

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка конструкції фотоелектричного модуля  
для сонячної електростанції майстерні з ремонту  
побутової техніки

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Спеціалізація «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТмз-21-1

  
Підпис

Космак М.І.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

проф. Скиба М.Є.  
Ініціали, прізвище

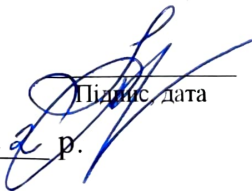
Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Поліщук О.С.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.  
Ініціали, прізвище

20 12 2022 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень магістр  
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
Шифр і назва  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр і назва  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Поліщук О.С.

\_\_\_\_\_ 2022р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Космак Михайло Іванович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції фотоелектричного модуля для сонячної електростанції майстерні з ремонту побутової техніки

керівник роботи д.т.н., проф. Скиба М.Є.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від \_\_\_\_\_ 202\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики фотоелектричних фотомодулів, сонячних електростанцій.

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Аналітичне дослідження сонячного фотомодуля. 3. Розробка конструкції та технологія виготовлення сонячного фотоелектричного модуля. 4. Експериментальне дослідження сонячного фотомодуля Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Сонячні панелі. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Схема роботи сонячної електростанції. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Аналітичне дослідження сонячного фотомодуля. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4,5. Виготовлення сонячної електростанції. Документ технологічний (A1). Аркуш 6. Стенд для зняття основних характеристик електродвигуна. Схема електрична (A1). Аркуш 7. Сонячна електростанція. Схема комбінована (A1). Аркуш 8. Результати експериментів. Документ

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 03.11.22р.	
2. Аналітичне дослідження сонячного фотомодуля	до 15.11.22р.	
3. Розробка конструкції та технологія виготовлення сонячного фотоелектричного модуля	до 27.11.22р.	
4. Експериментальне дослідження сонячного фотомодуля	до 7.12.22р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент

  
Підпис

М.І. Космак  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

М.Є. Скиба  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові \_\_\_\_\_

Космак Михайло Іванович

2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції фотоелектричного модуля для со-  
нячної електростанції майстерні з ремонту побутової техніки \_\_\_\_\_

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 9 арк., сторінок записки 82

5. Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики  
магістерської роботи. 2. Розробка конструкції пресу. 3. Розрахунок електричних пара-  
метрів магнітоелектричного двигуна. 4. Експериментальне дослідження сонячного фо-  
томодуля. Висновки. Перелік джерел посилання. \_\_\_\_\_

Підпис студента \_\_\_\_\_

"20" 12 2022 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол \_\_\_\_\_

від " " 20 р.

Оцінка проекту ЕК \_\_\_\_\_

Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

добре 4,5/В  
у навчальній процесі

Особливі відмітки \_\_\_\_\_

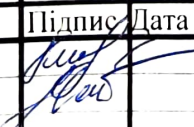
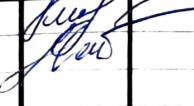

Технічний секретар \_\_\_\_\_

"20" 12 2022 р.

# ЗМІСТ

стор.

	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	9
1.1	Альтернативні джерела енергії	9
1.2	Застосування сонячної енергетики в Україні та усьому світі	15
1.3	Будова сонячного фотомодуля та явище фотоефекту	24
1.4	Види сонячних елементів, які застосовуються в виробництві сонячних панелей	29
1.5	Схеми роботи сонячної електростанції	36
1.6	Висновки до розділу 1	39
2	Аналітичне дослідження сонячного фотомодуля	41
2.1	Загальні відомості	41
2.2	Математична модель сонячного фотомодуля	42
2.3	Висновки до розділу 2	46
3	Розробка конструкції та технологія виготовлення сонячного фотоелектричного модуля	48
3.1	Технологія виготовлення сонячного фотоелектричного модуля	48
3.2	Розробка конструкції сонячного фотомодуля	58
3.3	Висновки до розділу 3	64
4	Експериментальне дослідження сонячного фотомодуля	65
4.1	Методика проведення експериментальних досліджень	65
4.2	Методика обробки результатів	65
4.3	Обробка отриманих даних	69

МРМА 22.00.00.000 ПЗ								
	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Конав		Космак			Розробка конструкції фотоелектричного модуля для сонячної електростанції майстерні з ремонту побутової техніки Пояснювальна записка	М	4	
евір.		Скиба				ХНУ гр.ЕІмз-21-1		
онтр.		Поліщук						
атвер.								

