0.032	0.074	1.000	0.114	0.134	0.052	0.007	0.000	0.000
	20°	0.013	0.032	0.084	1.000	0.157	0.220	0.179	0.021	0.000	0.000
	10°	0.013	Behind	Behind	Behind	Behind	Behind	0.306	0.102	0.000	0.000
	2°	Behind	Behind	Behind	Behind	Behind	Behind	Behind	0.182	0.000	0.000
			20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
		90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
		60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
		50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
		40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.013
		30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.013
		20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.013
		10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.013
	2°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	Behind	

2.3.4 Розташування ФМ в масиві

Фотомодулі розміщуємо в два стрінги 1x15 для оптимальної роботи з інвертором.

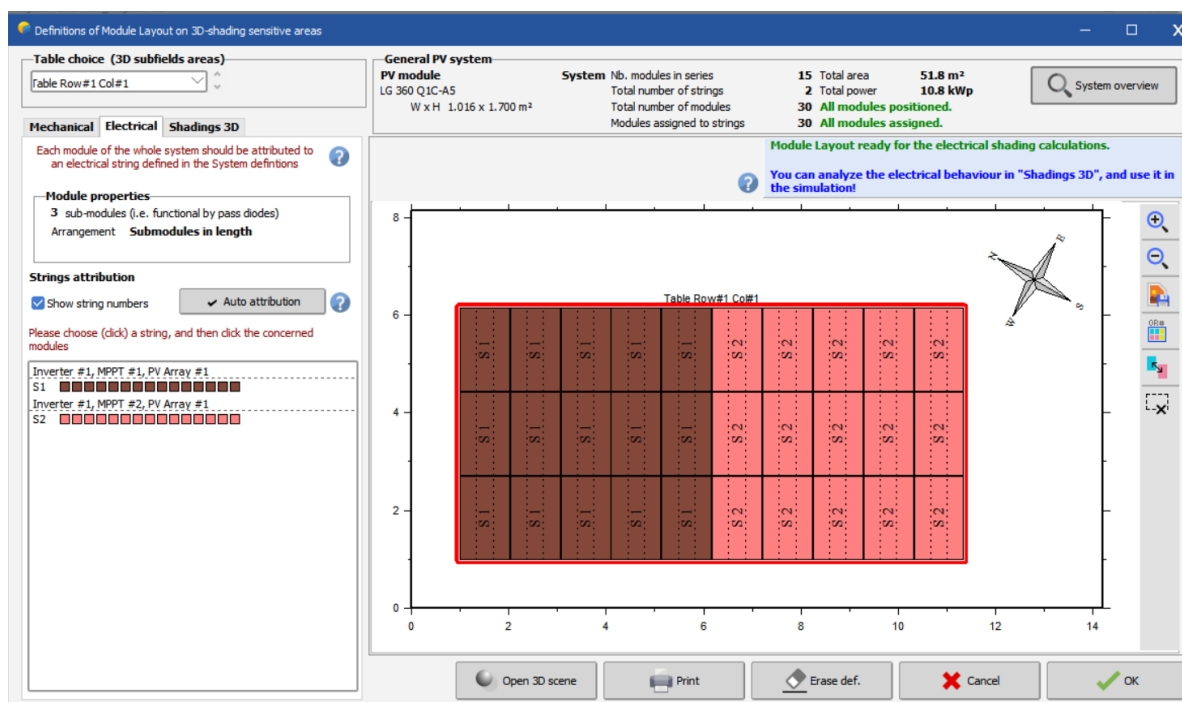


Рисунок 2.23 – Розмітка модуля

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата
-----	------	------	------	--------	------

