

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Електронної та біомедичної інженерії \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв \_\_\_\_\_  
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

ПРОМИСЛОВІ ТА ПОБУТОВІ СИСТЕМИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ  
(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання  
групи МНПм-23-1

\_\_\_\_\_ Ляшенко Д.І. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 176 Мікро- та наносистемна  
техніка \_\_\_\_\_  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма  
Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої  
( повна назва освітньої програми)

Керівник \_\_\_\_\_ Галат О.Б. \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

2025р.

Харківський національний університет радіоелектроніки  
Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 176 Мікро- та наносистемна техніка

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Лященко Дмитру Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи ПРОМИСЛОВІ ТА ПОБУТОВІ СИСТЕМИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

затверджена наказом університету від 06 12 2024 р. № 1284 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 04 01 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

3.1 Сонячна електростанція середньої потужності до 10 кВт.

3.2 Місцезнаходження сонячної електростанції – Харківська область

3.3 Вихідні значення для розрахунку: питома потужність сонячного світла – 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура 25°C.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Зробити огляд аналогів, тобто сонячних елементів, що входять у склад систем побутового та промислового призначення.

4.2 Виявити основні чинники, що впливають на якість та експлуатаційні характеристики фотоелектричних систем.

4.3 Розглянути напрямки підвищення ефективності сонячних фотоелектричних систем.

4.4 Розрахувати підвищення ефективності сонячної батареї у результаті використання систем позиціонування.

4.5 Розглянути питання охолодження сонячних панелей, проаналізувати ефективність цієї методики.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Презентація 16 слайдів \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	06.12.2024	
2	Пошук інформаційних джерел	07.12.24 – 14.12.24	
3	Опрацювання інформаційних	14.12.24 – 20.12.24	
4	Огляд і порівняння розряджених конструкцій пристроїв	20.12.24 – 25.12.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	25.12.24 – 01.01.25	
6	Підготовка презентації	02.01.25	
7	Рецензування, нормоконтроль		
	Перевірка роботи на плагіат		
8	Здача роботи на кафедрі	04.01.2025	

Дата видачі завдання 06 12 2024 р.

Здобувач \_\_\_\_\_

  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Галат О.Б.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 66 стр., 42 рис., 21 табл., 20 джерел

### СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ІНВЕРТОР, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПОВОРОТНА СИСТЕМА, ОХОЛОДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження – конструкція та функціональність сонячних батарей різної потужності, включаючи низько-, середньо- та високо потужні панелі, а також технології їх модернізації.

Мета роботи – підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну шляхом впровадження інноваційних рішень у конструкцію сонячних панелей.

Робота включає: аналіз існуючих типів сонячних панелей, огляд інновацій у матеріалах фотоелектричних елементів, дослідження ефективності альтернативних акумуляторів та інверторів, розробку системи повороту панелей для оптимального захоплення сонячного випромінювання.

Методи дослідження: аналіз технічних характеристик, експериментальні дослідження, моделювання умов експлуатації сонячних панелей у різних кліматичних умовах.

Результати роботи свідчать, що впровадження поворотних механізмів і систем охолодження дозволяє підвищити ефективність використання панелей до 30%, а застосування альтернативних матеріалів може знизити собівартість виробництва панелей.

## ABSTRACT

The explanatory note contains 66 page, 42 figures, 21 tables, 20 sources

SOLAR PANEL, PHOTOELECTRIC CELL, BATTERIE, INVERTER,  
MODERNIZATION, EFFICIENCY, ROTATIONAL SYSTEM, COOLING

The object of the study is the design and functionality of solar panels of various capacities, including low-, medium- and high-power panels, as well as their modernization technologies.

The purpose of the work is to increase the efficiency of converting solar energy into electricity by implementing innovative solutions in the design of solar panels. The work includes: analysis of existing types of solar panels, review of innovations in photovoltaic cell materials, research into the efficiency of alternative batteries and inverters, development of a panel rotation system for optimal capture of solar radiation.

Research methods: analysis of technical characteristics, experimental studies, modeling of operating conditions of solar panels in different climatic conditions.

The results of the work show that the introduction of rotary mechanisms and cooling systems allows to increase the efficiency of use of panels up to 30%, and the use of alternative materials can reduce the cost of production of panels.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНІ ДАННІ ЩОДО ЕЛЕКТОСТАНЦІЙ .....	8
2 КОНСТРУКЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ .....	27
2.1 Сонячні батареї малої потужності.....	27
2.2 Сонячні батареї середньої потужності.....	32
2.3 Сонячні панелі високої потужності.....	39
3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ .....	45
3.1 Системи повороту сонячних батарей.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.2 Охолодження сонячної панелі .....	54
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	64
Додаток А.....	67
Додаток Б.....	68

## ВСТУП

Що таке електроенергетика в Україні? Відповідь на це питання міститься у законодавстві України про електроенергетику, яке свідчить, що «електроенергетика — галузь економіки України, до якої входить комплекс економічних відносин, що виникають у процесі виробництва (зокрема виробництва в режимі комбінованої генерації електричної та теплової енергії), передачі електричної енергії, оперативно-диспетчерського управління в електроенергетиці, збуту та споживання електричної енергії з використанням виробничих та інших майнових об'єктів (зокрема тих, що входять до Єдиної енергетичної системи України), які на праві власності чи іншій, передбаченій законами України, підставі належать суб'єктам електроенергетики чи іншим особам. Електроенергетика є основою функціонування економіки та життєзабезпечення [1].

Що таке електропостачання – це Розділ енергетика та електрифікація міждержавного стандарту ГОСТ 19431–84 свідчить, що енергопостачання (електропостачання) — забезпечення споживачів енергією (електричною енергією).

Мета роботи – підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну шляхом впровадження інноваційних рішень у конструкцію сонячних панелей.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити завдання:

- забезпечення повороту сонячних панелей строго за сонцем з максимальним виробленням електроенергії;
- вплив температури сонячної панелі на вироблення електроенергії;
- запропонувати способи реалізації поставленої мети.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ДАННІ ЩОДО ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

На даний момент у світі переважна більшість електроенергії виробляється за допомогою спалювання природних копалин, таких як природний газ, вугілля, нафта. При спалюванні палива виробляється велика кількість енергії у вигляді тепла. Ця енергія передається воді, унаслідок чого відбувається нагрівання води до високих температур. Під впливом високих температур вода перетворюється на високотемпературну пару, близько 600 градусів за Цельсієм. Ця пара надходить на лопатки парової турбіни, внаслідок чого відбувається обертання крильчатки, що приводить в рух ротор генератора [2], який з'єднаний з паровою турбіною валом. Подібні електростанції називають тепловими.

На першому місці в Україні йдуть атомні електростанції. Принцип роботи практично не відрізняється від теплоелектростанцій, оскільки вироблення електроенергії здійснюється також шляхом передачі енергії тепла воді. Відмінність лише в тому, що в теплоелектростанціях використовується енергія від згоряння природних копалин, а в атомних електростанціях — енергія розпаду радіоактивних речовин [5].

В Україні за період із 2020 по 2021 року, частка електроенергії, виробленої атомними електростанціями, становила 51,2 %, а саме: «АЕС – 76202,2 млн кВт · год зменшення виробництва на 8,2%» [3] від усієї виробленої електроенергії.

На другому місці йдуть в Україні за період із 2020 по 2021 року, частка електроенергії, виробленої теплоелектростанціями, становила 36,2%, а саме: «ТЕС – 44915,1 млн кВт · год (зменшення виробництва на 11,9%)» «ТЕЦ – 10869,9 млн кВт · год (збільшення виробництва на 17,6%)» від усієї виробленої електроенергії [4].

На третьому місці знаходяться гідроелектростанції. Принцип вироблення електроенергії трохи відрізняється від попередніх типів. На гідроелектростанціях вода, потрапляючи на лопаті турбіни, надає руху ротору генератора, що виробляє електроенергію. Щоб вода створювала достатньо зусиль на лопатях турбіни,

необхідно створити штучний перепад висот, зазвичай для цих цілей споруджують греблі.[5]

В Україні за період із 2020 по 2021 року, частка електроенергії, виробленої гідроелектростанціями, становила 4,2%, а саме: «ГЕС – 6521,8 млн кВт · год (зменшення виробництва на 7,6%)» «ГАУС – 1346,8 млн кВт · год (збільшення виробництва на 15,5%)» від усієї виробленої електроенергії [4].

На четвертому місці знаходяться вітроелектростанції. Принцип вироблення електроенергії на вітроелектростанціях практично ідентичний принципу вироблення електроенергії на гідроелектростанціях, з однією лише різницею в тому, що вироблення електроенергії відбувається за рахунок перетворення енергії руху повітряних мас. Рух повітряних мас створює зусилля на лопатях вітрогенератора, змушуючи обертатися ротор генератора, так само, як і вода на гідроелектростанції. Установка вітро–генераторів можлива лише в тих місцях, де є досить велика швидкість вітру, в іншому випадку установка простоюватиме та створюватиме лише збитки, оскільки пристрій має високу вартість і довгий термін окупності. Також головними недоліками є шум під час роботи, що негативно впливає на здоров'я людини, а також неможливість перероблення лопатей через нерентабельність. Їх просто закопують у землю у великих кількостях [6].

В Україні за період із 2020 по 2021 року, частка електроенергії, виробленої вітроелектростанціями, становила 1,4%, а саме: «ВЕС – 2 621,7 млн кВт · год (збільшення виробництва на 64,7%)» від усієї виробленої електроенергії.

На п'ятому місці — сонячні електростанції. Як впливає з назви, сонячні електростанції виробляють електроенергію за рахунок перетворення енергії сонячних променів на електрику за допомогою фотоелектричних елементів. Також сонячну енергію можуть використовувати для нагрівання резервуара з водою, розташованого на висоті від 18 до 24 метрів. В Україні за період із 2020 по 2021 року, частка електроенергії, виробленої сонячними електростанціями, становила 2,2%, а саме: « 3 253,8 млн кВт·год (збільшення виробництва на 42,7%)» від усієї виробленої електроенергії [5].

Для зручності сприйняття числових даних це зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 – Баланс електроенергії в Україні з 2018 до 2021 року, млн кВт·год. Інформація з аналітичних сайтів [1,3,5]

Рік	АЕС, млрд кВт· год	ТЕС і ТЕЦ, млрд кВт· год	ГЕС і ГАЕС, млрд кВт· год	ВЕС, млрд кВт· год	СЕС, млрд кВт· год	Всього, млрд кВт· год
2018	84,6	73,5	12,4	0,8	1,2	172,5
2019	83,2	72,6	13,1	1,1	3,5	175,4
2020	76,2	68,3	10,3	1,9	5,1	166,8
2021	86,2	45,8	10,4	3,6	8,9	156,6

Як було сказано раніше, сонячні електростанції для вироблення електроенергії використовують енергію сонячних променів. На даний момент існує кілька різновидів типів сонячних електростанцій.

Сонячна електростанція баштового типу представлена рис.1.

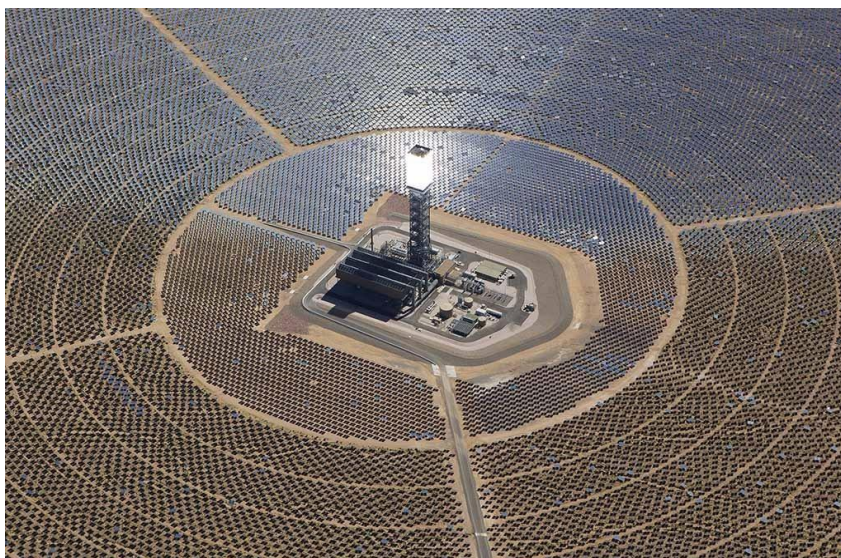


Рисунок 1 – Сонячна електростанція баштового типу

Принцип роботи цієї електростанції досить простий. У центрі електростанції знаходиться вежа, на вершині якої розташована ємність чорного кольору, для найбільшого поглинання сонячної енергії, з водою, а навколо розташовано безліч дзеркал, що відбивають сонячні промені на резервуар. При поглинанні енергії променів вода в резервуарі розігрівається до високих температур, яка перетворюється на пару під високим тиском, що у свою чергу обертає парову турбіну. У результаті обертання турбіни відбувається вироблення електроенергії.

Сонячна електростанція тарілчастого типу представлена на рис.2.