4.4	Порівняння техніко-економічних показників розробленої конструкції сонячного фотомодуля, з фотомодулями які, випускаються серійними виробниками	72
4.5	Висновки до розділу 4	77
	Висновки	78
	Перелік джерел посилання	80
	Додаток А	

## ВСТУП

### **Актуальність теми дослідження.**

На сьогоднішній день енергетика України вимагає значного споживання традиційних джерел енергії (вугілля, нафти, газу, атомної енергії). Проте їх застосування пов'язане із виникненням ряду труднощів, серед яких хімічне, теплове, радіоактивне забруднення навколишнього середовища та вичерпність їх запасів. Рівень забруднення атмосфери з часом невинно зростає, що веде, в свою чергу, до руйнування біосфери. І хоча на сьогодні є багато сучасних технологій, які дадуть змогу ще багато років забезпечити людство атомною енергією, однак це не вирішить проблем таких, як зберігання відходів, наслідки від аварій та радіаційного і теплового забруднення.

В середині ХХ ст. застосування поновлювальних джерел енергії було незначним, проте енергетична криза сімдесятих років минулого століття, Чорнобильська катастрофа 1986 р. та катастрофа на АЕС «Фукусіма-1» в Японії 2011 р. докорінно змінили погляди людства на поновлювальні джерела енергії. Європейська Спільнота вимагає від країн, що прагнуть до неї вступити, збільшення частки поновлювальних джерел енергії в національному виробництві енергії до 6%, а до 2030 року – до 20%. В Україні показник застосування альтернативних видів енергії знаходиться на рівні 0,7%. Все це спонукає до інтенсифікації застосування сонячної енергії, оскільки вона може ефективно трансформуватись в теплову і електричну.

На шляху розвитку сонячної енергетики суттєвою проблемою є висока собівартість енергії: кожний ват потужності сонячної електростанції вдвічі, втричі вартісніший за аналогічну потужність на теплових електростанціях.

Впродовж останніх десятиліть було розроблено та досліджено різноманітні конструкції сонячних панелей. Головною метою цих досліджень було збільшення коефіцієнта корисної дії сонячних панелей та зниження їх

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

вартості, покільки підвищення ефективності, як правило, супроводжується зростанням ціни сонячних панелей. Тому доцільним є пошук оптимальних параметрів сонячного фотомодуля, методів здешевлення конструкції та технології виготовлення.

### **Мета і задача дослідження.**

Метою роботи є розробка конструкції сонячного модуля та дослідження його параметрів.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі технологічні та технічні рішення в напрямку сонячної енергетики;
- розробити математичну модель сонячного фотомодуля;
- розробити конструкцію та технологію виготовлення сонячного фотомодуля;
- провести дослідження по визначенню параметрів сонячної панелі та порівняти економічні показники з існуючими аналогами.

**Об'єктом дослідження** є полікристалічний сонячний фотомодуль.

**Предметом дослідження** є процес перетворення сонячної енергії в електричну енергію, в сонячній панелі.

### **Методи дослідження.**

Завдання, що поставлені в магістерській роботі, вирішувалися на основі сучасних математичних методів із застосуванням класичних положень електротехніки, технічної механіки, фізики, математики тощо.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- розроблено та виготовлено нову конструкцію сонячного фотомодуля;
- проведено дослідження параметрів конструкції сонячного фотомодуля.

Практичне значення отриманих результатів полягає у здешевленні конструкції сонячної панелі, що є актуальним завданням в теперішній час.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення та результати магістерської роботи представлялися, обговорювались на науковій студентській конференції кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем (м. Хмельницький, 2022).