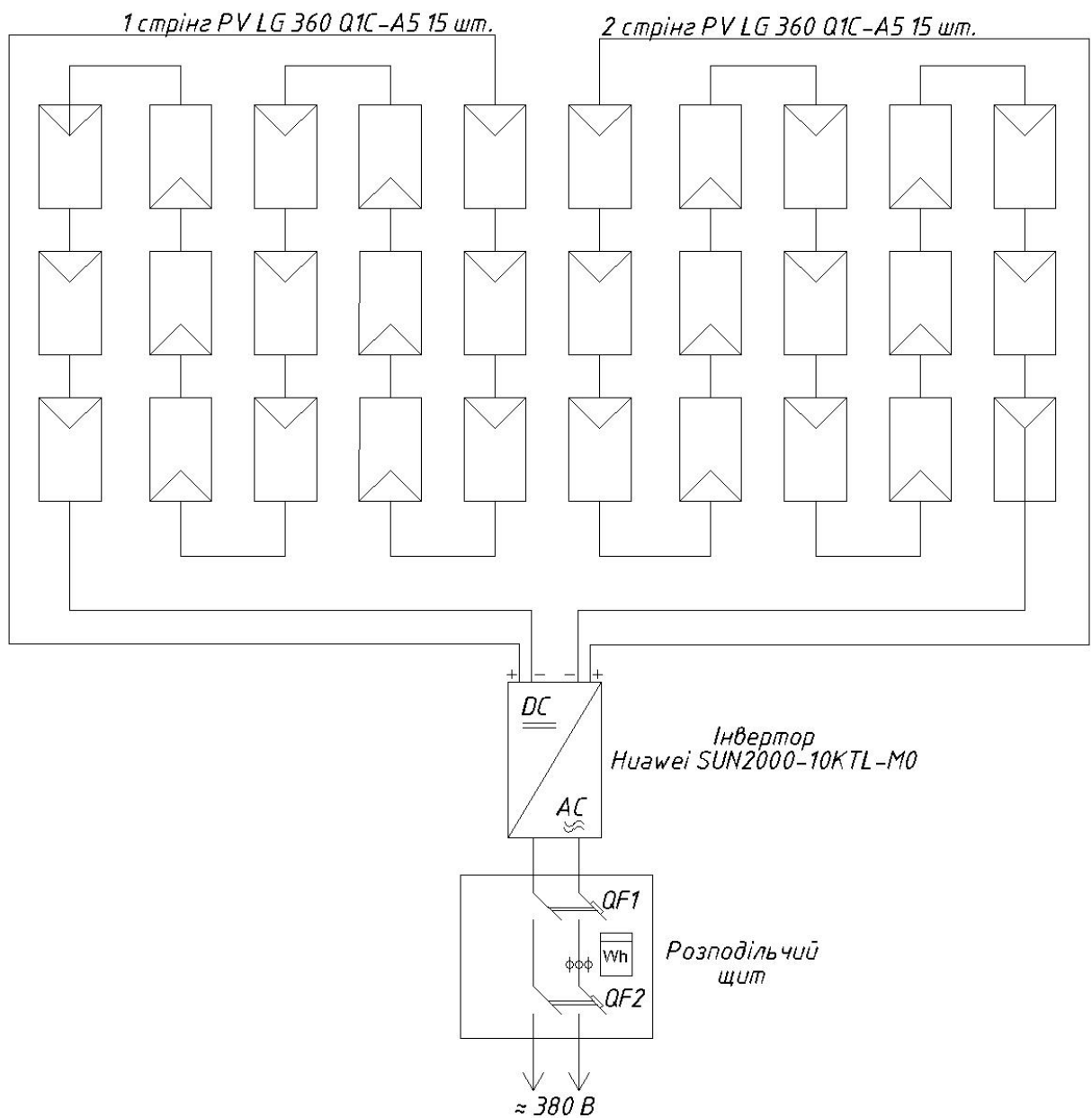


Рисунок 2.24 – Електрична схема СЕС

За остаточним підбором обираємо 2 стріги ФМ по 15 шт, оскільки даний інвертор Huawei SUN2000-10KTL-M0 підтримує роботу з 2 MPP. Така схема розміщення фото модулів дозволяє добутися значень напруги та струму на вході в інвертор в межах робочого діапазону.

Щомісячні графіки представлені в одиницях, званих «Нормалізований індекс продуктивності». Ці змінні були визначені Об'єднаним дослідницьким центром (Ispra) для стандартизованого звіту про продуктивність фотоелектричної системи, і тепер вони визначені в міжнародній нормі IEC61836. Інтерактивна довідка PVsyst містить повне пояснення цих значень. У цих одиницях виміру значення виражаються в [кВт*год / кВт / день] це кількість енергії (кВт-год), що виробляється на кожен кВт-год потужності сонячних панелей протягом місяця.