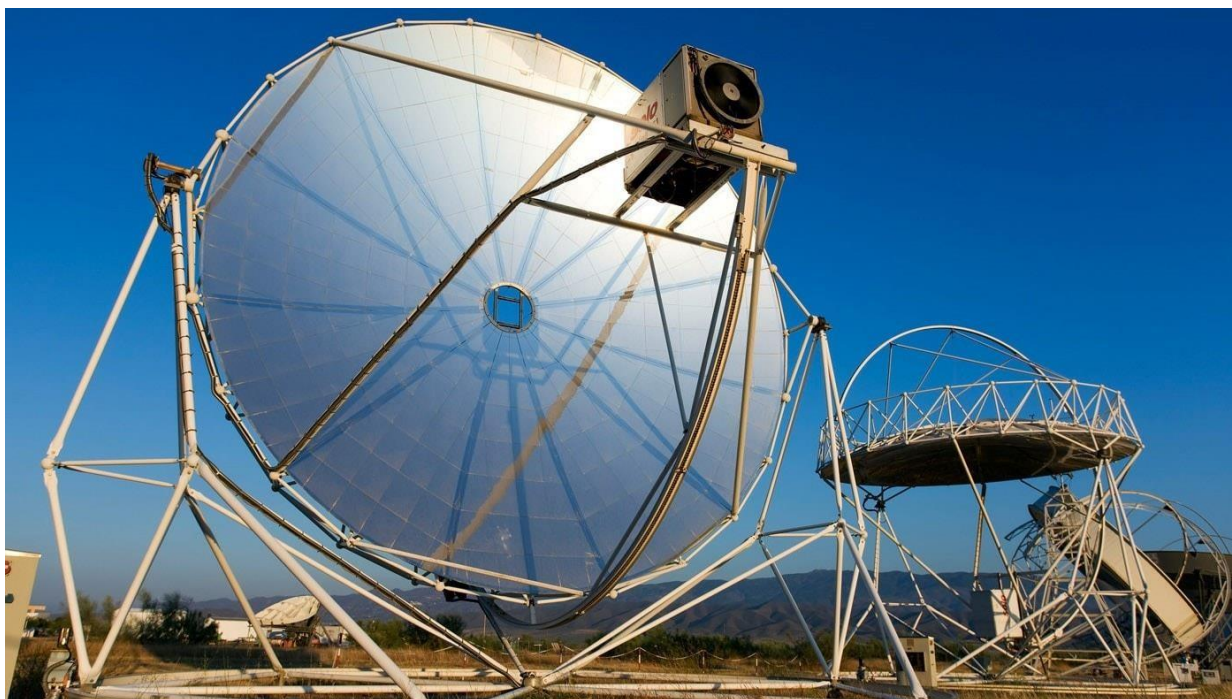


Рисунок 2 – Сонячна електростанція тарілчастого типу

Ця електростанція працює за схожим принципом, як і електростанція баштового типу. Відмінність даних електростанцій полягає лише в тому, що в електростанції тарілчастого типу має на кожній установці приймач з робочим тілом, при випаровуванні якого відбувається обертання парової турбіни та вироблення електроенергії.

Сонячна електростанція на фотоелектричні елементи. Дана електростанція представлена рис.3.



Рисунок 3 – Сонячна електростанція на фотоелектричних елементах

Сонячна електростанція на фотоелектричних елементах працює за принципом прямого перетворення енергії сонячного світла на електричну за допомогою фізико–хімічних процесів.

Існує ще кілька типів сонячних електростанцій, але більша їх частина використовує енергію світла як нагрівач. Однак, у даній випускній кваліфікаційній роботі, ми зупинимося на сонячній електростанції, заснованій на фотоелектричних елементах.

Електростанція на фотоелектричних елементах є найновішою серед решти електростанцій. Першу сонячну електростанцію на базі фотоелектричних елементів було реалізовано компанією ARCO Solar у 1982 році потужністю 1 ГВт.

Розберемо докладніше будову сонячної електростанції:

Ця електростанція складається з:

- сонячних панелей;
- акумуляторних батарей;
- інвертора.

Перше, що ми бачимо при погляді на таку електростанцію – це сонячні панелі. На даний момент близько 85% сонячних панелей виготовляються із кремнію. Зумовлено це тим, що розробка та обкатка цього матеріалу була перспективним вкладенням коштів, оскільки це давало додаткові можливості розвитку мікроелектроніки.

Розглянемо атом кремнію. В атомі кремнію є 14 електронів, які заповнюють 3 енергетичні орбіти атома. Електрони в атомі кремнію розподілені таким чином, що на першій орбіті знаходиться 2 електрони, на другій 8 електронів і на третій 4 електрони. Через те, що електронів на зовнішньому шарі атома кремнію половина, то атом кремнію «намагається» заповнити їх за рахунок електронів інших атомів кремнію, у зв'язку з чим утворюється міцна кристалічна решітка.

Оскільки сам собою чистий кремній є досить поганим провідником, було вирішено додавати в кремній атоми інших елементів. Найбільш відповідним елементом виявили атом фосфору. Фосфор був обраний з умовою, що у його зовнішньої орбіті перебуває 5 електронів. Як результат, третій енергетичний шар атома кремнію був заповнений повністю, а також залишався ще 1 вільний електрон. При попаданні світла дані електрони отримують достатньо енергії для вивільнення. Вивільнені електрони більшою мірою стають носіями вільного заряду. Цей напівпровідник називається n-тип. Також до кремнію додають бір. Бор на своїй зовнішній орбіті має три електрони, що недостатньо для повного заповнення зовнішньої орбіти кремнію, внаслідок чого утворюється позитивно заряджене місце, що називається «дірка», яку прагне заповнити негативно заряджений електрон. Даний тип напівпровідника називається p-тип. На рис. 4 і 5 зображені атоми кремнію, фосфору та бору відповідно.

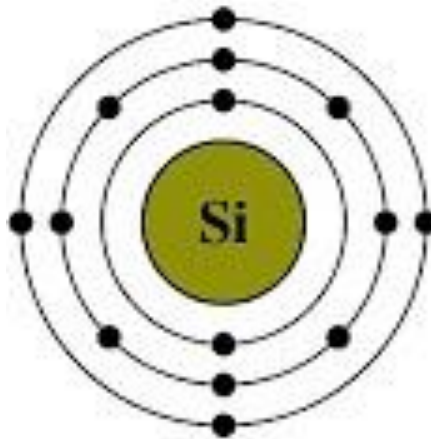


Рисунок 4 – Атом кремнію

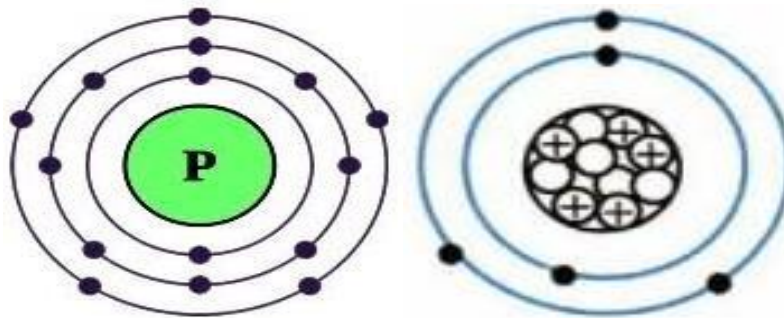


Рисунок 5 – Атоми фосфора та бора

При з'єднанні напівпровідників р-типу та n-типу виходить напівпровідник р-n-типу. При попаданні світла на напівпровідник р-n-типу надходить достатня кількість енергії на вивільненні одного електрона, отже, і на утворенні однієї дірки. У місці з'єднання р-n-типу накопичуються заряди різних знаків та зі збільшенням кількості цих зарядів, якщо прикласти зовнішнє електричне поле, рівновагу порушиться і вільні електрони почнуть заповнювати вільні дірки, тобто електричний струм. Єдиним мінусом кремнієвого напівпровідника полягає в тому, що кремній має досить високий коефіцієнт відбиття, внаслідок чого частина світла буде просто відбиватися. Для вирішення цієї проблеми фотоелектричні поверхні покривають спеціальним складом, що знижує коефіцієнт відображення.

Також варто зазначити, що для захисту від вологи та зовнішнього сміття фотоелектричні елементи додатково покривають захисним склом. За різними даними коефіцієнт корисної дії панелей становить від 12 до 18%, рідко до 30–40%. Пов'язано це з тим, що переважно використовуються дві технології зі створення сонячних батарей. В одній використовується монокристалічний кремній, а в іншій мультикристалічний кремній. Різниця у виробництві виявляється у грошовому еквіваленті. Варто зазначити, що у монокристалічного кремнію коефіцієнт корисної дії вищий і дорівнює приблизно від 22% до 26%.

Сонячна електростанція на основі фотоелектричних елементів, як було зазначено вище, була реалізована в 1982 році. Фотоелектричні елементи даної електростанції були зроблені на основі кремнію, оскільки на той час активно відбувалася комп'ютеризація, технологія якої перетиналася із сонячною енергетикою та країнам виробників було вигідно вкладати кошти у цю галузь.

Під час вивчення іноземних джерел було виявлено кілька статей, які пропонували змінити підхід до виготовлення фотоелектричних елементів.

У статті [7], представлений оновлений склад для фотоелектричного елемента, представлений на рис.б.

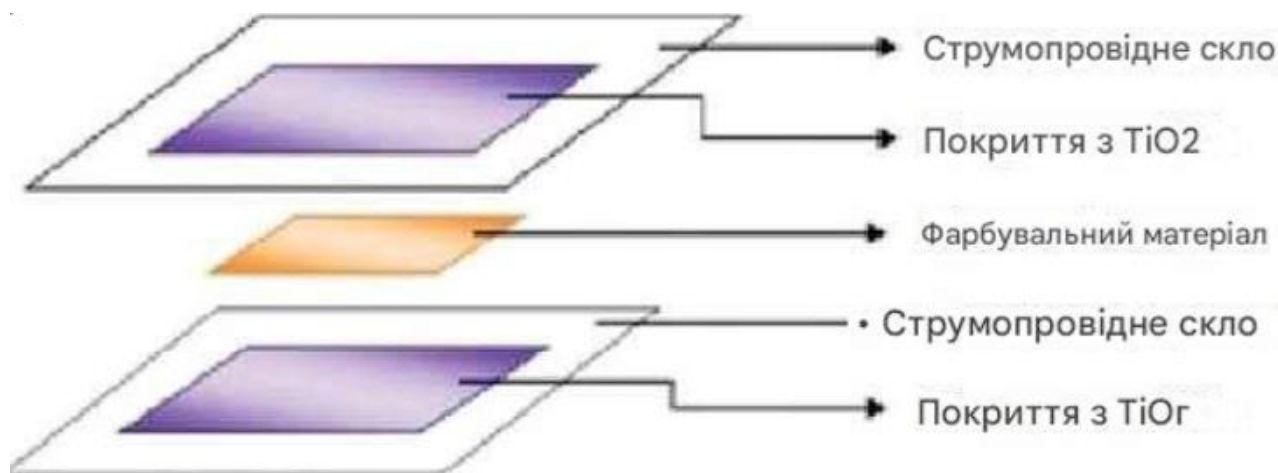


Рисунок 6 – Оновлений склад фотоелектричного елемента

У таблиці 2 представлені матеріали для створення фотоелектричного елемента

Таблиця 2 – Елементи та матеріали що потрібні для створення компонентів

Компонент	Склад	Кількість
Фотоанод	Провідне скло	4 (2,5 × 2,5 см)
	TiO <sub>2</sub> , порошок	500 г
	Барвник для просочення	100 мл
Електроліт	Триодидна пара	125 мл
Катод	Прозорий провідний електрод	4
	Етанол	500 мл
	Оцтова кислота	500 мл
	Графіт	За необхідністю
Сенсибілізатори	Барвник з буряка	100 мл
Додаткове обладнання	Термометр	1
	Мультиметр	1
	Зажими для проводів	2
	Альбедометр	1
	Пірометр	1

Як видно з рисунку 6 та таблиці 2 у складі дійсно присутні органічні речовини замість звичного кремнію.

Після виготовлення фотоелектричного елемента за експериментальною технологією було проведено досліди. На рис.7 зображено графік зміни сонячного випромінювання протягом дня щогодини, а також зміна температури повітря

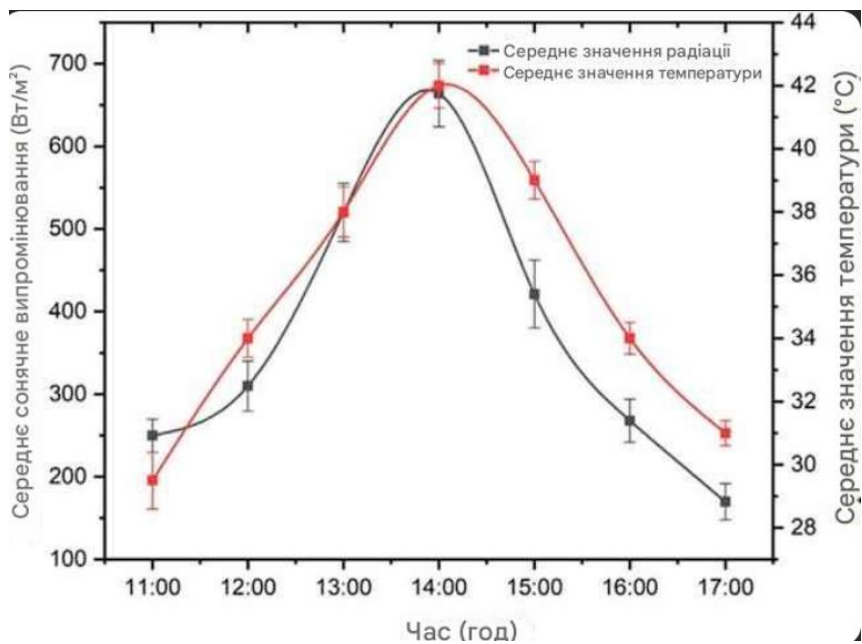


Рисунок 7 – Зміна сонячного випромінювання та температури протягом дня

На рис.8 показано зміну напруги та сили струму протягом дня

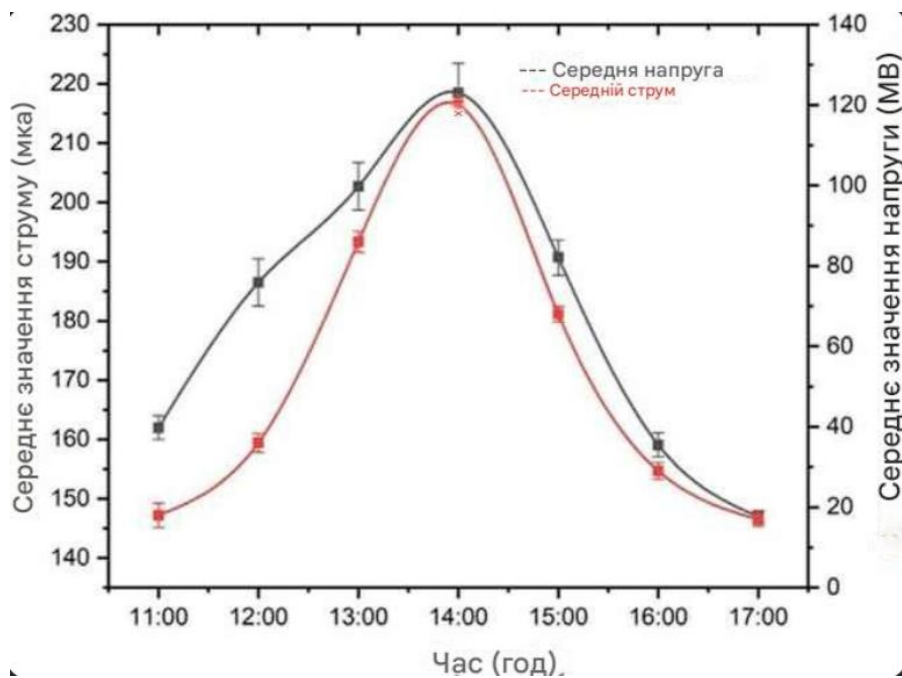


Рисунок 8 – Зміна напруги та сили струму на зразку

На рис.9 зображено графік потужності, що виробляється за допомогою експериментального зразка.