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

## 1.1 Альтернативні джерела енергії

Застосування будь-якого виду енергії і виробництво електричної енергії супроводжується утворенням багатьох забруднювачів повітря і води. Перелік таких забруднювачів довгий, а їхні кількості надзвичайно величезні.

Цілком природно виникає питання, чи завжди застосування енергії і виробництво електричної енергії повинне супроводжуватися руйнуванням навколишнього середовища. І якщо правда, що будь-який вид людської діяльності неминуче впливає на природу, то ступінь такої шкоди різний. Людина не може не впливати на середовище, у якому живе, поскільки для підтримання життєвих процесів як таких потрібно поглинати і використовувати енергію.

Все більшої популярності у світі набувають альтернативні джерела енергії. Їх перевага заключається в відновлюваних енергетичних ресурсів. До таких джерел можна віднести: енергію Сонця, вітру, припливів; глибинне тепло надр Землі [2].

### 1. Сонячна енергія.

Часто говорять, що нове - добре забуте старе. Як не дивно, до сонячної теплової енергії ці слова теж відносяться. Розкопки археологів показали, що в стінах лазень та деяких інших будинках Стародавнього Риму були прокладені канали, по яких проходило тепле повітря, що нагрівало сонячним випромінюванням частини будівель і створювало комфортну температуру в усіх приміщеннях [1].

Хоча багато хто з нас цього і не підозрюють, спосіб отримання електричної енергії з сонячного світла відомий більше ста років. Явище фотоелектричного ефекту вперше почав спостерігати Едмон Беккерель в 1839 р. Проводячи

серію експериментів з електрики, вчений занурив 2 металевих електроди в розчин, що проводив електрострум і піддавав установку впливу сонячного світла. Між електродами появилася невелика електрична напруга. Поява на початку 50-х років двадцятого століття сонячних елементів, розроблених в лабораторії Белла, зробило революцію в електронній промисловості. Космічна індустрія була б без них практично недієздатною. Легкі сонячні генератори енергії дозволили підійти абсолютно по-іншому до проблеми створення штучних супутників Землі. Крім того, сонячна енергія може застосовуватися в сонячних будинках [1].

Сонячні установки можуть бути призначені для гарячого водопостачання і опалення житлових будинків. Сонячні енергетичні установки здатні заощадити вартісне мінеральне паливо, завдяки розумному застосуванню енергії сонячного випромінювання.

Уявлення про сонячний будинок (будинок, в якому гаряче водопостачання та тепло, здійснюване за допомогою сонячної енергії) стало широко відомим. Напевно, самим ідеальним прикладом такого приміщення є традиційний японський будинок. Що влітку, що взимку там завжди цілком сприятлива температура для проживання. Але справжніх сонячних будинків, де повністю відпрацьована система охолодження та опалення, ще порівняно небагато, і зробити їх економічно виправданими зовсім не просто.

Однак очевидним є той факт, що природних запасів вугілля і нафти на земній кулі не вистачить на тривалий термін і подальша технічна програма нерозривно пов'язана з потребою економії енергії [3].

## 2. Вітрова енергія.

Він занадто непостійний і не піддається контролю – висловлювання одного вченого (про вітер). Вперше енергія вітру була застосована, мабуть, для пересування вітрильних суден, а пізніше - для піднімання води і помолу зерна. Вважається, що в Японії, Китаї та Тибеті перші вітряні двигуни були побудовані більше 2 тисяч років тому. Стародавні вавілонці застосовували їх

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

для осушення боліт. У Єгипті та на Близькому Сході будували вітряні водопідйомники і млини.

Але більш детально вітряною енергією почали займатися набагато пізніше. В Україні цей вид енергії став об'єктом для досліджень тільки в 30-х роках минулого століття. У зв'язку з початком електрифікації сільського господарства була організована робота по створенню вітроелектричних станцій (ВЕС). Вже у 1930 році була спроектована, а в 1931р. споруджена в Криму перша в світі вітроелектрична станція Д30 потужністю 100 кВт. Станція пропрацювала до 1942 року і видавала енергію в електричну мережу Севастополь-Енерго. А у 1956 році було вироблено понад 9 тисяч вітрових двигунів.