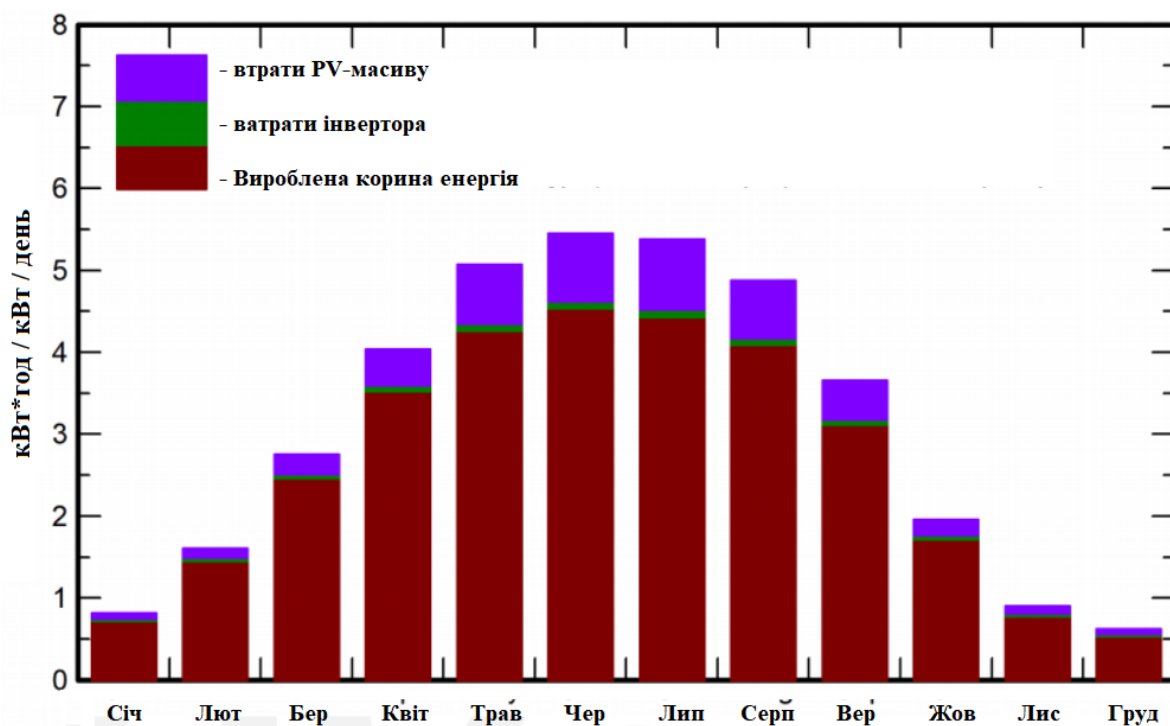
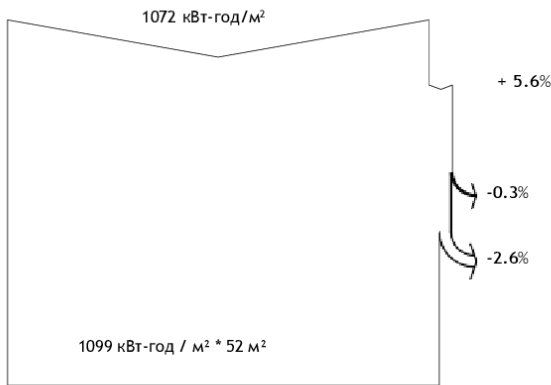
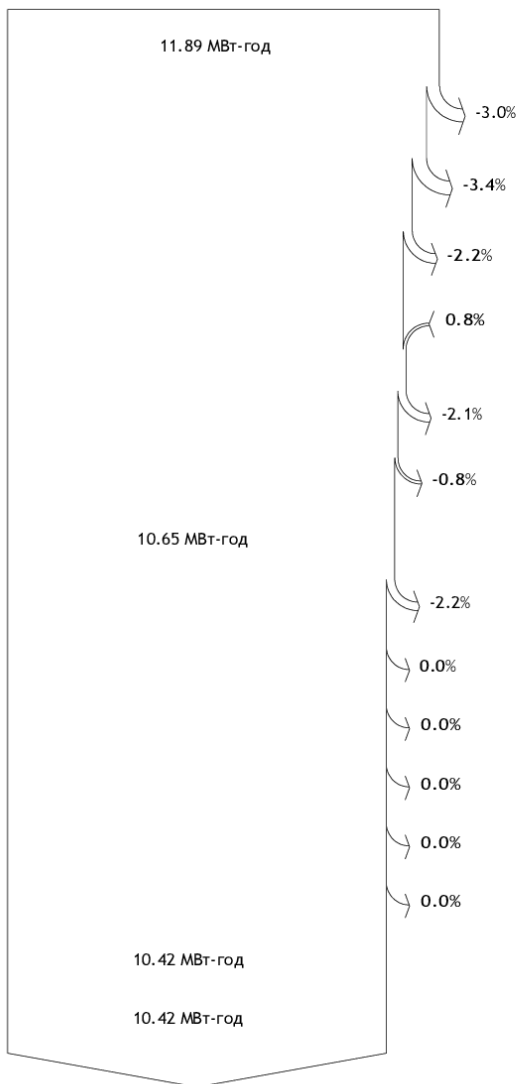


Рисунок 2.25 – Графік нормалізованого індексу продуктивності протягом року

Діаграма втрат СЕС протягом року



ККД при STC = 20,88%



Глобальне горизонтальне опромінення

Глобальний інцидент у зб. площині

Поруч із затіненнями: втрата опромінення

Коефіцієнт IAM на глобальний

Ефективне опромінення на колекторах

PV перетворення

Номинальна енергія масиву (при ефективності STC)

Втрата ФВ через рівень опромінення

Втрата PV через температуру

Затіннення: Електричні втрати відповідно до стрінгу

Втрата якості модуля

Втрата невідповідності, модулі та рядки

Омічна втрата проводки

Масивна віртуальна енергія на MPP

Втрати інвертора під час роботи (ефективність)

Втрата інвертора над номінальною інв. потужність

Втрати інвертора через макс. вхідний струм

Втрата інвертора над номінальною інв. Напруга

Втрати інвертора через поріг потужності

Втрати інвертора через поріг напруги

Доступна енергія на виході інвертора

Енергія, що вводиться в мережу

Рисунок 2.26 – втрати СЕС за рік

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

49

2.2 Висновок

В другому розділі розраховано сонячну електростанцію для власних потреб. Розрахунок проводиться в програмі PVsyst. Дана програма дозволяє підібрати оптимальні параметри СЕС та порахувати генерацію, врахувавши втрати.

Було обрано місце розташування СЕС на даху, та порахована приблизна площа СЕС, за отриманими даними обрали сонячні фотомодулі LG 360 Q1C-A5 кількістю 30 шт. Розміщаємо ФМ в 2 стрінги по 15 шт. Потужність СЕС склала 10.8 кВт. За отриманими даними та характеристиками ФМ визначаємо напругу на стрінгу при різних температурах та струм максимальної потужності, струм КЗ. За отриманими даними підібрали сонячний інвертор Huawei SUN2000-10KTL-M0. Також було побудовано 3Д модель будинку на якому розміщується СЕС та розраховано затіненість. Після вибору всіх основних параметрів СЕС запускаємо симуляцію та отримуємо звіт про генерацію. Генерація станції за рік склала 10.42 МВт*год.