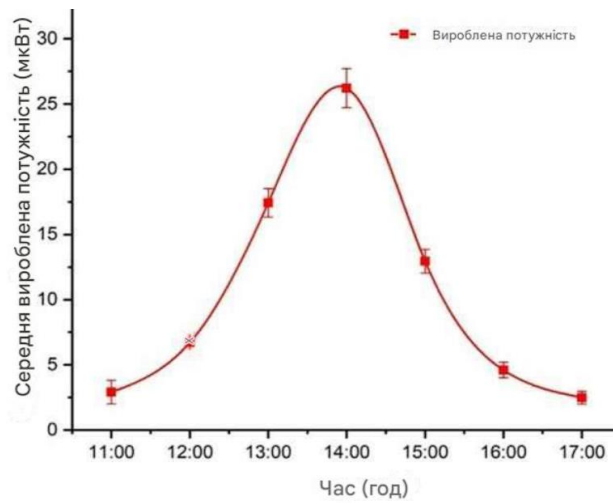


Рисунок 9 – Вироблена потужність протягом дня

Як видно з графіків, значення сили струму, напруги і потужності, що виробляється, на даний момент невелике, оскільки дана технологія є досить новою.

У статті [7] заявляється, що за сприятливого результату термін окупності може становити майже 1,5 року.

У статті йдеться, що до практичних застосувань даного дослідження можна віднести:

- органічний сонячний елемент на основі *Beta vulgaris*, сенсibilізований барвником, є новим та інноваційним для вироблення електроенергії та краще кремнієвого неорганічного сонячного елемента, оскільки кремнієві сонячні елементи мають пристойну ефективність, але їх відходи не піддаються розкладанню, тобто. вони залишаються в металевій формі та викликають забруднення ґрунту (при скиданні), забруднення повітря (при спалюванні), забруднення води (при скиданні в якийсь потік);

- це екологічне та чисте джерело енергії, і споживачі можуть

використовувати його замість традиційних джерел енергії;

– ці сонячні елементи легкі, гнучкі, термостійкі та мають низьку собівартість виробництва.

У іншій статті представлена розробка гнучких фотоелектричних елементів для космічної промисловості [8]. На рис.10 показано залежність ефективності різних шарів батареї від довжини електромагнітної хвилі.

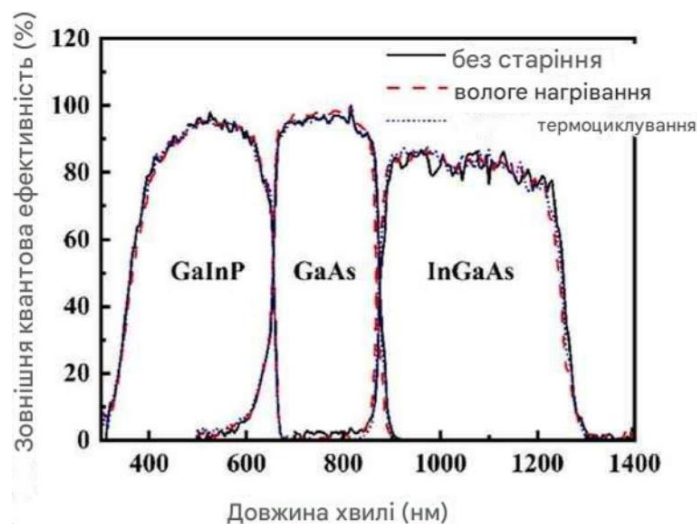


Рисунок 10 – Криві зовнішньої квантової ефективності гнучких сонячних елементів GaInP/GaAs/InGaAs без старіння та після випробувань на вологе нагрівання та термоцикування

Більш детальніші значення були внесені у таблицю 4.

Таблиця 4 – Щільність струму короткого замикання кожного елемента

Сонячні елементи	$I_{SC-GaInP}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	$I_{SC-GaAs}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	$I_{SC-InGaAs}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )
Без старіння	14,92	15,11	13,98
Вологе нагрівання	15,01	15,29	13,96
Термоцикування	15,01	15,16	13,85

Підсумковими результатами цієї роботи стали такі висновки:

- продуктивність тонкоплівкових сонячних елементів практично не знизилася після випробувань, які показали, що пристрої мають вологостійкість і довговічність при термічних навантаженнях;

- результати тесту зовнішньої квантової ефективності також показали, що випробування на старіння не вплинули на оптоелектронні характеристики сонячних елементів. В експерименті суттєве збільшення коефіцієнта ідеальності, пов'язане з механізмом рекомбінації, продемонструвало запровадження більшої кількості центрів рекомбінації під час випробувань на старіння, що призвело до невеликого зниження показання  $U_{xx}$ .

Результати експериментів довели, що не інкапсульовані гнучкі сонячні елементи мають здатність протистояти суворим умовам навколишнього середовища, а простий технологічний процес виготовлення гнучких сонячних елементів відрізняється винятковою надійністю. У найближчому майбутньому стабільність інкапсульованого гнучкого сонячного елемента може бути додатково вивчена, щоб перевірити вплив процесу інкапсульювання на сонячні елементи у тих самих суворих умовах[8].

Поговоримо про те, що запасає вироблену електроенергію сонячних панелей, а саме акумуляторні батареї.

Акумуляторні батареї можна розділити на три основні види:

- свинцево–кислотні;
- лужні;
- літій–іонні.

Розглянемо кожен вид окремо.

Найбільш старими, на вигляд виконання, були свинцево–кислотні акумулятори. Їх перший винахід був у 1800 році італійським ученим Алесандро Вольта. Починаючи з моменту появи і до сьогодні, дані акумулятори практично не змінилися. У ролі електроліту в батареях використовується сірчана кислота, а як електроди – свинець і діоксид свинцю. Існують різні типи виконання таких батарей. На даний момент найпоширенішим типом батарей є автомобільні

аккумуляторні батареї. Дані батареї відмінно віддають високі струми за короткий період часу, до мінусів можна віднести те, що даний вид батарей не переносить глибоких розрядів, а також слід уникати перезаряду батареї, оскільки при перезаряді в результаті фізико–хімічної реакції утворюються кисень і водень, що у великих кількостях може спричинити вибух[9]. На рис.11 представлений автомобільний аккумулятор.

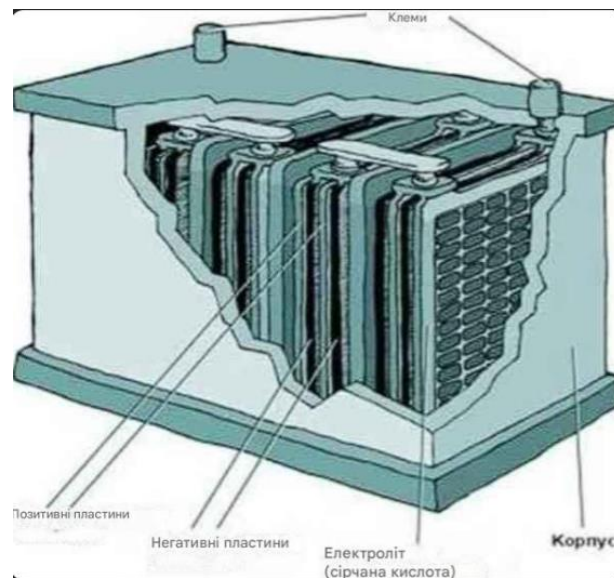


Рисунок 11 – Автомобільний аккумулятор

Розвитком цього типу аккумуляторів є поява GEL–типу аккумуляторів. Основною відмінністю від звичайних аккумуляторів є лише те, що електроліт є не рідиною, а желеподібною речовиною, що нагадує гель, звідси й назва – гелієві аккумуляторні батареї.

Існують аккумуляторні батареї, всередині яких простір між пластинами заповнений скловолокном, просоченим сірчаною кислотою. Дані аккумулятори мають додаткову аббревіатуру AGM, що розшифровується як Absorbent Glass Mat. Цей тип батарей зазвичай встановлюється в джерелах безперебійного живлення, тобто в місцях, де не потрібна постійна робота під навантаженням.

До переваг цього типу виконання аккумуляторів можна віднести те, що при деформації корпусу відсутня можливість виплескування електроліту.

Акумуляторні лужні батареї. За своєю будовою лужні акумулятори практично не відрізняються від свинцево–кислотних. Різниця між ними лише в тому, що у лужних акумуляторах використовуються нікелеві або залізні пластини, а роль електроліту виконує їдкий калій або їдкий натрій. Як сказано на сайті виробника область застосування акумуляторних батарей широка і різноманітна. Він є джерелом енергії для роботи транспорту (трамваї, тролейбуси, електрокари), різної спецтехніки, вантажного транспорту (автовізки, навантажувачі, штабелер), шахтних електричних апаратів (тягачі, комбайни, дрезини та інші), сонячних електростанцій, побутових пристроїв[10]. До мінусів лужних акумуляторів можна віднести те, що дані акумулятори неможливо заряджати струмами малої потужності, також даний вид акумуляторів потребує спеціальних зарядних пристроїв, оскільки неякісні зарядні пристрої можуть знизити максимальну кількість заряду, що накопичується.

Літій–іонні акумулятори. У всіх сучасних цифрових пристроях використовуються ці акумулятори. В основі їх роботи лежить літій–залізно–фосфатна реакція. На рис. 13 показаний приклад циліндричного літій–іонного акумулятора.



Рисунок 13 – Літій–іонний акумулятор циліндричного виконання

Як сказано на сайті виробника «принцип дії літій-іонного акумулятора полягає у створенні необхідних умов для переміщення іонів літію між катодом та анодом:

–при подачі електроди напруги іони літію відриваються від катода, переходять через сепаратор до графітового анода і вбудовуються в його молекулярну структуру. В результаті протікає реакція окиснення, і акумулятор заряджається.

–при подачі навантаження іони літію переміщуються до катода. Вуглецева пластинка на мідній фользі стає мінусом, а похідні літію на алюмінію – плюсом.[11]

На рис. 14 представлено будову літій-іонного акумулятора.

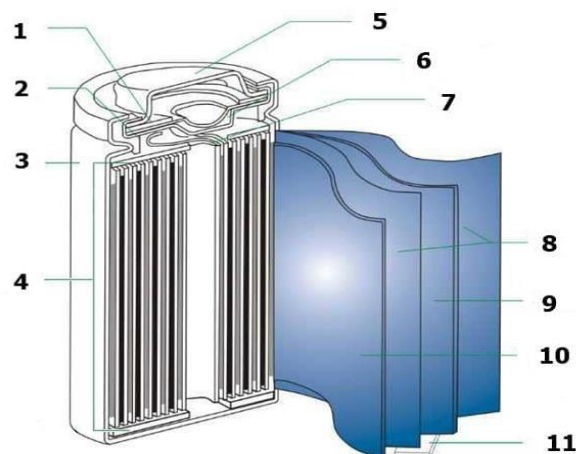


Рисунок 14 – Будова літій-іонного акумулятора

На рис.14 знаходиться: 1 запобіжник, 2 – прокладка, 3 корпус, 4 ізолятори, 5 позитивний висновок, 6 клапан аварійного скидання тиску, 7 струмознімач анода, 8 іоно-провідний сепаратор, 9 негативний електрод, 10 позитивний електрод, 11 негативний вихід.

Мінусами даних акумуляторних батарей є їх висока вартість, пожежа- та вибухонебезпечність, а також невеликий термін зберігання близько трьох років.

Частота електромережі України дорівнює 50Гц. Необхідно відзначити

також, що дана частота не завжди є такою, не тільки через аварії, а також це пов'язано із загальною системою електропостачання Україна, оскільки харчування надходить не тільки в будинки, а й на енергетично навантажені підприємства, де використовуються різні типи перетворення енергії, що позначається як на напрузі, а й у частоті. Так, за ГОСТ 32144–2013 нормою відхилення частоти є «відхилення частоти в синхронізованих системах електропостачання не повинно перевищувати  $\pm 0,2$  Гц протягом 95% часу інтервалу за один тиждень і  $\pm 0,4$  Гц протягом 100% часу інтервалу за тиждень [13].

Інвертор – це пристрій, який дозволяє перетворити електричну енергію постійної напруги на змінну.

Існують два основних типи інверторів:

- незалежні автономні інвертори (AI);
- залежні інвертори.

Основні відмінності цих видів інверторів полягає у їхньому призначенні. Як сказано в підручнику «залежний інвертор працює за наявності у його вихідному ланцюзі джерела змінної напруги, який задає форму, частоту та величину напруги утвореної ним мережі змінної напруги». Приклад використання цього виду інвертора можна побачити під час передачі електроенергії між системами [12]. У такому прикладі, змінна напруга передавальної мережі випрямляється, після лінії постійної напруги передається на даний інвертор, де воно перетворюється на змінну напругу необхідної частоти. Передача здійснюється за допомогою прямої напруги у зв'язку з тим, що можливе падіння частини під час самої передачі та утримання необхідного рівня частоти буде дорожче, ніж передача прямої напруги. Таким чином, залежний інвертор збільшує кількість реактивної енергії приймаючу мережу.

Автономний інвертор у свою чергу має можливість перетворювати постійну напругу на змінну для одиничного електроприладу.