За кордоном найбільш широке використання вітроустановки знайшли в Австралії, Новій Зеландії, Латинській Америці, Греції [4].

Вітер - один з найбільш потужних енергетичних джерел, який за сприятливих умов може бути широко застосований в народному господарстві. Він виникає внаслідок постійної циркуляції переміщення повітряних мас в земній атмосфері, викликаній нерівномірним нагрівом Сонцем земної поверхні.

Вітер – дармове енергетичне джерело. Тому у деяких ще існує думка, що й енергія, отримана за допомогою вітрових двигунів теж практично «дешева». Особливість вітру як енергетичного джерела полягає в його непостійності, великої мінливості швидкості, а звідси і енергії (в силу ряду метеорологічних чинників (збурення атмосфери, зміна сонячної активності і кількість теплової енергії, що надходить на Землю), а також через вплив рельєфних умов у певній місцевості швидкість і напрямок вітру змінюються за випадковим законом).

В числі причин, що зумовили прагнення до розширення застосування енергії вітру – це швидке зростання потреби в енергії при обмежених запасах твердого і рідкого палива та потенційних гідроенергетичних ресурсів; різке

підвищення цін на мінеральне паливо; великі капіталовкладення при спорудженні гідравлічних і теплових електростанцій (зростають з врахуванням витрат на передачу енергії, які досить значні тому, що доводиться забезпечувати енергією все більш віддалених від ліній передач, розосереджених і менш потужних споживачів); розширення можливостей застосування вугілля, нафти і газу (в хімічній промисловості для отримання синтетичних матеріалів); значні досягнення в області механіки і аеродинаміки, літакобудування та хімії, електротехніки та ін., дозволяють створити досконаліші та економічні вітрові агрегати.

Найбільш широко вітрові установки можуть використовуватися в сільському господарстві для зарядження акумуляторних батарей, відкачування води для питних потреб, опріснення мінералізованих вод, аерації водойм.

Крім того, електричні вітрові установки малої потужності, поряд з зарядкою акумуляторів, можуть живити енергією бакени та маяки, захищати від корозії газо- і нафтопроводи. Автономні ВЕС, що працюють автономно, можуть застосовуватися обмежено і тільки для живлення енергією водопідйомних і меліоративних установок.

Такі установки оберігають від замерзання в зимовий час поверхню водойм, використовуються для різних потреб. Також існують райони, де в господарствах вітрові установки економічніше використовувати (посушливі зони, пустелі, напівпустелі) [4].

### 3. Енергія припливів і відпливів.

У відпливах і припливах, що змінюють один одного двічі на день, також зосереджена величезна енергія. Припливи - це результат гравітаційного притягування великих мас води океанів з боку Місяця і, у меншій ступені, Сонця. При обертанні Землі частина води океану піднімається і якийсь час утримується в цьому положенні гравітаційним притягуванням. Коли «горб» підйому води досягає суші, як це повинно

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

відбуватися внаслідок обертання Землі, настає приплив. Подальше обертання Землі послабляє вплив Місяця на цю частину океану, і приплив поволі спадає. Відпливи і припливи повторюються двічі на добу, хоча їхній точний час змінюється в залежності від сезону і положення Місяця [5].

Середня висота припливу складає всього лише 0,5 м, за винятком тих випадків, коли водянні маси переміщуються у відносно вузьких межах. В таких випадках виникає хвиля, висота якої може в 10 - 20 разів перевищувати нормальну висоту припливного підйому. Щороку найбільш високі припливи виникають тоді, коли Місяць і Сонце знаходяться майже на одній лінії, так що сумарний гравітаційний вплив збільшує об'єм океанської води, що переміщується.

Фізичні і біологічні наслідки будівництва приливних електростанцій.

Фізичні наслідки. Коли людина дивиться на припливи з їх загрозливою енергією, їй варто подумати про вплив на навколишнє середовище приливних басейнів. Зосередимося на фізичних змінах, що можуть відбутися з морської сторони приливної електричної станції.