					141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ГЕЛІОКОЛЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ

					141.ЕД-7119.016.БР.В					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 3 Розрахунок геліоколекторної системи					
Розробив		Терешенко А.М.						<i>Букв.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листків</i>
Провірів		Вишнеvsька Ю.П.						51	68	
Т. контр.								НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		
Н. Контр.		Головко В.М.								
Затвердив		Будько В.І.								

3. Розрахунок геліоколекторної системи

Геліоколекторну систему використовуємо для гарячого водопостачання будинку, оскільки підігрів води за допомогою електричних нагрівачів є дволи затратним процесом. Установка геліосистеми дозволить заощадити на споживання електроенергії. Розрахована система має працювати протягом року.

3.1 Розрахунок необхідного об'єму теплої води та кількості теплоти

Розрахунок необхідного об'єму теплої води проводимо на основі кількості людей, які проживають в будинку. Приймаємо кількість людей – 4. Необхідно норму теплої води на людину приймаємо 25 л при температурі 60 °С.

$$V = 25 \cdot n = 100 \text{ л} \quad (3.1)$$

Де:

- V – об'єм теплої води при температурі 60 °С;
- n – кількість людей в будинку.

Для оптимального підбору сонячного колектору, розрахуємо кількість теплоти яку необхідно отримати від сонця, щоб нагріти воду. Джерелом холодної води є центральний трубопровід, температура води в якому 15 С.

$$\begin{aligned} Q_1 &= m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = \\ &= 100 \cdot 4,12 \cdot (60 - 15) = 18540 \text{кДж} = 5.15 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Де:

- m – маса води;
- c – теплоємність води;
- t_2 – температура гарячої води;
- t_1 – температура холодної води.

Для того щоб визначити потужність геліосистеми потрібно врахувати втрати які присутні в системі. Приймаємо втрати системи 10%.

Тоді необхідна кількість енергії для підігрів 100 л води складе:

$$Q_2 = \frac{Q_1}{0.9} = \frac{5.15}{0.9} = 5.8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.3)$$

									Арк.
									52
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В			

Розрахуємо кількість енергії, яка необхідна для нагрівання води протягом місяця:

$$Q_3 = Q_2 \cdot 30 = 5.8 \cdot 30 = 174 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.4)$$

3.2 Вибір оптимального кута встановлення геліосистеми

Зазвичай геліосистеми мають надлишок теплої води в літній час та дефіцит в холодні пори року. Тому для збільшення об'єму теплої води в зимову пору року обираємо кут нахилу геліосистеми 45° , оскільки сонце в цю пору року знаходиться низько. Система буде розташовуватися на даху будинку, тому азимутальний кут складе 60° . Як видно з результатів на рисунку 3.1 кут встановлення 45° є практично ідеальним кутом для встановлення в даних умовах.