Також Томашевський зазначає, що класифікація AI проводиться за різними ознаками, серед яких можна виділити такі:

–за видом схем включення керованих приладів (напівмістові, бруківки, із середньою точкою трансформатора та ін.);

–за принципом комутації (вимикання) керованих приладів (індивідуальна, пофазна, групова, загальна; природна і примусова; паралельна, послідовна, послідовно–паралельна; при нульовому значенні струму та напруги та ін.);

–за принципом управління ключами – з незалежним або із самозбудженням;

–за типом використовуваних приладів з напівкерованими приладами (ООТ); з повністю керованими приладами (дво–операційний тиристор (ДОТ), IGBT, MOSFET та ін.);

–за характером протікають у них електромагнітних процесів – автономні інвертори струму;

–за видом перехідного процесу в ланцюзі навантаження (ланцюга змінного струму) – аперіодичні та коливальні [14].

Інвертори також дозволяють дотримуватись необхідної частоти.

Висновки за першим розділом.

За даними балансу електроенергії в ЄЕС України кількість вироблюваної електроенергії з допомогою сонячних електростанцій постійно підвищувалося, у результаті можна дійти невтішного висновку, що Україна активно займається впровадженням сонячних електростанцій у промислових масштабах [5,13].

При розгляді статей щодо збільшення коефіцієнта корисної дії сонячних батарей, а також використання інших матеріалів для створення фотоелектричних елементів було виявлено, що більшість досліджень спрямована не на покращення вже випущених сонячних батарей, а на створення абсолютно нових, які будуть мати додаткові можливості.

На даний момент досліджень як накопичувач енергії вирішено відмовитися від використання літій–іонних акумуляторних батарей, оскільки сьогодні літій досить дорогий метал. Акумуляторні лужні батареї також не придатні для використання. Свинцево–кислотні акумуляторні батареї на даний момент є пріоритетним вибором. У зв'язку з цим активно вивчаються альтернативні технології накопичення енергії, які могли б забезпечити більш високу

ефективність, безпеку та триваліший термін служби[15]. Серед таких технологій особливий інтерес викликають системи на основі твердотільних акумуляторів, що використовують твердий електроліт замість рідкого, а також батареї, які замінюють дорогий літій на більш доступні елементи, як-от натрій. У майбутньому такі рішення можуть стати ефективною заміною існуючим технологіям накопичення енергії, сприяючи розвитку фотоелектричних систем і їх більш широкому впровадженню.

Окрім цього, розглядаються інноваційні підходи, зокрема використання суперконденсаторів, які здатні швидко заряджатися і розряджатися, а також систем зберігання енергії на основі гідравлічних, термічних або інших механічних методів. У майбутньому такі рішення можуть стати ключовими в інтеграції відновлюваних джерел енергії в глобальну енергетичну систему, сприяючи підвищенню ефективності фотоелектричних систем і їх широкому впровадженню у різних галузях економіки.

## 2 КОНСТРУКЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

### 2.1 Сонячні батареї малої потужності

Оскільки дана робота пов'язана з модернізацією сонячних батарей, необхідно розглянути різні конструкції вже наявних сонячних батарей за потужністю, а саме:

- малої потужності до 100 Вт;
- середньої потужності до 1000 Вт;
- великої потужності понад 1000 Вт.

На рисунку 15 зображені різні види сонячних батарей і їх можливі варіанти реалізації.



Рисунок 15 – Різні сонячні батареї

Як ми бачимо на рисунку, сонячні батареї мають різні види виконання, залежно від поставлених завдань. Нижче розглянемо кожен варіант окремо.

Даний тип сонячних батарей є в різних варіаціях за потужністю, що видається. Наприклад розглянемо сонячні батареї на 6Вт і 60 Вт. На рис.16 представлена сонячна батарея потужністю 6 Вт.



Рисунок 16 – Сонячна батарея потужністю 6 Вт

На рисунку 17 представлений наочний приклад порівняння розмірів сонячної батареї та середнього смартфона.



Рисунок 17 – Наглядний приклад розміру сонячної батареї зі смартфоном

Зарядне пристрій CcLamp CL-680 потужністю 6 Вт – це легка та зручна туристична сонячна панель для туризму та аксесуари для підзарядки в похідних умовах смартфонів та інших гаджетів з невисоким споживаним струмом.

Розміри цієї сонячної батареї також можна переглянути на сайті виробника, а також у паспорті пристрою. Для зручності сприйняття інформації технічні характеристики CcLamp CL-680 було перенесено до таблиці 5 [16].

Таблиця 5 – Технічні характеристики CcLamp CL–680[16]

Потужність	8 Вт
$V_{\text{вих}}$	6 В
$I_{\text{вих}}$ (макс.)	1330 мА
Габарити	280x190x25 мм
Маса	460 г
Тип елементів	Монокристалічний

Судячи з технічних характеристик даної сонячної батареї видно, що у розмірах вона перевищує розміри аркуша формату А4, і навіть досить тонка» Розглянемо сонячну батарею на 60 Вт.

На рис.18 представлена сонячна батарея потужністю 60 Вт.

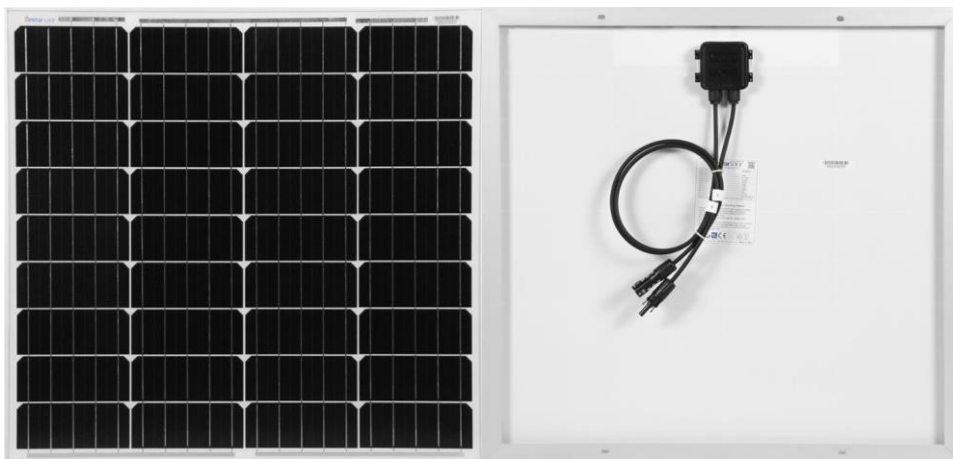


Рисунок 18 – Сонячна батарея Risen Solar 60Вт

На сайті виробника Risen Solar RSM60M є одним з найпопулярніших варіантів для невеликих сонячних електростанцій, завдяки їх надійності та сумісності з усіма основними компонентами сонячних систем та більшістю силової електроніки. Монокристалічні сонячні батареї 60Вт ідеально підходять для встановлення на даху дачного будиночка, кемпера, яхти або легко взяти з собою у туристичний похід у багажнику автомобіля».

Також у виробника є готове рішення, яке включає наявність сонячної панелі на 60 Вт, акумулятора, контролера заряду і декількох проводів, з метою запасання виробленої електроенергії в акумулятор для подальшого використання. Весь комплект зображено рис.19 [17].



Рисунок 19 – Готове рішення від виробника

Слід зазначити, що ця сонячна панель, що використовується в готовому рішенні, створена за технологією з використанням монокристалічних ґрат.

## 2.2 Сонячні батареї середньої потужності

Сонячні батареї від 100 Вт до 1000 Вт мають безліч варіацій, внаслідок чого є велика кількість їх застосувань у житті. Найпростішими прикладами використання цих сонячних батарей є світлофори, дачні будиночки, а також від них є можливість запитувати повноцінніші будинки з усіма необхідними благами.

Для прикладу спочатку розглянемо конструкцію світлофора із сонячною батареєю. Автономна сонячна станція SN LTO є сонячною панеллю, в корпус якої інтегровані акумуляторна батарея, зібрана на базі літій–титанатних осередків Toshiba Scib, і контролер заряду із системою управління акумуляторною збіркою (BMS)[18]. Вся електроніка знаходиться усередині сонячної панелі і не потребує окремого монтажу. Завдяки цьому немає потреби у додаткових розподільних щитах і корпусах. На рис.20 представлений автономний сонячний світлофор T.7 SN LTO.



Рисунок 20 – Автономний сонячний світлофор T.7 SN LTO

За інформацією з сайту виробника, ці світлофори можуть оснащуватися різними типами акумуляторів, сонячними станціями з різними енергетичними потужностями, а також діаметром світлодіодного світлофора. У таблицях 6 та 7 представлені порівняння технічних характеристик акумуляторів та сонячних станцій для вище наведених використань.

Таблиця 6 – Порівняльна характеристика технологій заряду АКБ

	AGM	GEL	LTO
Температурний режим експлуатації	-20°C – +60°C	-20°C – +60°C	-40°C – +60°C
Температурний режим заряду	-10°C – +60°C	-10°C – +60°C	-40°C – +60°C
Кількість циклів	300 шт	600 шт	15000 шт
Безпечна глибина розряду	30%	50%	80%
Максимальний струм заряду	0,5С	0,5С	10С
Час повного розряду	6–8 годин	6–8 годин	1 година
Захист від перерозряду/перезарядження	ні	ні	вбудована
Система балансування осередків	ні	ні	є
Корисна ємність	60%	80%	95%
Падіння ємності при зниженні температури	значно	значно	не значно

Таблиця 7 – Технічні характеристики сонячної станції SN–LTO

	100Вт/23Ач	150Вт/46Ач
Робоча напруга	12 В	12 В
Потужність сонячної панелі	100 Вт	150 Вт
Місткість акумуляторної батареї	23 Ач	46 Ач
Кількість світлофорів	ю 2 шт	ю 4 шт
Частота миготіння світлофора	1 Гц	1 Гц
Вага	17 кг	25 кг
Діаметр опори	56–89 мм	76–130 мм
Температура експлуатації	-40°C – +60°C	-40°C – +60°C
Ступінь захисту	IP 65	IP 65

Дані взяті із сайту виробника [19].

На рисунку 21 представлено будову електричної складової світлодіодного світлофора Т.7 SN LTO [20].



Рисунок 21 – Будова Т.7 SN LTO

Виходячи з даних таблиці 6 видно, що акумуляторні батареї типу LTO є пріоритетними для установки, оскільки мають найбільший запас за всіма параметрами, починаючи з роботи температурного режиму та закінчуючи корисною ємністю.

Найбільшою за потужністю сонячною батареєю, що складається з одного модуля, є Delta BST 540–72 М НС. На рис.22 продемонстровано дану панель.



Рисунок 22 – Сонячна батарея TRINA SOLAR Vertex–  
TSM–DE19M 540

Електричні параметри даної сонячної батареї зведені до таблиці 8 для зручного використання [17].

Таблиця 8 – Електричні параметри TRINA SOLAR Vertex–TSM–DE19M 540

Пікова електрична потужність	540 Вт
Номінальна напруга	24 В
Напруга в точці максимальної потужності	42 В
Струм у точці максимальної потужності	17,33 А
Струм короткого замикання	18,41 А
Напруга холостого ходу	37,5 В
Максимальний номінал запобіжника	25 А
ККД елемента ФЕМ	20,3%
Практичний ККД модуля	21,11%

Дані з таблиці 8 вірні при щільності світла  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , повітряної маси  $\text{AM}=1,5$ , номінальної температури  $25^\circ\text{C}$ .

Також на сайті виробника було виявлено готове рішення для дачного будинку. У таблиці 9 буде вказано обране обладнання.

Таблиця 9 – Готове рішення для дачного будинку

Найменування	Марка
Сонячна панель	Longi Solar LR6–60PE–300M– 3шт
Інвертор	MUST PV18–3024VPM3кВ
АКБ	MUST LiFePO4 200Ah

Оскільки на сайті виробника відсутня будь-яка інформація щодо даної специфікації обраного обладнання, ми можемо спробувати замінити схожим обладнанням.

Сонячні панелі виберемо Longi Solar у кількості трьох штук. Вибір даних сонячних панелей здійснювався в першу чергу за потужністю, а це єдиний варіант близький до 300 Вт. На рисунку 23 представлена вибрана сонячна батарея.



Рисунок 23 – Longi Solar LR6–60PE–300M

Таблиця 10 – Технічні характеристики Longi Solar

Бренд	Longi Solar
Гарантія	10 років
Номінальна напруга	60 В
Струм при пікової потужності, $I_{mp}$	9,58 А
Струм короткого замикання, $I_{sc}$	10,14 А
Потужність номінальна	320 Вт
Технологія сонячної батареї	Монокристалічна
Напруга максимальна, $V_{mp}$	33,4 В
Напруга холостого ходу, $V_{oc}$	41 В
Кількість осередків	60

Інвертор також відсутній, замість нього виберемо MUST PV18 3024VPM3кВ24V 60А MPPT. Цей інвертор вибирався за потужністю, що видається. Також, як сказано виробником, до цього інвертора можна підключити сонячні батареї загальною потужністю до 1500 Вт і акумулятор на 24 В. На рисунку 24 зображено вибраний інвертор [20].



Рисунок 24 – MUST PV18 3024VPM3кВ24V

Технічні характеристики MUST PV18 3024VPM3кВ24V зазначено у таблиці 11.

Таблиця 11 – Технічні характеристики MUST PV18 3024VPM3кВ24V MPPT

Номінальна напруга інвертора,	24
Номінальна потужність інвертора, кВт	3
Діапазон частот, Гц	50/60 (автовизначення)
Напруга захисту від перенапруги,	33
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
Вихідна напруга	230
Пікова потужність інвертора, кВт	6 (протягом 5с)
Напруга підтримуючого заряду,	27
Тип контролера заряду	MPPT

Габаритні розміри даного інвертора становлять 285x334x100 мм.

Акумуляторна батарея є, однак, назва батареї змінено на MUST LiFePO4 200Ah. На рис.25 представлена ця батарея[20].



Рисунок 25 – MUST LiFePO4 200Ah

Для спрощення сприйняття інформації таблицю 12 перенесені технічні характеристики акумуляторної батареї MUST LiFePO4 200Ah.

Таблиця 12 – Технічні характеристики MUST LiFePO4 200Ah

Бренд	MUST LiFePO4 200Ah
Гарантія	4 роки
Тип	Super Lead–Carbon Batteries
Термін служби	15 років
Номінальна ємність АКБ, Ач	200

Маса цієї акумуляторної батареї становить 72 кг

Зі старою специфікацією обраного обладнання, виробник заявляв, що максимальне розрахункове вироблення електроенергії за допомогою сонця складе приблизно 4,3 кВт · год [18].