Амплітуда припливу може збільшуватися всього лише на 30 см, але навіть така невелика зміна загрожує серйозними наслідками. Припливні води, що надходять, можуть піднятися на 15 см, а це здатне привести до вторгнення морської води в прибережні колодязі і створити загрозу для будинків, що розташовані поблизу верхньої відмітки припливу. Можливе прискорення берегової ерозії, а низинні ділянки, включаючи дороги, будуть затоплятися, коли припливи і шторми, що збільшилися, об'єднають зусилля. Берегова смуга буде практично непридатна для застосування через більш високі припливи. Оцінки площі берегової смуги, що може бути загублена через приливне затоплення, коливаються від 17 до 40 кілометрів квадратних. Звичайно, місцеві втрати залежать від крутизни схилу і характеру самого берега. Відплив, що може виявитися нижче на 15 см, здатний ускладнити доступ до човнів і до води з причалів. Збільшена висота припливу може

викликати надходження більш солоної води в гирло річок і цим змінити співвідношення водних організмів, що живуть у них. Зі збільшенням амплітуди припливів виникнуть посилені припливні плинні, на 5-10% більш швидкі, що може привести до розмивання і перенесення піщаних відмілин і до заповнення піском існуючих судноплавних рукавів, а в результаті до потреби складання нових навігаційних карт. Але в цьому випадку судна незабаром почнуть застрягати, у міру того як проходи будуть змінюватися через переміщення самого піску [5].

#### 4. Глибинне тепло Землі.

Як відомо, з заглибленням у Землю підвищується температура (в середньому на 3 °С на 1 км), а у вулканічних районах значно швидше. За оцінками фахівців, у земній корі до глибин семи кілометрів акумульоване тепло, загальна кількість якого в 5 тис. разів перевищує теплоємність усіх видів викопного палива, що є на Землі. Теоретично всього лише одного відсотка тепла, що міститься в Земній корі до глибин 5 км, вистачило б для того, щоб вирішити енергетичні проблеми людства на найближчі 4 тисячі років. Та на практиці це джерело енергії застосовується ще дуже мало. Найкращі результати досягнуто в районах активної вулканічної діяльності, таких як Камчатка, Ісландія тощо, де близько до поверхні залягають термальні води. Через свердловини гаряча водяна пара надходить у турбіни й виробляє електричну енергію.

Відпрацьована гаряча вода (75-80 °С) застосовується для опалення будинків, теплиць, тваринницьких ферм тощо. В холодній Ісландії в оранжереях, що обігріваються термальними водами, навіть вирощують банани, а столиця країни Рейк'явік повністю протягом останніх 40 років опалюється підземним теплом [6].

Особливо ефективними термальні води є в сільському господарстві. Так, на Північному Кавказі собівартість тепличних овочів, що вирощені на геотермальних водах, у 1,5 рази нижча, ніж там, де парники обігріваються за

рахунок котелень, які працюють на мазуті. Нафтовики часто знаходять тут термальні води, які замість нафти надходять із свердловини.

В Україні досі немає жодної установки такого типу, проте, перспективними зонами для застосування геотермальної енергії є Карпати, Закарпаття та Крим.

Під час перетворення геотермальної енергії виникає проблема утилізації відпрацьованих підземних вод. Як правило, вони сильно мінералізовані, і їх не можна подавати в ріки. З деяких таких розсолів добувають йод, цезій, стронцій, бром, літій, рубідій і ще деякі елементи. Відпрацьовані води знову закачують у підземні горизонти для повторного застосування тепла Землі.

Перспектива застосування сонячної енергії може бути корисною в декількох аспектах. По-перше, при заміні нею викопного палива зменшується забруднення води і повітря. По-друге, заміна викопного палива означає скорочення імпорту палива, особливо нафти. По-третє, замінюючи атомне паливо, ми знижуємо можливість поширення ядерної зброї. Нарешті, сонячні джерела можуть забезпечити людству деякий захист, зменшуючи нашу залежність від безперервного постачання паливом [5].