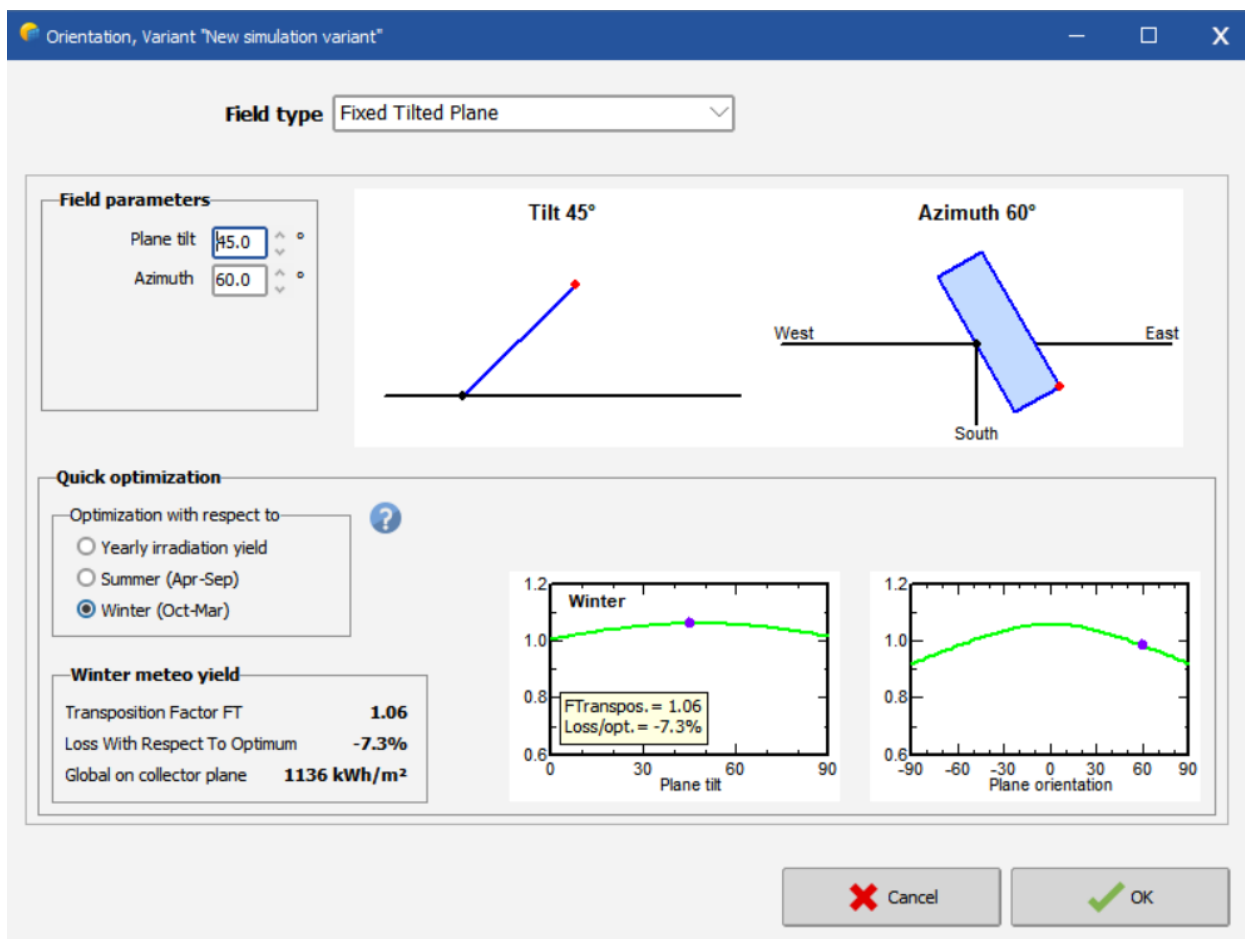


Рисунок 3.1 – Обчислення оптимального кута нахилу в PVsyst

Після введення вхідних даних, програма показує графіки графіки оптимального кута нахилу та азимутального кута. В пункті Yearly meteo yield показує дані:

- Коефіцієнт транспозиції – 1,06. Показує коефіцієнт відношення опромінення на похилу поверхню до горизонтальної;
- Втрати відносно оптимальних параметрів – 7.3%;
- Прихід сонячної радіації на похилу поверхню за рік 1136 кВт*год/м².

3.3 Розрахунок сонячної інсоляції на похилу поверхню

За допомогою програми PVsyst визначаємо прихід сонячної енергії на 1 м² за місяць протягом року на похилу поверхню 45° та азимутальним кутом 60°. Отримані дані наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Місячна сонячна інсоляція на 1 м²

Місячна сонячна інсоляція на похилу поверхню на 1 м ² , кВт*год	
Січень	26.2
Лютий	46.0
Березень	85.3
Квітень	118.3
Травень	149.9
Червень	153.4
Липень	157.0
Серпень	146.9
Вересень	110.4
Жовтень	61.5
Листопад	28.5
Грудень	20.4
За рік	1103.8

Місячна сонячна інсоляція на похилу поверхню на 1 м²

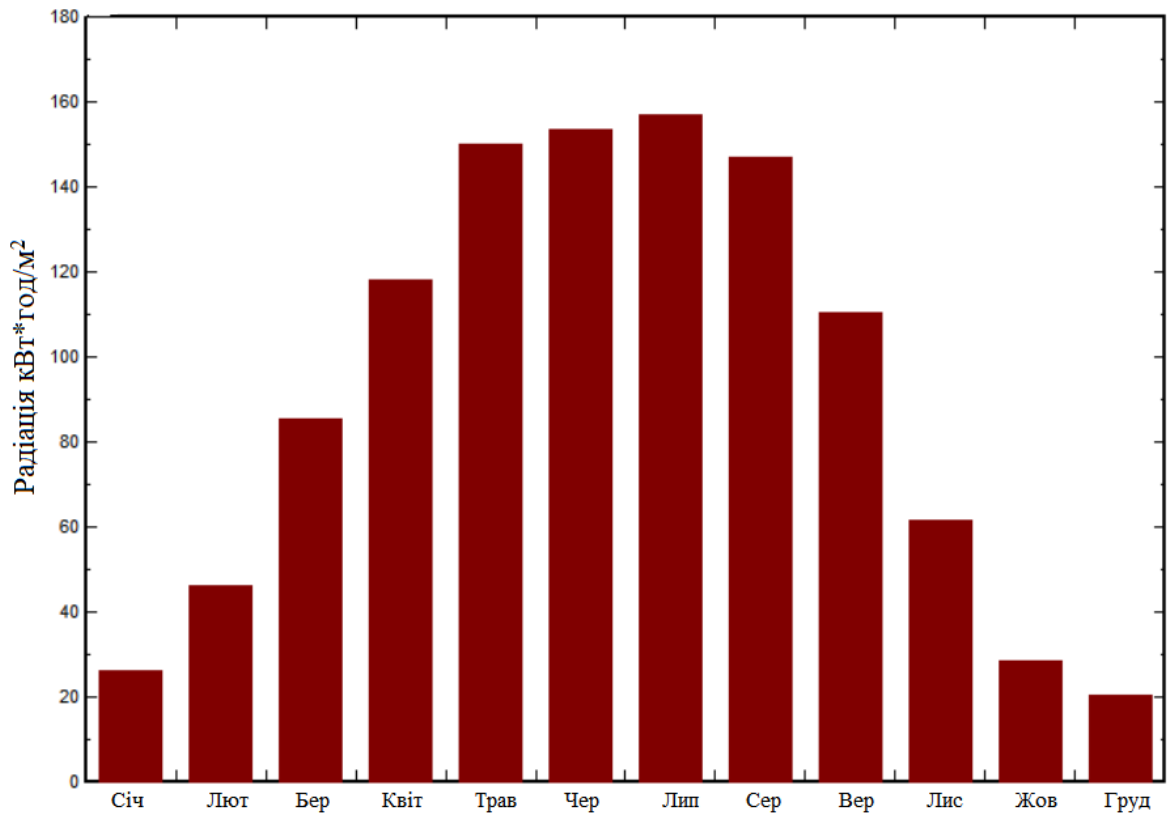


Рисунок 3.2 – Місячна сонячна інсоляція на похилу поверхню

3.4 Вибір геліоколектору

В роботі обираємо вакуумний геліоколектор з heat pipe з низько киплячим теплоносієм, що дозволить використовувати таку систему в зимову пору року. Такий колектор має високий ККД – приблизно 87%. Приймаємо середню $Q_{сер}$ кількість енергії яка генерується кожен місяць з квітня по вересень.