### 2.3 Сонячні панелі високої потужності

Сонячні батареї потужністю понад 1 кВт в загальному доступі не були виявлені. Пов'язано це спостереження з тим, що швидше за все виробництво такого типу сонячних панелей не затребуване споживачем, економічно не вигідне в плані виробництва, а також наявність високої складності при виготовленні. Можливо, подібні сонячні панелі виробляються у приватному порядку. Однак, існують комплекси з виробленням електроенергії за допомогою сонця за допомогою декількох модулів. Кількість подібних комплексів досить велика, для оптимізації дослідження ми розглянемо деякі з них, а саме:

- сонячна електростанція на 7,2 кВт;
- сонячна електростанція на 100 кВт.

Сонячна електростанція Hybrid 7200 MPPT 80A потужністю 7,2 кВт представлена на рис.26.

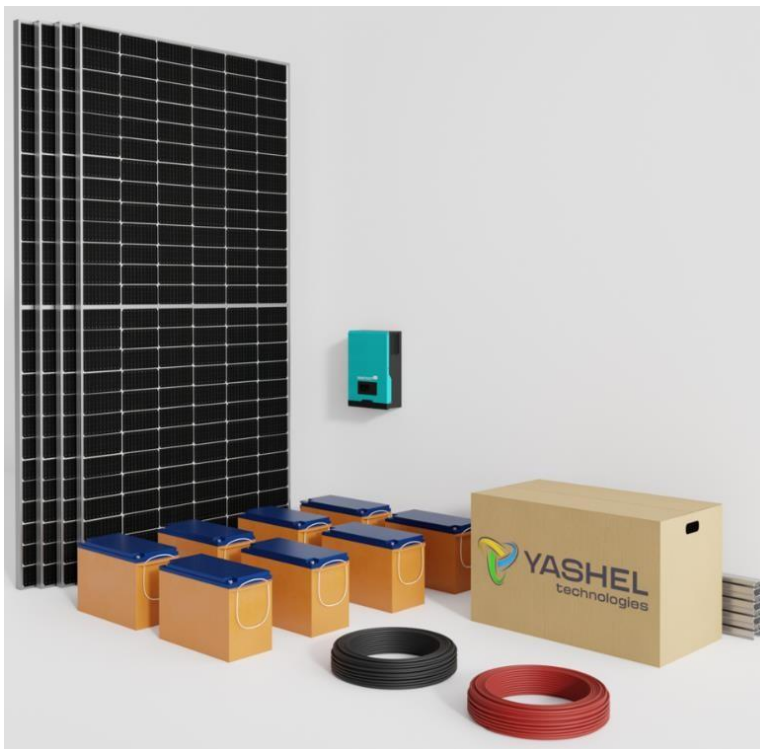


Рисунок 26 – Hybrid 7200 MPPT 80A

Технічні характеристики даної сонячної електростанції зведено до таблиці 13.

Таблиця 13 – Технічні характеристики Hybrid 7200 MPPT 80A

Тип АКБ	GEL
Час автономної роботи	Тривалість роботи навантаження 100Вт при глибині розряду АКБ трохи більше 75% – 72 годин
Напруга постійного струму	48 В
Пікова потужність інвертора	14,4 кВт (протягом 5с)
Вихідна напруга	220 В
Форма вихідної напруги	Синусоїдальна
Номінальна потужність інвертора	7,2 кВт
Потужність сонячних панелей	7200 Вт
Місткість акумулятора	200 А · год

Ця сонячна електростанція є гібридною, це означає, що ця електростанція працює і від базової електричної мережі, і від сонячних батарей». На рисунку 27 представлено схему роботи даної електростанції.

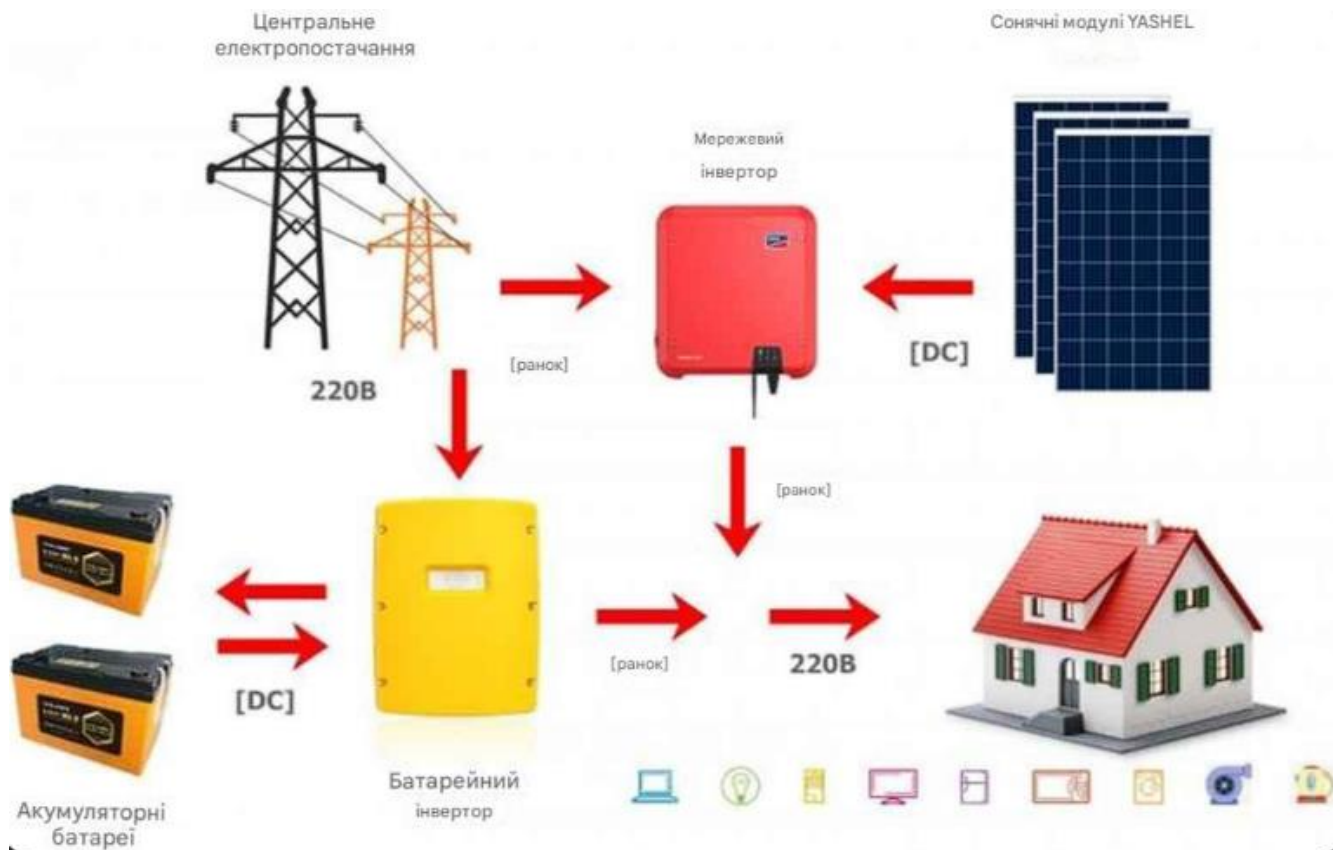


Рисунок 27 – Схема роботи Hybrid 7200 MPPT 80A

Як видно зі схеми роботи, ця гібридна електростанція працює переважно від сонячних батарей, з можливістю запасання надлишку електроенергії в акумуляторних гелієвих батареях. Якщо енергії від сонячних батарей, а також акумуляторів не вистачає, цей недолік буде компенсований завдяки сторонньому електропостачанню.

Існує на ринку і потужніші сонячні електростанції.

Розглянемо GRID 100кВт. На рисунку 28 показана дана електростанція.



Рисунок 28 – GRID 100кВт

Ця сонячна електростанція позиціонується як мережева. На відміну від гібридної сонячної електростанції у цьому, що у цьому комплексі виключені акумуляторні батареї.

У таблиці 14 зведено технічні характеристики GRID 100 кВт.

Таблица 14 – Технические характеристики GRID 100кВт

Тип системи	Мережева
Кількість фаз	3
Тип сонячних панелей	Монокристалічні
Кількість інверторів	2
Гарантія	5 років
Розрахунковий період користування	Цілий рік
Номінальна потужність інвертора	50 кВт
Потужність сонячних панелей	100 кВт

Оскільки змінено комплекцію цієї сонячної електростанції на відміну Hybrid 7200 MPPT 80A, то змінено також і схему роботи. На рисунку 29 представлено схему роботи GRID 100кВт.

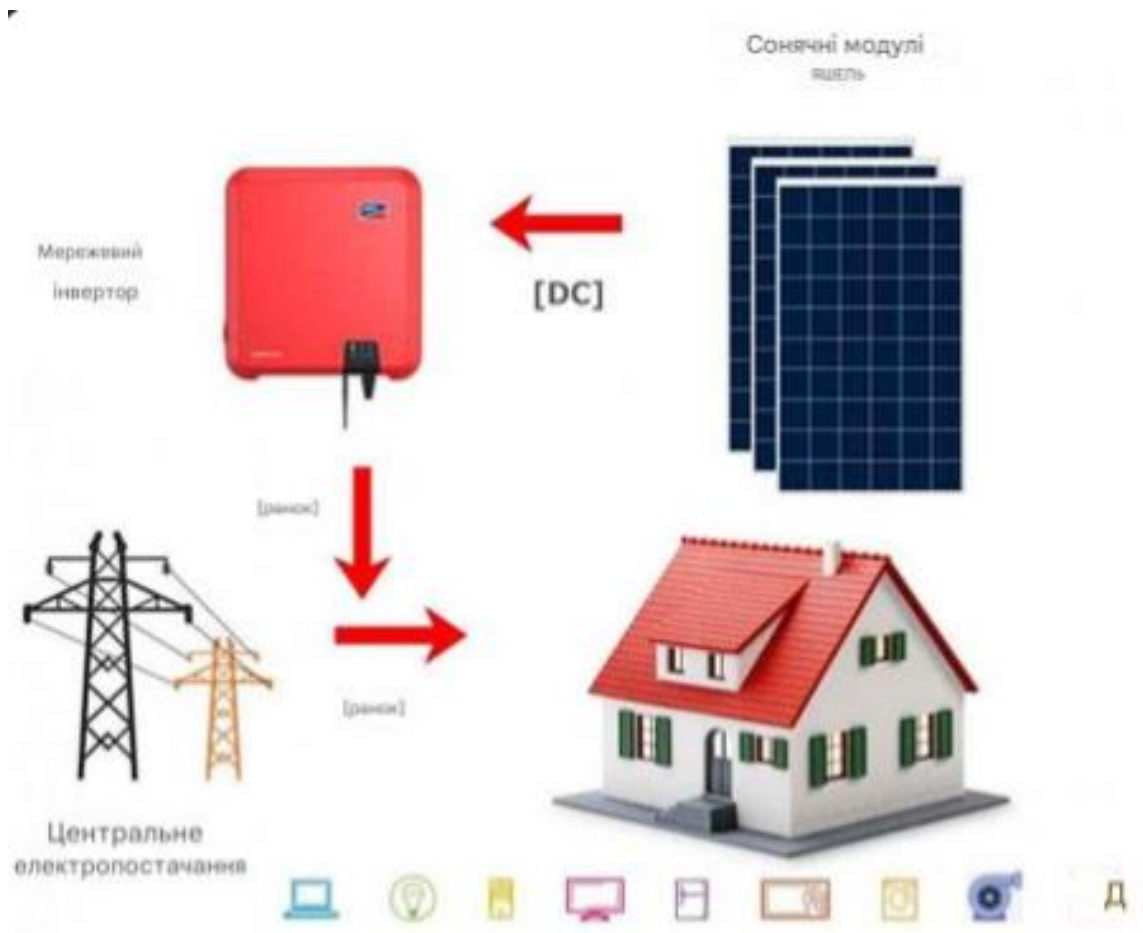


Рисунок 29 – Схема роботи GRID 100кВт

Ця схема містить у собі менше компонентів, унаслідок чого зростає її надійність.

Ціни розглянутих сонячних електростанцій зведено до таблиці 15.

Таблиця 15 – Ціни різних сонячних електростанцій

Назва Продукції	Ціна, грн.
СсLamp CL–680	800
Risen Energy	3516
Delta BST 540–72 М НС	10300
Delta BST 320–60 М	12400
MUST PV18–3024VPM, 3000W,	18928
MUST LiFePO4 200Ah	21000
Hybrid 7200 MPPT 80A	424340
GRID 100кВт	2443000

Як видно з інформації з таблиці 15, ціна на сонячні електростанції на 2024 все ще досить висока. Можливо, з розвитком технологій у галузі вилучення енергії сонця та її перетворення на електричну, ціни на подібні електричні станції будуть знижуватися. Також важливо відзначити, що сонячна енергетика є перспективним напрямом розвитку електроенергетики в будь-якій країні, оскільки сонячна радіація потрапляє на всі ділянки Землі.

Для систем малої потужності, можлива установка літій–титанатних акумуляторів, оскільки термін служби даного типу в рази вищий, ніж у інших акумуляторів.

### 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

#### 3.1 Системи повороту сонячних батарей

Способи модернізації сонячних батарей будуть виготовлені на підставі зовнішніх факторів, а саме:

- рух сонця;
- охолодження сонячної батареї внаслідок її нагрівання.

Оскільки більшість сонячні батареї мають темний колір, то їх температура буде завжди вищою за температуру навколишнього середовища.

Як відомо, Сонце не знаходиться в одній точці на небосхилі, внаслідок обертання Землі навколо Сонця. Оскільки відомо, що найбільше вироблення сонячної енергії відбувається при падінні сонячних променів під кутом  $90^\circ$  до батареї, то у зв'язку з цим виникає необхідність орієнтації сонячної батареї Сонцем. Для вирішення цього завдання необхідно забезпечити можливість повороту сонячних батарей щодо руху Сонця.