## 1.2 Застосування сонячної енергетики в Україні та усьому світі

Сонце є найпотужнішим джерелом екологічно чистої енергії. 1300 Вт її падає на кожний квадратний метр поверхні земної атмосфери. Проте, до земної поверхні енергія доходить не вся. Частина її відбивається в космос, частина розсіюється атмосферою, частина витрачається на утворення озонового шару тощо. Інтенсивність сонячного випромінювання, що досягає Землі, залежить від декількох факторів, в першу чергу від географічної широти місцевості, а отже, кута нахилу променів до площини поверхні. Найбільша інтенсивність на екваторі (до 2300 кВт/м на рік), а на широті

України (45°) становить близько 1900 кВт/м. Така розсіяність сонячної енергії є головною перешкодою для її застосування. Проте, це не зупиняє інженерів та вчених, які працюють над проблемою перетворення сонячної енергії, адже лише 3,5% сонячної енергії, що падає на Землю, може забезпечити всі енергетичні потреби людства на тривалий час.

На сьогодні існують наступні напрями застосування сонячної енергії:

- отримання електроенергії,
- отримання побутового тепла,
- отримання високотемпературного тепла в промисловості та на транспорті.

Найбільших успіхів людством досягнуто в установках так званої «малої енергетики».

Для отримання електричної енергії використовується кілька методів. З них найперспективнішим є метод безпосереднього перетворення сонячного випромінювання на електроенергію за допомогою напівпровідникових фотоелектричних генераторів (сонячних фотомодулів). Найбільш поширені кремнієві батареї. Вони мають ККД 18-20 %. Більший коефіцієнт корисної дії (до 23%) тільки у генераторів з арсеніду галію. Американські вчені розробляють двохкаскадні фотоелектричні генератори. ККД даних модулів становитиме 40%, але у перспективі й 50%. На сьогоднішній день такі панелі застосовуються ще обмежено:

- на космічних станціях (де їх сумарна потужність перевищує 10 кВт, а площа -100 м<sup>2</sup>),
- ретрансляторах,
- телефонних станціях у пустельних місцевостях,
- навігаційних маяках,
- для живлення невеликих радіостанцій геологів, чабанів тощо.

Широко застосовуються сонячні батарейки, вмонтовані в фонарики, мікрокалькулятори, електронні іграшки тощо. Створення великих

електричних станцій на сонячних панелях стримується високою вартістю самих станцій і вартістю кіловата енергії, що виробляється, нині значно вища, ніж у теплових електростанцій і атомних електростанцій. Проте на сьогодні спостерігається тенденція до зниження вартості панелей. Так, розробки американських учених у даній галузі дозволили за п'ятнадцять років знизити вартість сонячних панелей у 50 разів. В майбутньому очікується, що вона буде зменшуватися й надалі, тоді як вартість спорудження АЕС і ТЕС стабільно зростає [6].

Електричну енергію можна отримувати також за допомогою генераторів, що використовують теплову дію сонячних променів (термоіонні, паротурбінні й термоелектричні генератори). Однією з таких станцій є сонячна електростанція (СЕС), що споруджена в Криму поблизу Керчі.

Сонячні електричні станції не забруднюють навколишнє середовище. Щоправда, вони займають великі площі земель. Проте, на самій Землі є близько 20 млн. км<sup>2</sup> пустель. У цих зонах землі непридатні для сільського господарства, потік сонячної енергії найвищий, а кількість хмарних днів мінімальна протягом року.

Сонячна енергія може використовуватися для отримання побутового тепла та опалення житлових приміщень. Розроблено проекти сонячних будинків, які вже реалізовано в різних країнах (Сполучені Штати Америки, Туркменістан, Узбекистан). Застосовується сонячне проміння, що падає на дах і стіни будівлі, вкриті спеціальними колекторами тепла. В них вода нагрівається до 93°. Для зберігання тепла, зокрема в зимовий період, ніч і хмарні дні, частина тепла у вигляді нагрітої води подається в спеціальні резервуари, що розміщені в підвальному приміщенні й заповнені щебнем. Тепло, акумульоване щебнем, використовується тоді, коли виникає потреба. Влітку сонячна система такого будинку може використовуватися і для охолодження приміщень (кондиціонування повітря). З цією метою вдень колектори відключаються, а вночі працюють, охолоджуючи щебін у

резервуарах нічним прохолодним повітрям. Потім, протягом гарячого дня, охолоджений щєбінь забирає тепло з приміщень.