$$Q_{сер} = \frac{118,3 + 149,9 + 153,4 + 157,0 + 146,9 + 110,4}{6} = 139,317 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.5)$$

Розрахуємо площу абсорберу, яку необхідно використати:

$$S_{аб} = \frac{Q_з}{\text{ККД} \cdot Q_{сер}} = \frac{174}{0.753 \cdot 139,317} \approx 1.66 \text{ м}^2 \quad (3.6)$$

Знаючи необхідну площу поверхні абсорберу підбираємо модель геліоколектору, яка відповідає отриманим умовам.

За даними вхідними умовами підходить геліоколектор Altek SC-LH3-20.



Рисунок 3.3 – фото обраного геліоколектора Altek SC-LH3-20

Дана модель розрахована на використання в кліматичних умовах України, тому вона є всесезонною, навіть зимою його ККД залишається достатньо високим. Він підходить для використання для дачних та приватних будинків в якому проживає 2-4 людини. Рама колектору виготовлена з алюмінію. Теплообмінник виготовлений з високоякісної міді, що дозволяє досягти високої теплопровідності. Термін служби колектору 15 – 25 років.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики геліоколектора Altek SC-LH3-20

Технічні характеристики	
1	2
Кількість трубок	20
Площа колектору, м ²	2.6
Розмір вакуумної трубки, мм	58x1800
Діаметр конденсатору, мм	24
Площа абсорбера, м ²	1.61
Площа апертури, м ²	1.88
Макс. температура нагріву, С°	250
Ном. температура нагріву, С°	-20 + 90
Макс. робоча температура, С°	100

1	2
ККД, %	75.3
Рама та колектор	алюміній
Матеріал теплообмінника	мідь
Максимальний робочий тиск, бар	6
Габарити ВхШхГ, мм	1635x1960x128
Вага, кг	68

Геліосистема встановлюється на даху будинку під кутом 45° на спеціальній системі кріплення, яка постачається в комплекті з колектором.

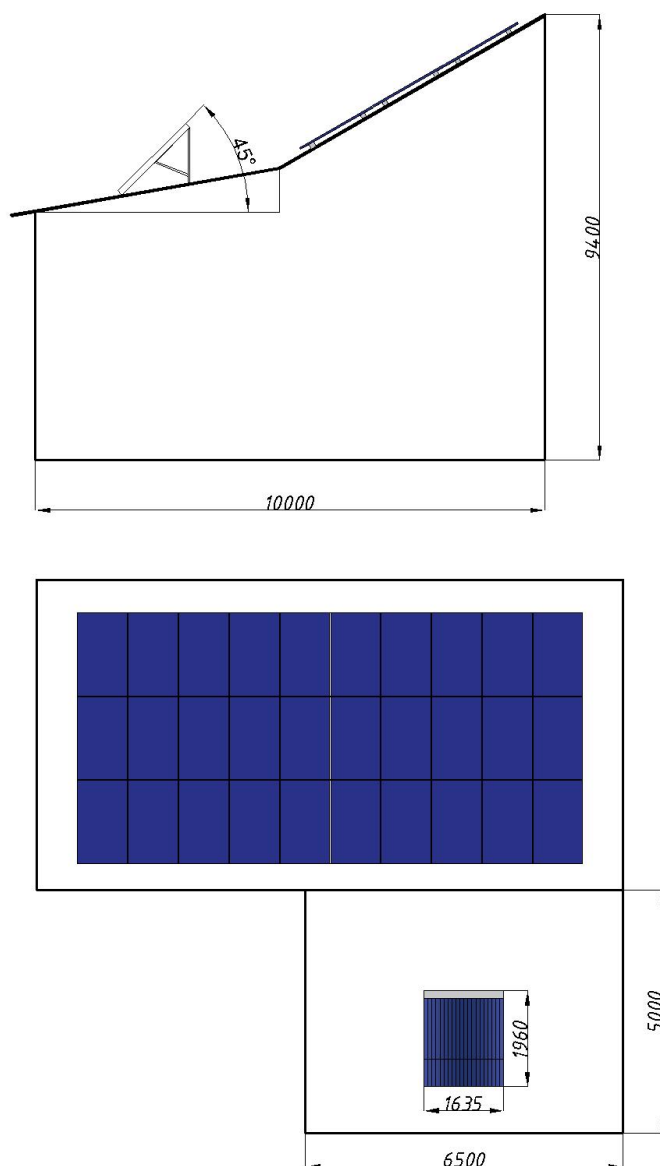


Рисунок 3.4 – Схема розміщення геліосистеми на даху будинку

Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис
				Дата

141.ЕД-7119.016.БР.В

Арк.