Забезпечення повороту сонячних панелей буде здійснено за допомогою простої схеми. На рис.30 зображено блок–схему системи повороту сонячних батарей щодо Сонця.

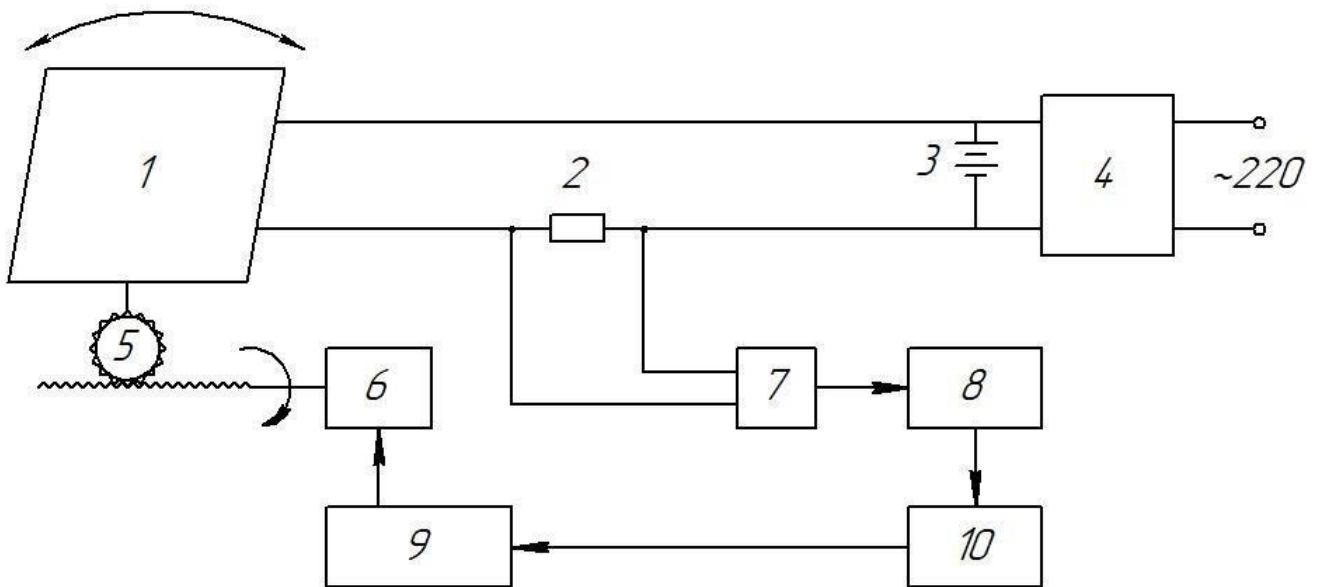


Рисунок 30 – Блок-схема системи повороту сонячної батареї

На рис.30 зображено: 1 – сонячна батарея, 2 – датчик струму, 3 – акумуляторна батарея, 4 – інвертор, 5 – система повороту з шестерні з черв'ячним редуктором, 6 – кроковий двигун, 7 – підсилювач сигналу, 8 – аналогово-цифровий перетворювач, 9 – система управління кроковим двигуном, 10 – мікроконтролер. Ця схема реалізує принцип пошуку екстремуму, зображеним рис. 31.

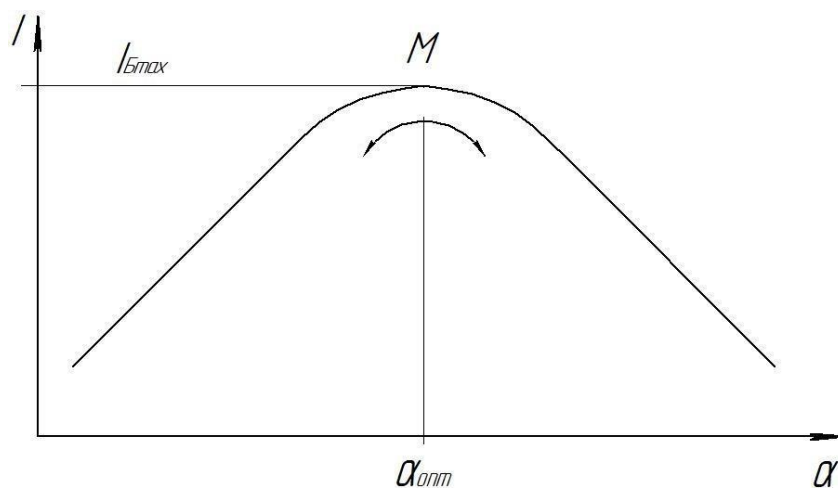


Рисунок 31 – Принцип пошуку екстремуму

За допомогою даної схеми здійснюється поворот сонячної батареї в

горизонтальній площині і знаходиться такий кут  $\alpha$  при якому сонячна батарея віддаватиме максимальний струм  $I_{CBmax}$ . Зворотний зв'язок провадиться за струмовими значеннями. У ролі датчика струму (2) виступає шунт [18,20] .

Сигнал із шунта надходить на підсилювач сигналу (7). Після посилення сигнал надходить аналого-цифровий перетворювач (8), після чого сигнал надходить у мікроконтролер (10). У мікроконтролері відбувається обробка сигналу і, залежно від результату, видається необхідна команда в систему керування кроковим двигуном (9). З 9 надходить сигнал на кроковий двигун (6) і за допомогою черв'ячної передачі та шестерні відбувається поворот сонячної батареї (1) у необхідну сторону. Після повороту сонячної батареї відбувається повторне вимірювання сили струму, що надходить із сонячної батареї з попереднім значенням. Якщо різниця більша за нуль, то задається команда на поворот сонячної батареї в тому ж напрямку на один дискрет. Якщо різниця менше нуля, то надходить команда на повернення до попередньої точки. Зрештою, система функціонує в районі точки екстремуму  $M$ . Також можливе програмування додаткової функції системи повороту сонячної батареї. Додаткове програмування полягає в тому, щоб при знаходженні оптимального кута сонячної панелі система зупинялася на певний інтервал часу, який необхідно задати. Після часу інтервалу, механізм знову починає пошук точки екстремуму.[20]

Для вертикальної орієнтації сонячної батареї застосовується аналогічна система.

Для сонячної батареї малої потужності можливе спрощення схеми орієнтації у просторі. Управління поворотами по горизонталі та вертикалі здійснюється за допомогою таймера, яким відстежується час доби та пора року. У зв'язку з цим виконавчі механізми даної батареї споживають невелику потужність, оскільки орієнтація сонячної батареї здійснюється дискретно через значні проміжки часу. Наприклад, горизонтальну орієнтацію можна змінювати кожну 1 годину, а вертикальну орієнтацію 1-го на тиждень або раз на місяць.

Поворот сонячної батареї, як було сказано раніше, здійснюватиметься за

рахунок черв'ячної передачі та шестерні, які обертатиме кроковий двигун. Кроковий двигун встановлював фірми «Гібридний Кроковий двигун» марки NC-42STH40-1704A-5 з гальмом. На рис. 32 представлений кроковий двигун.

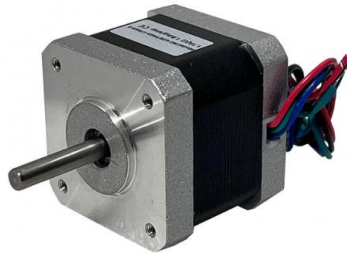


Рисунок 32 – Кроковий двигун NC-42STH40-1704A

Проведемо розрахунок збільшення потужності сонячної панелі Trina Solar Honey Black TSM-320 за рахунок перетворення сонячної енергії на електричну за допомогою використання запропонованого механізму повороту.

Електричні параметри цієї сонячної батареї наведені в таблиці 16.

Таблиця 16 – Електричні параметри Trina Solar Honey Black TSM-320

Пікова електрична потужність ( $P_{max}$ )	320 Вт
Номінальна напруга ( $U_{nom}$ )	24 В
Напруга в точці максимальної потужності ( $U_{mp}$ )	33,3 В
Струм в точці максимальної потужності ( $I_{mp}$ )	9,6 А
Струм короткого замикання ( $I_{sc}$ )	12 А
Напруга холостого ходу ( $U_{oc}$ )	40,6 В
Максимальна напруга системи	1000 В
Максимальний номінал запобіжника	15 А
ККД елемента ФЕМ	19,5 %
Практичний ККД модуля	19,18 %

Дані параметри правильні при щільності світла  $1000 \text{Вт}/\text{м}^2$ ,

повітряній масі  $AM = 1,5$ , номінальної температури  $25^{\circ}\text{C}$  [19].

Максимальна потужність сонячного випромінювання у червні становить  $1220,07 \text{ Вт/м}^2$ , що показано на рисунку 34. При врахуванні мінливості та хмарності значення сонячного випромінювання становить  $P_{\text{н}} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ . На рис.35 можемо побачити як змінюється сонячний вплив впродовж дня.

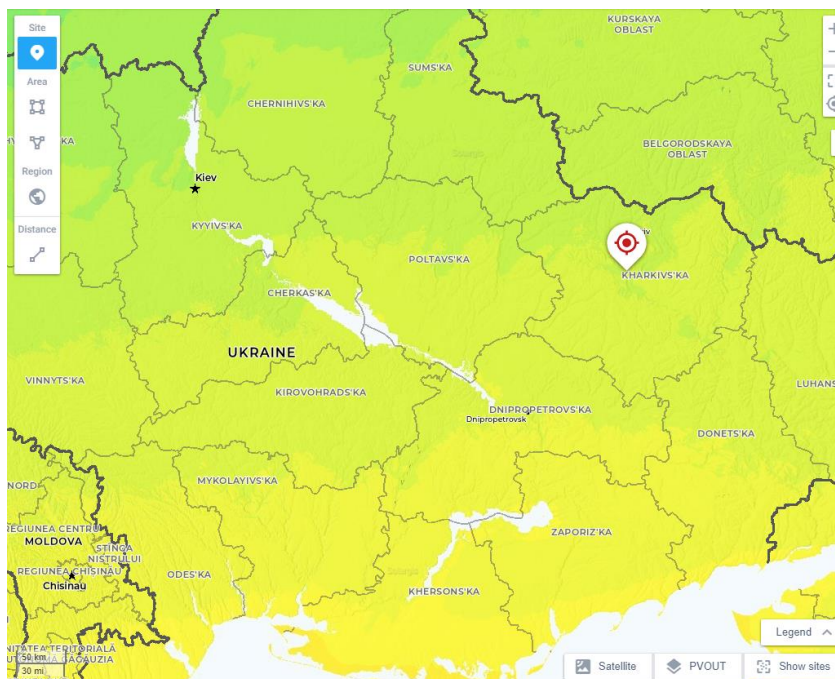


Рисунок 34 – Розподіл потужності сонячного випромінювання

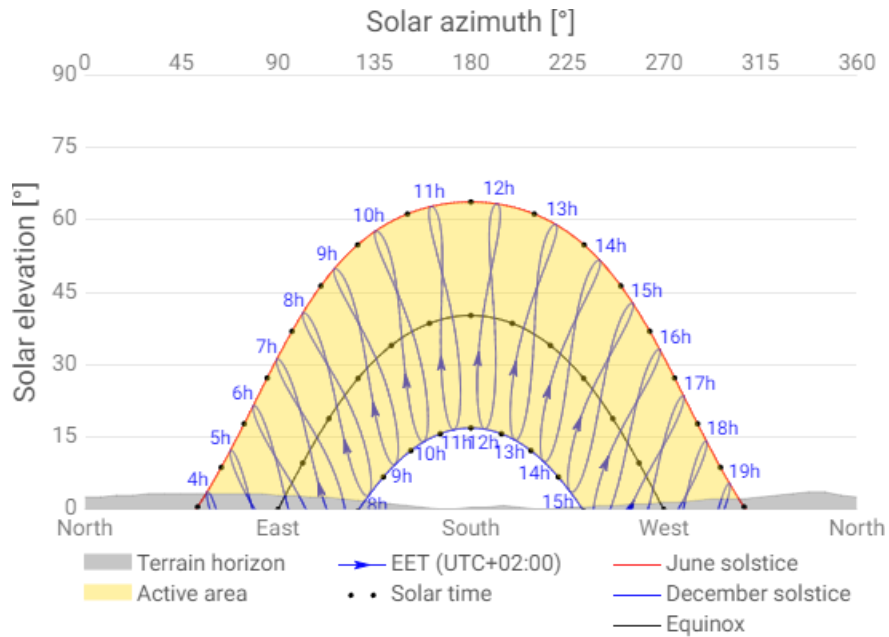


Рисунок 35 – Графік розподілу сонячної активності у Харкові впродовж дня

Коефіцієнт корисної дії вибраної сонячної панелі складає 19,18%, с 1м<sup>2</sup> сонячної батареї можна зняти певну кількість енергії, яка розраховується за формулою (1).

$$P_1 = P_{\text{и}} \cdot \eta, \quad (1)$$

де  $P_{\text{и}}$  – потужність сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>;

$\eta$  – КПД сонячної батареї.

Підставивши дані з таблиці 16 формулу (1) отримаємо наступне значення.

$$P_1 = 1000 \cdot 0,1918 = 191,8 \text{ Вт}$$

Як видно з формули, підсумкова потужність, яку може виробити ця сонячна батарея складає 191,8 Вт. Наочне уявлення вироблюваної потужності

сонячної батареї з механізмом повороту показано рисунку 34.

Для того, щоб розрахувати потужність, яку видаватиме дана батарея без механізму повороту, необхідно скористатися формулою (2).

$$P_2 = P_1 \cdot \cos(\alpha), \quad (2)$$

де  $P_2$  – потужність сонячної батареї без механізму повороту, Вт;

$\cos(\alpha)$  – коригувальний коефіцієнт реальних значень щодо ідеальних.

Використовуючи формулу (2), розрахуємо потужність сонячної батареї, що виробляється, без механізму повороту в 17 годин.

$$P_2 = 139,055 \cdot \cos(35^\circ 43') = 112,8988 \text{ Вт.}$$

Інші значення обчислювалися аналогічним чином. Отримані дані зведено таблицю 17.