На думку американських вчених, до 2025 року опалення і кондиціонування за рахунок Сонця в США буде впроваджено в 20 % будинків, а до 2030 року їх кількість становитиме щонайменше 35%. Для України зазначена проблема також дуже актуальна, особливо для південних областей, де влітку гаряче, а взимку не вистачає палива [7].

Слід також додати, що в експериментальних сонячних будинках, що споруджені в США, крім колекторів - збирачів тепла, дахи вкривають ще й сонячними панелями, які забезпечують будинки електричною енергією на протязі дня. Це дає велику економію електричної енергії, яка споживається такою будівлею із загальної мережі.

Сонячна енергія в південних районах може бути застосована також для приготування їжі, сушіння фруктів та зерна, опріснення води, підйому води з глибоких колодязів тощо. Для таких потреб розроблено досить зручні пристрої, наприклад, параболічні дзеркала діаметром близько 1,5 м. У фокусі такого дзеркала чайник з водою ємністю 3 літра закипає за 10 хв.

Для промислових цілей з сонячної енергії можна отримувати високотемпературне тепло (до 3800 °С) у печах. Такі печі працюють у Франції, Узбекистані та інших країнах. Порівняно зі звичайними печами сонячні мають ряд переваг:

- розплавлена речовина не стикається з паливом чи плавильним тиглем,
- плавлення можна здійснювати в будь-якій атмосфері,
- сонячна піч не забруднює навколишнє середовище [6].

Сонячна енергія може застосовуватися і на транспорті для енергоживлення невеликих суден, автомобілів і навіть літаків. З площі декілька квадратних метрів (дах мікроавтобуса) можна зібрати енергію для живлення акумуляторів, які приводять в дію вузли автомобіля.

У сучасному світі розрізняють наступні технології сонячної енергетики:

- пасивні, в контурах систем відсутні будь-які механізми, рухомі частини. Особливістю побудови сонячних пасивних структур для організації систем вентиляції, опалення є підбір відповідних за фізичними параметрами будівельних матеріалів, специфічне планування приміщення, розміщення вікон;

- активні, разом із перетворювачами задіюються механізми, електричні мотори, помпи. Сонячна енергія застосовується для нагріву води, освітлення, вентиляції;

- безпосередньо «прямі» системи, що перетворюють сонячну енергію у ході одного рівня або етапу;

- непрямі системи, процес функціонування яких включає у себе багаторівневі перетворення і трансформації для отримання потрібної форми енергії.

Енергія Сонця отримала найбільше розповсюдження в наступних сферах.

Системи природного освітлення використовуються для облаштування офісів і житлових приміщень, тобто використання сонячного світла в альтернативу електроламп і світильників. Оцінки показують, що навіть в умовах середніх широт для невеликого будинку вистачить сонячних електростанцій з потужністю у 2 (3) кВт, які можуть бути легко розміщені на даху, оскільки займають площу всього 20 (30) м<sup>2</sup>. Відомо, що в Україні середньорічні значення прямої та розсіяної сонячної радіації на горизонтальну поверхню змінюються від 1080 кВт год/м<sup>2</sup> (в районі Чернігова) до 1390 кВт год/м<sup>2</sup> (в районі Євпаторії). Тоді залежно від зони така батарея вироблятиме на рік 2200-2800 (3300-4200) кВт год електричної енергії, що задовольнить енергетичні потреби (без врахування теплопостачання) сім'ї на 3-4 людини.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Сонячні водонагрівальні установки. Це системи нагрівання води в резервуарах, в основному для господарських потреб. Відзначимо, що з технічної точки зору ефективність колекторів знаходиться на досить високому рівні (87%). Сонячні нагрівальні перетворювачі слугують відмінними заміниками газових колонок в побуті, забезпечуючи споживачів гарячою водою для душових та басейнів. Відомо, що за допомогою особливих конструкцій колекторів можна також діставати воду з глибоких колодязів, знесолюючи її; сушити овочі, фрукти, і навіть заморожувати продукти. Сонячний колектор самої простої конструкції площею 1м<sup>2</sup> за день може нагрівати 50-70 л води до температури 80-90 °С. Застосування сонячних колекторів дозволяє забезпечувати гарячою водою багато будівель у південних районах. Колектор встановлюється на даху будинку так, щоб його освітленість впродовж дня була найбільшою. Частина теплової енергії може акумулюватися: короткостроково (до декількох днів) – тепловими акумуляторами, довгостроково (на зимовий період) - хімічними акумуляторами [8].