57

3.5 Вибір теплового акумулятора

Критерієм вибору теплового акумулятора є його об'єм, в даній системі необхідний об'єм складає – 100 л. За своїми характеристиками підходить накопичувальний бак Atmosfera G – 101.



Рисунок 3.5 – Фото Atmosfera G – 101

Даний бак має один теплообмінник і блок управління, об'ємом 100 л. Бак відповідає всім європейським стандартам, має двошарове емальове покриття, що забезпечує довгу роботу. Такий бак ідеально працює з гелі колекторною системою. Блок управління має датчик температури для контролю системи, датчик стану магнієвого аноду, електричний нагрівач. Вбудований електричний нагрівач дозволяє забезпечити будинок теплою водою в пахмурні та зимові дні, тобто споживач не відчуватиме дискомфорту.

Таблиця 3.3 – Характеристики Atmosfera G – 101

1	2
Об'єм, м ³	100
Діаметр, мм	480
Діаметр з ізоляцією, мм	550
Площа теплообмінника, м ²	1.03
Об'єм теплообмінника, л	5.69
Магнієвий анод, мм	734

1	2
Фланець, мм	305
Максимальна роб. температура, С°	95
Максимальна робоча температура теплообмінника, С°	145
Вага, кг	75

3.6 Розрахунок кількості теплої води протягом року

Знаючи кількість енергії Q_m , яка потрапляє на похилу поверхню площею 1 м^2 протягом місяця, ККД геліоустановки, $S_{аб}$ – площу абсорбера геліоколектора, $n_{втрати}$ – втрати в системі, та температуру гарячої t_2 та холодної води t_1 та c - теплоємність води, визначаємо кількість теплої води за кожний місяць.

Приклад розрахунку для місяця січень:

$$\frac{S_{аб} \cdot Q_m \cdot ККД_{гел} \cdot n_{втрати}}{c \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{1.61 \cdot 26.2 \cdot 3600 \cdot 0.753 \cdot 0.9}{4.12 \cdot (60 - 15)} \cdot 1000 =$$

$$= 555 \text{ л} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.4 – Об'єм води нагрітої від гелі колектору протягом року

Об'єм води нагрітої за місяць в літрах		Відсоток від потреби, %
1	2	3
Січень	555	18
Лютий	974	35
Березень	1807	58
Квітень	2506	84
Травень	3175	102
Червень	3249	108
Липень	3326	107

1	2	3
Серпень	3112	100
Вересень	2338	78
Жовтень	1302	42
Листопад	603	20
Грудень	432	14
За рік	23385	64

Надлишки теплої в літку можна використовувати для підігріву басейну або для інших господарських потреб. Для зменшення об'єму води в літку можна відключити частину трубок колектору. Такий запас енергоефективності дозволяє отримувати більше тепла в зимову пору.

3.7 Висновок

В третьому розділі було розраховано параметри геліоситеми. Було обрано необхідний об'єм рідини для потреб будинку. Обрахований оптимальний кут встановлення геліосистеми та знайдений прихід сонячної радіації на похилу поверхню. Визначено місце розташування на даху будинку. Було обрано геліоколектор Altek SC-LH3-20, який розрахований для роботи протягом всього року, та підібраний до нього тепловий акумулятор Atmosfera G – 101. За отриманими даними розраховано об'єм нагрітої води для кожного місяця. Дана система на 100% закриває потреби в теплій воді в літку та частково в інші пори року. Навіть в зимовий час, вдається нагріти об'єм води 15 – 20% від необхідного.

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		60

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

					141.ЕД-7119.016.БР.В			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 4 Охорона праці	Букв.	Арк.	Листків
Розробив		Терешенко А.М.					61	68
Провірів		Вишневська Ю.П.						
Т. контр.								
Н. Контр.		Головко В.М.						
Затвердив		Будько В.І.						
						НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕД-71		

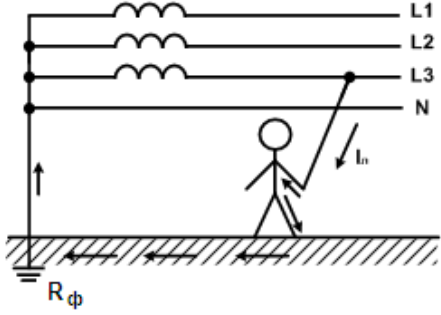
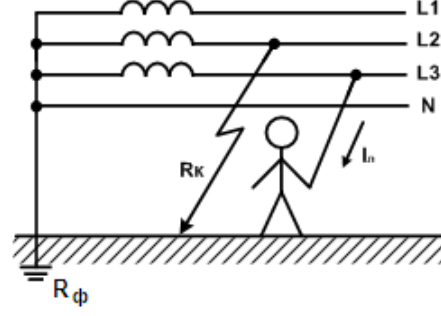
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації обладнання ФС напругою 0,4 кВ

4.1.1 Аналіз небезпечних факторів під час експлуатації обладнання фотоелектричної станції напругою 0,4 кВ.

Основним небезпечним фактором під час експлуатації електричного обладнання ФС напругою 0,4 кВ є електрична напруга, яка зумовлює протікання електричного струму через тіло людини в результаті дотику до струмовідних частин електроустаткування. Розглянемо можливі випадки включення людини в електричне коло. Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.1.

Оскільки фотоелектричні панелі станції розміщуються на даху, тоді небезпечним фактором являється виконання робіт на висоті.