Таблиця 17 – Погодинні значення потужності сонячної батареї без механізму повороту

Час, год	Потужність, Вт
5	0
6	8,22
7	35,33
8	72,95
9	112,9
10	148,11
11	170,76
12	185,36
13	191,8
14	185,36
15	170,76
16	148,11
17	112,9
18	72,95
19	35,33
20	8,22
21	0

Для зручності порівняння рисунку 34 відобразимо криволінійні залежності, вироблюваних сонячними батареями разом із механізмом повороту і нього. Також на рисунку 36 зображено приклад пошуку кута  $\alpha$ .

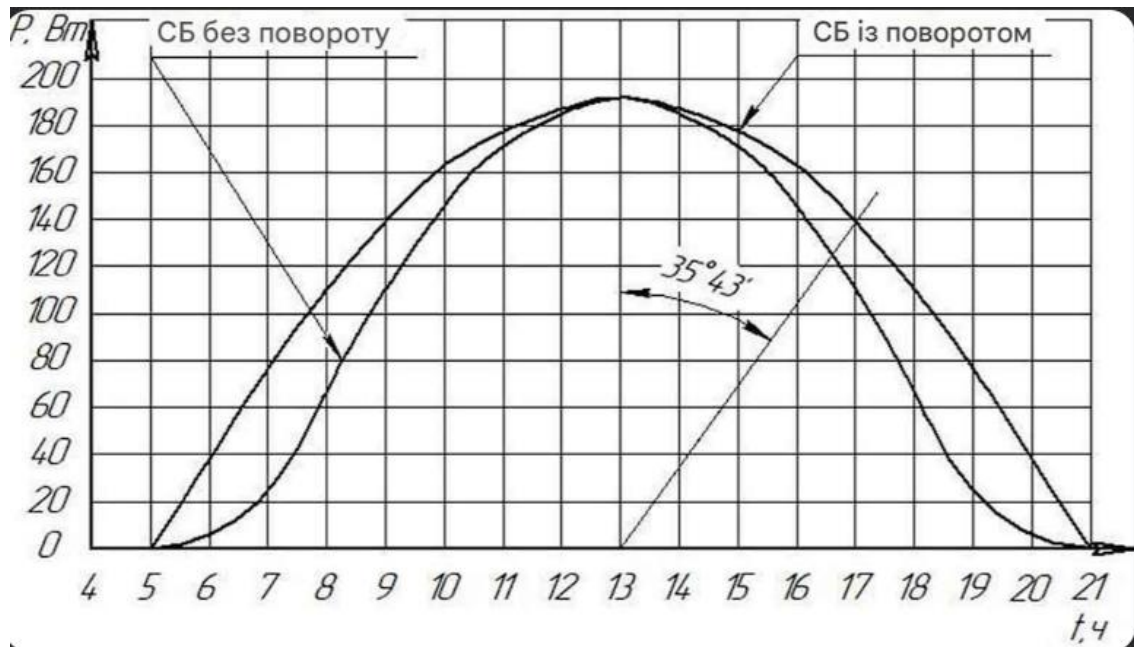


Рисунок 36 – Графічне порівняння потужності сонячних батарей

Для того щоб визначити у відсотковому співвідношенні збільшення ефективності сонячної батареї з механізмом повороту необхідно обчислити різницю площ двох криволінійних фігур під червоною та синьою лініями.

Для обчислення площі даних криволінійних фігур скористаємося методом апроксимації. Метод апроксимації передбачає використання простіших фігур максимально наближених до вихідної. Для розрахунку даних фігур скористаємося прямокутними трапеціями, основи яких будуть на осі ординат, довжини основ будуть номінально рівні показанням потужності в даний час, висота перебуватиме на осі абсцис і дорівнюватиме 1ч.

Для розрахунку площі фігури під лінією сонячної батареї з механізмом повороту скористаємося формулою (3). Для наочного прикладу на рисунку 37 продемонстровано апроксимацію частини фігури.

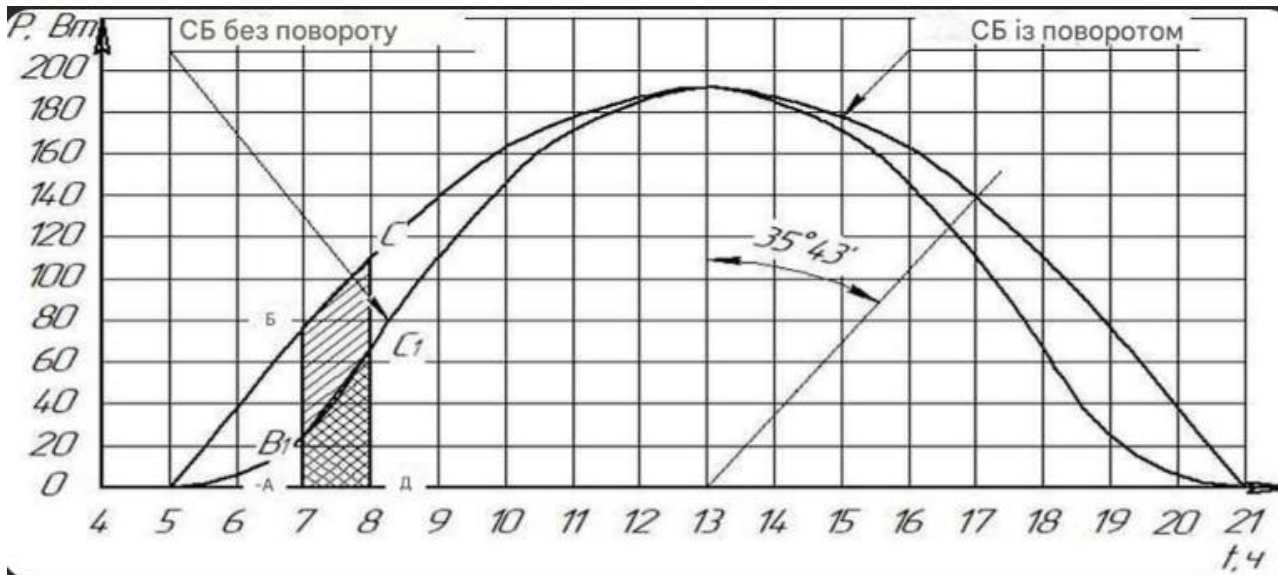


Рисунок 37 – Приклад апроксимування частини фігури для розрахунку

$$S = \frac{AB+DC}{2} \cdot AD = \frac{76,72+110,29}{2} \cdot 1 = 93,505,$$

(3)

Інші значення обчислювалися аналогічним чином. Для зручності сприйняття сумарні значення обчислень площ двох фігур було зведено таблицю 18.

Таблиця 18 – Сумарні значення площ, що потрібно знайти.

$S_1$	1659,07
$S_2$	1975,54

Ефективність застосування батареї з механізмом повороту перебуває за формулою (4).

$$\varepsilon = \frac{S_2 - S_1}{S_2} \cdot 100\% = \frac{1975,54 - 1659,07}{1975,54} \cdot 100\% = 16,02\%, \quad (4)$$

Загальне збільшення ефективності становило 16%.

### 3.2 Охолодження сонячної панелі

Оскільки сонячні панелі перетворюють енергію сонячних променів в електричну, всі вони перебувають постійно під впливом Сонця, що призводить своє чергу до їх нагрівання. У таблиці 19 зведено температурні характеристики роботи сонячної панелі Trina Solar Honey Black TSM–320.

Таблиця 19 – Температурні коефіцієнти

NOCT*	$45 \pm 2^{\circ}\text{C}$
По Потужності ( $P_{max}$ )	$-0,4\%/^{\circ}\text{C}$
По напрузі ( $U_{oc}$ )	$-0,29\%/^{\circ}\text{C}$
По току ( $I_{sc}$ )	$0,05\%/^{\circ}\text{C}$
Температура експлуатації и зберігання	$-40 \div 85^{\circ}\text{C}$

\*NOCT – номінальна робоча температура сонячного модуля.

Як видно з таблиці 19, температурний діапазон роботи сонячної панелі BST 320–60 М складає від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Даний температурний діапазон має однакове значення для сонячних панелей різної потужності продукції Trina. Щоб визначити можливий коефіцієнт корисної дії сонячної батареї при її перегріві, необхідно скористатися формулою (5).

$$\eta_{pi} = \eta_0 \cdot (1 - 0,0045 \cdot (T_{pi} - 25)),$$

(5)

де « $\eta_{pi}$  – ККД сонячної панелі, %;

$\eta_0$  – ККД сонячної панелі при температурі, що дорівнює  $25^{\circ}\text{C}$ , %;

$T_{pi}$  – температура поверхні сонячної панелі,  $^{\circ}\text{C}$ » [18].

В широті України сонячні батареї можуть розігріватись до 70°C, а при русі у бік екватора, температура сонячних батарей може досягати навіть 90°C.

Використовуючи формулу (5), можна підрахувати зниження коефіцієнта корисної дії для сонячної батареї. Підставивши дані з таблиці 16 у формулу 2 отримаємо такі значення.

При температурі панелі в 45 °С.

$$\eta_{pi} = 21,16 \cdot (1 - 0,0045 \cdot (45 - 25)) = 19,2556 \%,$$

При температурі панелі в 85 °С.

$$\eta_{pi} = 21,16 \cdot (1 - 0,0045 \cdot (85 - 25)) = 15,4468 \%,$$

У першому випадку, при температурі панелі 45 °С, втрати становлять приблизно 10%, а в другому випадку, при температурі панелі 85 °С, втрати становитимуть вже приблизно 30%. Тому можна зробити висновок, що сонячні батареї необхідно охолоджувати до робочої температури в 25 °С.

Для того, щоб охолодити сонячні панелі до цієї температури, можна вдатися до встановлення радіатора до самої панелі.

Радіатори охолодження виробляють із сплаву різних металів, переважно з алюмінію. Однак, при більш детальному розгляді цього питання було виявлено, що радіатори роблять також із спеціального пластику, що тепло розсіює. Щоб зрозуміти, з якого матеріалу виготовляти радіатори охолодження, в першу чергу необхідно порівняти коефіцієнти теплопровідності різних матеріалів. У таблиці 20 показані різні матеріали та їх коефіцієнти теплопровідності.

Таблиця 20 – Теплопровідність різних матеріалів

Матеріал	$\lambda$ , (Вт/м · К)
Срібло	407
Мідь	384
Золото	308
Алюміній	209
Бронза	47–58
Тепло розсіюючий пластик	1–40
Пластмаса	0,15

Як видно з таблиці 20 найбільш теплопровідним металом є срібло. Згідно з розрахунками “ефективно” діюча величина коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  еф коливається в районі від 5 Вт/м·К до 10 Вт/м·К. Подальше його збільшення вже надмірне і призведе до підвищення теплотнімання загалом .

Для підтвердження цієї заяви було зроблено експерименти. Термо пластмаса CoolPolymers, звичайний пластик і алюміній закріплювалися на джерелі тепла потужністю 5Вт і вимірювали перепад температур.

На рис.38 показано наочний графік проведеного експерименту.

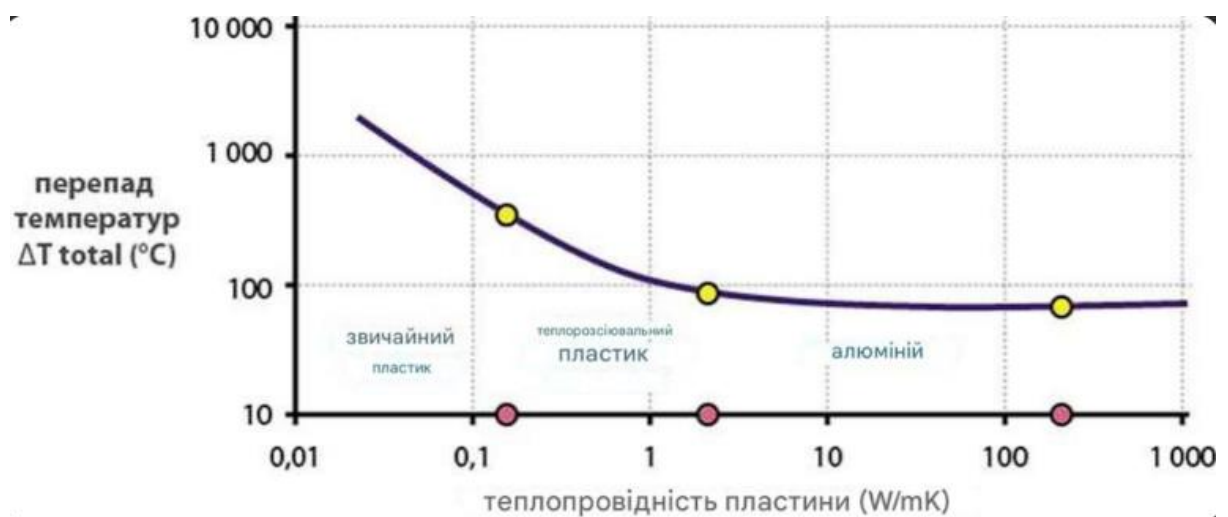


Рисунок 38 – Вплив теплопровідності матеріалу на нерівномірність температурного поля при точковому нагріванні [17]

Якщо подивитись на графік, зі збільшенням теплопровідності знижується перепад температур. Однак, слід зазначити те, що при десятикратному збільшенні теплопровідності, перепад температур знизився приблизно в 20 разів, у той час як при подальшому практично стократному збільшенні теплопровідності, перепад температур знизився незначно., що підтверджує дану заяву. Також ось ілюстрації порівняння тепло розсіювальної пластмаси та звичайного пластику на екрані тепловізора. На рис.39 показано цю ілюстрацію.