Таблиця 4.1 – Значення струму, що проходить через тіло людини, у випадку дотику до струмовідних частин

Вид включення людини в електричне коло	Схема	Формула, розрахунок $I_{л}, A$
1	2	3
<p>Однофазний прямий дотик до струмовідних частин в мережі напругою 0,4 кВ з глухозаземленою нейтралю в нормальному режимі</p>		$I_{л} = \frac{U_{\phi}}{R_{л}}$ $I_{\ddot{v}} = \frac{220}{1700}$ $I_{\ddot{v}} = 0,129 \text{ (A)}$
<p>Однофазний прямий дотик до струмовідних частин в мережі напругою 0,4 кВ з глухозаземленою нейтралю в аварійному режимі</p>		$I_{л} = \frac{U_{np}}{R_{л}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{U_{л}}{R_{л}}$ $I_{\ddot{v}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{380}{1700}$ $I_{\ddot{v}} = 0,149 \text{ (A)}$

мегомметром випробувальною напругою 1 кВ, при цьому опір кожної установки не може бути менше ніж 500 кОм [13].

Знак безпеки „Обережно! Електрична напруга!” наноситься на корпус інвертора. Літерно-цифрове та кольорове позначення трифазної системи змінного струму:

- шини фази L1 - жовтого кольору
- шини фази L2- зеленого кольору
- шини фази L3 - червоного кольору.
- нейтраль N – повздовжні смуги жовтого і зеленого кольору

Розташування шин системи змінного струму: L1 – L2 – L3 – зверху до низу при вертикальному розташуванні; при горизонтальному, нахиленому, трикутником: L1 – найбільш віддалена, L2 – середня, L3 – найближча для обслуговування.

В аварійному режимі захист працівників ФС забезпечується заземленням електрообладнання.

4.3 Пожежна безпека

При експлуатації фотоелектричних установок напругою 0,4 кВ пожежну небезпеку створюють присутні горючі матеріали, такі як: паперова та полівінілхлоридна ізоляція кабелів, ізоляція електричних апаратів, фарба корпусів електроустаткування.

Причинами пожежі можуть стати: струми короткого замкнення; струмові перенавантаження провідників, кабелів; великий перехідний опір при звуженні шляху протікання струму; несправність устаткування; недотримання робітниками правил пожежної безпеки.

Профілактичні заходи пожежної безпеки:

- підтримання справності захисного відключення установки від мережі.
- дотримання персоналом правил пожежної безпеки.

Для пожежної сигналізації приміняється обладнання охоронної сигналізації УОТС-11, яке працює з димовими і тепловими датчиками.

									Арк.
									64
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В			

Передбачена стаціонарна розводка водяного пожежогасіння з пожежними кранами в шафах, які розміщені на стіні.

Основні засоби пожежогасіння розташовані на спеціальному пожежному щиті: ящик з піском; багор; сокира; лом; лопата; щільна тканина; один вуглекислотний вогнегасник, типу ОХП – 10; один порошковий вогнегасник, типу ОУ – 5.

					141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис		Дата

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВОКИ

В даній бакалаврській роботі було спроектовано систему комплексного енергозабезпечення приватного будинку, що знаходиться в м. Чернігові на основі використання сонячних колекторів та фотоелектричних перетворювачів, а саме спроектовано сонячну електростанцію та геліоколекторну систему.

Перший розділ описує дійсний стан сонячної енергетики в світі та Україні. Розглянуті діючі проекти та перспективи сонячної енергетики. Описано види сонячних фотоелектричних станцій та види фотомодулів, їх переваги та недоліки, розглянуто можливості підвищення коефіцієнта потужності фотомодулів. Продемонстровані типи сонячних колекторів та їх характеристики та описано принцип їх роботи.

В другому розділі спроектовано сонячну електростанцію для потреб будинку. СЕС розміщується на даху будинку під кутом 30° та азимутальним кутом 60° . За розрахунками СЕС складається з 2 стрінгів по 15 ФМ LG360Q1C-A5 та одного інвертора Huawei SUN2000-10KTL-M0. Номінальна потужність СЕС становить 10.8 кВт. Було побудовано 3D модель будинку та порахована затіненість, яка зменшує генерацію станції. За результатами симуляції станції генерує 10.42 МВт*год/рік.

В третьому розділі розраховано геліоколекторну систему. Оптимальним кутом встановлення системи прийнято 45° , для оптимізація приходу сонячної радіації на похилу поверхню в зимовий час та азимутальним кутом 60° . За розрахунками обрано вакуумний сонячний геліоколектор з heat pipe Altek SC-LH3-20, який має високу ефективність та створений для кліматичних умов України. Орано тепловий акумулятор Atmosfera G – 101 об'ємом 100 л, який має електричний нагрівач для компенсації дефіциту сонячної енергії в зимову пору року. Дана система забезпечує 100% потреб в літній час та 15-20% в зимові місяці, що дозволяє значно скоротити використання електричної енергії для підігріву води.

										Арк.
										66
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата	141.ЕД-7119.016.БР.В				

В четвертому розділі була прописана охорона праці для фотоелектричної станції та геліоколекторної системи. Указані шкідливі фактори при експлуатації таких систем. Наведені профілактичні заходи щодо безпечної експлуатації, заходити пожежної безпеки.

						141.ЕД-7119.016.БР.В	Арк.
Зм.	Арк.	№ до	Арк.	Підпис	Дата		67