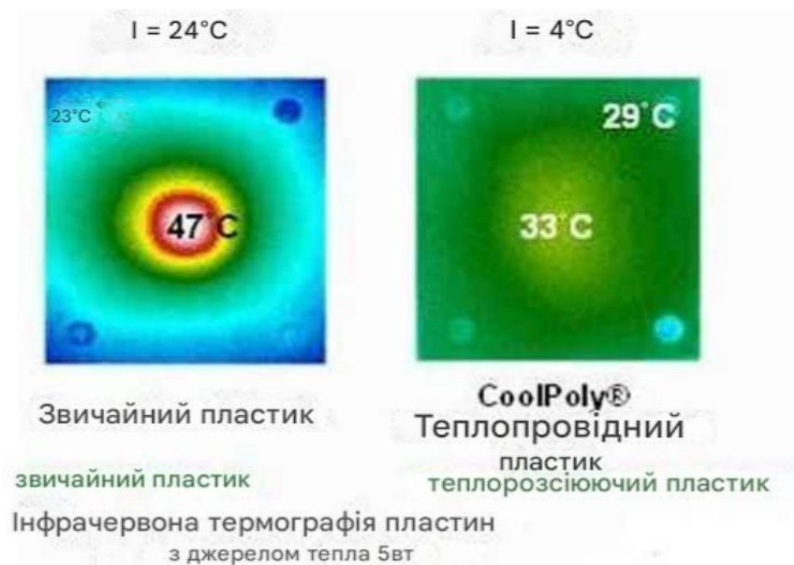


Рисунок 39 – Ілюстрація здатності пластмас, що розсіюють тепло, зменшувати локальні перегріву та компенсувати перепади температур

Слід зазначити те, що радіатори з даних пластмас, що розсіюють тепло, відмінно підходять для відведення тепла при повітряному охолодженні без застосування допоміжних пристроїв, наприклад вентиляторів. У цій роботі розглядається варіант відведення тепла не з метою розсіювання його у відкрите повітря, а з можливістю використання відведеного тепла різних цілей. Наприклад, виділене тепло за допомогою радіатора та системи труб можна направити на нагрів води для побутових потреб, що також скоротить витрати електроенергії на нагрів цієї води [12].

Чи можливе використання в якості тіла радіатора термо розсіювальних

пластмас спільно з трубками для відведення тепла, поки не відомо.

На рис.40 представлена функціональна схема захисту сонячної батареї від перегріву .

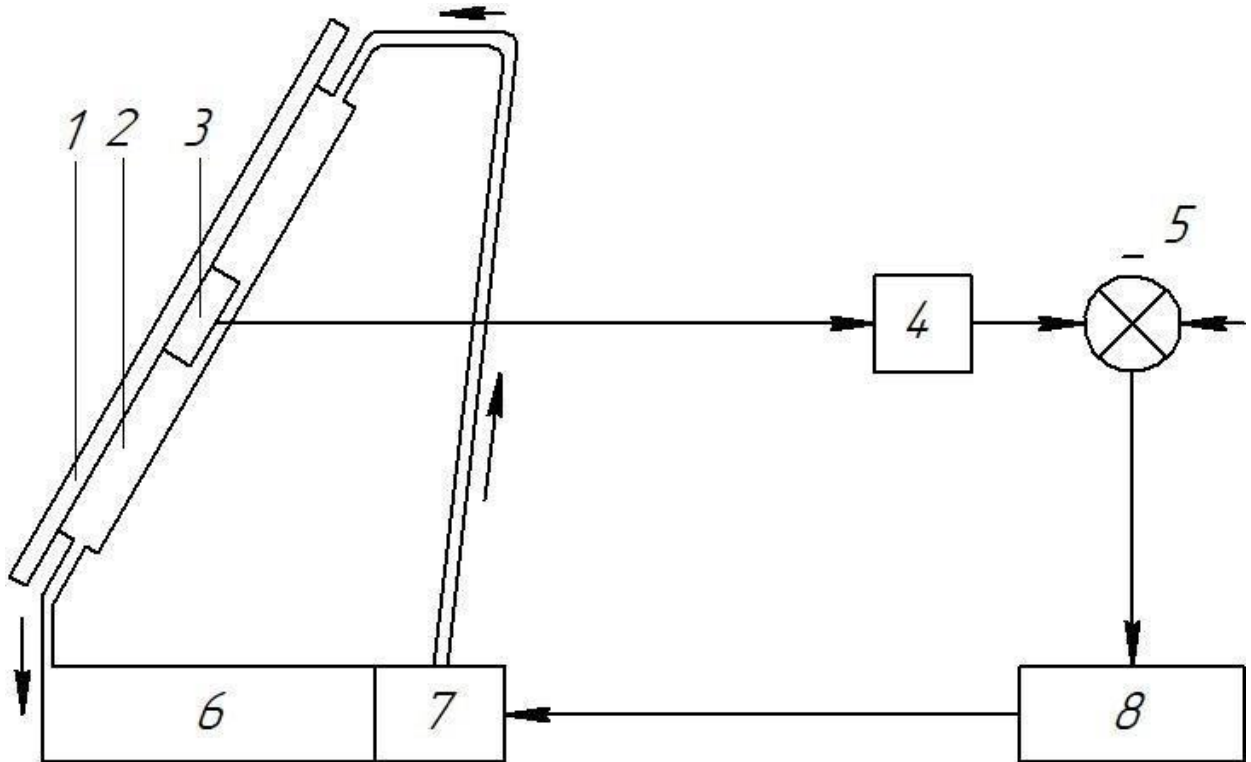


Рисунок 40 – Функціональна схема захисту сонячної батареї від перегріву

На рисунку 40 зображено: 1 – сонячна батарея, 2 – радіатор, 3 – датчик температури, 4 – підсилювач сигналу, 5 – пристрій порівняння, 6 – бак з охолоджувальною рідиною, 7 – циркуляційний насос, 8 – система керування циркуляційним насосом.

На рис.41 показаний приклад розташування датчика температури на радіаторі.

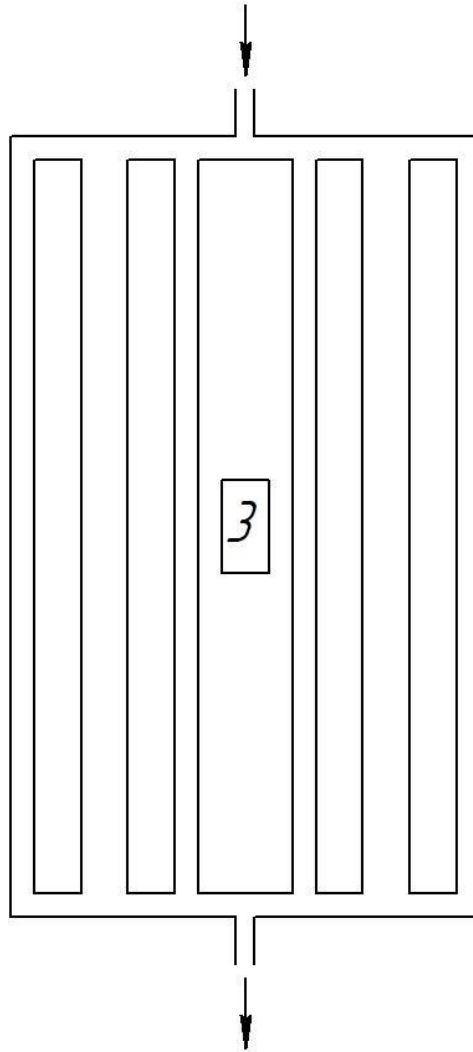


Рисунок 41 – Приклад розташування датчика температури

Датчик температури (3) видає електричний сигнал пропорційний температурі сонячної батареї (1). Далі сигнал надходить у підсилювач сигналу (4). Після того, як сигнал був посилений, він надходить у пристрій порівняння (5), де відбувається порівняння сигналу із сигналом із за датчика. При виконанні умови  $\Delta U = U_{ДТ} - U_3 > 0$  сигнал із пристрою порівняння подається до системи керування кроковим двигуном (9). Система керування кроковим двигуном подає команду на запуск крокового двигуна (8), який запускає циркуляційний насос (7). Циркуляційний насос починає подавати охолоджувальну рідину з бака (6) у верхній патрубок радіатора (2), звідки численними дренажними каналам охолоджувальна рідина стікає вниз бак, відбираючи тепло від сонячної батареї



Датчик температури LM235 АН на даний момент є одним з найпоширеніших датчиків температур. Для даної системи важливим є температурний діапазон роботи даного датчика, який становить від 45°C до 125°C.

Циркуляційний насос Pedrollo РКm 60 випробовується від 24В. Необхідно відзначити також високу продуктивність вибраного зразка, що становить 1700л/годину. Даний тип насосів широко поширений, оскільки встановлюється в автомобілях для циркуляції рідини, що охолоджує.

Висновки з третього розділу. У цьому розділі були представлені два варіанти підвищення ефективності перетворення сонячної енергії сонячними батареями під час використання механізму повороту сонячних батарей та системи охолодження/підтримання оптимальної температури. Система повороту разом із системою пошуку екстремуму, за попередніми розрахунками, збільшує загальну ефективність сонячних батарей до 16%.

При використанні системи охолодження можна домогтися збільшення коефіцієнта корисної дії фотоелектричних елементів сонячної батареї до 30% особливо спекотні дні, при яких температура сонячних батарей може досягати 85°C. Також тепло можна додатково використовувати в побутових потребах.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі зроблено аналітичний огляд літературних джерел по темі роботи.

Було розглянуто існуючі розробки у галузі сонячної енергетики. З'ясовано, що дані дослідження спрямовані в першу чергу на зміну підходу до матеріалу, що вибирається. Зокрема в одній із розглянутих статей було запропоновано замінити кремній на органічний сенсibilізатор на основі бурякового соку. Результати цієї статті показали, що органічні сонячні батареї можливо виробляти, але їхня ефективність на даний момент мала, оскільки технологія досить нова. На користь розробки були висунуті аргументи в галузі нешкідливості відходів даних сонячних елементів на відміну від сонячних елементів на основі кремнію, а також низька вартість з приблизно окупності в 1,5 року при благополучному результаті.

Також пропонувалося використовувати 3D-друк для виготовлення сонячних батарей.

При детальному розгляді готових рішень від різних виробників було виявлено, що всі виробники/постачальники пропонують до встановлення стаціонарні сонячні батареї різної потужності, які жорстко кріпляться до різних поверхонь залежно від побажань замовника. У мережі є безліч інформації з приводу встановлення кута нахилу сонячних батарей, що рекомендується, в залежності від пори року, але не було знайдено жодного рішення з механізмом повороту сонячних батарей середньої потужності по зворотній зв'язку. Також не було виявлено жодного рішення чи дослідження на тему необхідності чи можливості охолодження сонячних панелей.

На основі аналізу розглянутих джерел зроблено висновок про актуальність використання систем позиціонування та нормалізації температурного режиму батареї.

У роботі проведено дослідження щодо підвищення ефективності

сонячних батарей середньої потужності. Встановлено, що при використанні механізму повороту спільно з відстеженням точки екстремуму до 16%, а при використанні системи охолодження – до 30%, що в сукупності застосування сумарно підвищить ефективність перетворення до 46%. Також відведене тепло при охолодженні сонячних батарей можна використовувати у побутових потребах.

Всі розрахунки проводилися з використанням даних поширених сонячних батарей, в умовах наближених до реальних.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Грінченко В.Т., Похилько В.Ф. Основи сонячної енергетики. Київ, 2014. 438 с.
2. Alferov Z.I., Andreev V.M. Semiconductor Solar Energy Converters // Solar Energy Materials and Solar Cells. 2018. Vol. 33, No. 1–3. P. 185–205.
3. Green M.A., Hishikawa Y., Dunlop E.D. Solar cell efficiency tables // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2021. Vol. 29, No. 1. P. 3–15.
4. Blakers A.W., Zhao J., Wang A. High–efficiency silicon solar cells // Applied Physics Letters. 2003. Vol. 55, No. 13. P. 1363–1365.
5. Chou S.Y., Wei H. Nanotechnology in photovoltaics: Solar cell applications // Nature Nanotechnology. 2019. Vol. 14. P. 247–256,
6. Грушко В.І., Ткач Д.К. Електроенергетика України під час українсько–російської війни: вчені записки Університету «КРОК» №2. Київ, 2022. 66 с.
7. Осадча Є.О. Методи прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями: кваліфікаційна робота. Запоріжжя, 2022. 59 с.
8. Терєбінська М.І., Шмиголь І.В., Дацюк А.М., Лобанов В.В., Фрагментація молекулярного іона піридоксину та механізм утворення протонованого іона піридоксину на поверхні поруватого кремнію // Digital Library of Periodicals of National Academy of Sciences of Ukraine. 2010. С. 42–50.
9. Кириченко О. С. Альтернативні поновлювальні джерела енергії в АПК: магістерська робота. Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Миколаїв, 2018. 80 с.
10. Колмикова Т.М. Автоматизована система керування сонячної електростанції малої потужності: дис. ...канд. техн. наук. Суми, 2018. 92 с.
11. Енергозбереження в Україні : Монографія / Д. В. Зеркалов. URL: <http://zerkalov.org/files/ezu-mz.pdf#4> (дата звернення: 14.12.2024).
12. Олейнікова І. В. Розробка тестової системи визначення ефективності встановлення базальтових вітрогенераторів з ротором Оніпко в різних

територіальних зонах: дис. ... канд.фіз.– мат. Наук. Київ, 2023. 52 с.

13. Durganjali C. S. Recent Developments and Future Advancements in Solar Panels Technology // Journal of Physics. 2018. Vol. 1495. P. 012–018. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1495/1/01> (дата звернення: 15.12.2024).

14. Накашидзе, Л., Мазурик, С., Корсунський, Р. Чинники поліпшення захисту оптоелектронних пристроїв – сонячних батарей // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 2024. № 6. С. 186–190. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-28> (дата звернення: 15.12.2024).

15. Котлобай Ю. М. Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій : магістерська дис. Київ, 2019. 72 с.

16. Видиш А. М. Оптимальна система регулювання потужності сонячних батарей фотоелектричної станції : кваліфікаційна магістерська робота Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 87 с.

17. Пилипчук Ю. О. Підвищення енергоефективності систем орієнтування фотоелектричних батарей : автореферат дипломної роботи магістра за спеціальністю „141–електроенергетика, електротехніка та електромеханіка“/ Пилипчук Ю. О. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. 7 с.

18. Коваль В. П., Івасечко Р. Р., Пилипчук Ю. О. Енергоефективність системи позиціонування фотоелектричних батарей // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. Т. : ТНТУ, 2017. Том 3. С. 139.

19. Мартинюк Д. І. Розробка системи позиціонування сонячних батарей. Київ, 2024. – 84 с.

20. Ляшенко Д. І. Розвиток побутової та промислової сонячної енергетики // Актуальні питання розвитку галузей науки: збірник наукових праць з матеріалами IV Міжнародної наукової конференції, м. Київ, 15 листопада, 2024 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС

Груп, 2024. С.351–354.