В теперішній час, особливо в передових країнах, великою популярністю користуються так звані приватні сонячні установки. Стратегія такого бізнесу проста - заповзятливі люди не тільки застосовують сонячну електрику без шкоди для власного бюджету, але і продають надлишки електричної енергії державним структурам. Наприклад, у Німеччині відповідні служби скуповують сонячну електрику у фермерів, приватних осіб, а потім продають її населенню за низькою ціною. Більше того, стати учасником такого специфічного ринку може практично кожен - бізнесмени, що встановлюють фотоелектричні перетворювачі на даху своїх офісів, власники земельних ділянок. При нинішніх цінах стандартна сонячна установка окупиться за 8 - 10 років.

Єдине, що стримує ще більш широке застосування сонячної енергетики - це висока ціна енергії, яка надходить від сонячних елементів. Собівартість

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

сонячної фотоелектричної панелі потужністю 1 Вт становить близько \$2-3, тому окупність енергії, що виробляється сонячними модулями, сягає більше 8 років. Вартість 1 кВт год електричної енергії, яка виробляється фотомодулями, на сьогодні значно вища, ніж для традиційної енергетики, але потрібно зауважити, що, по-перше, ця величина має тенденцію до зменшення для сонячної енергетики та до зростання для традиційної енергетики, а по-друге, сонячна енергетика може успішно конкурувати з традиційною тільки у тих випадках, коли споживання електроенергії порівняно невелике, а підвести електричну енергію від загальної електромережі вартісно або зовсім неможливо. У цих випадках на перший план виступає не вартість електричної енергії, а цінність або необхідність тих функцій, які здійснюються за рахунок неї.

Ефект від використання сонячних фотоелектричних модулів у зазначених напрямках і галузях підвищується, якщо застосовуються більш економні споживачі енергії, спеціально створені для роботи з фотомодулями (холодильники, лампи освітлення, насоси, телевізори). Крім того, термін роботи сонячних елементів практично необмежений і може становити десятки років [10].

У розвинених країнах здійснюються потужні інвестиції у нові наукові розробки, головна мета яких - здешевлення сонячної енергії. Здійснюється формування нових ринків споживання. Слід згадати програму «Мільйон сонячних дахів» у США, «100 тисяч сонячних дахів» у Німеччині, Італії та інші програми. Уряди Японії, США та Західної Європи стимулюють споживання сонячної енергії населенням. Для цього виділяються безвідсоткові довгострокові кредити на придбання сонячних панелей, безкоштовно проводиться сервісне обслуговування таких установок.

Загальна потужність сонячних електричних станцій, за даними Європейської асоціації сонячної енергетики, на кінець 2021 року сягала 67,4

ГВт. Вже другий рік поспіль сонячна енергетика світу зростає на близько 70 % на рік.

Сонячна енергетика в Україні.

Наша країна розташована у Центрально-Східній Європі, у південно-східній частині Східноєвропейської рівнини, між 44° і 52° північної широти і 22° і 41° східної довготи.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м поверхні, на території країни лежить у межах від 1000 кВт год/м у північній частині України і до 1400 кВт год/м в АР Крим. Простіше кажучи, сонячна енергія, що реально надходить за три дні на територію України, перевищує енергію всього річного споживання електричної енергії у нашій країні. А тривалість сонячних годин (не самої сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) на протязі року в північно-західній частині України становить 1600 - 1700 год. У лісостеповій зоні вона зростає до 1900-2000 год на рік. У степовій зоні, на морських узбережжях досягає 2300-2400 год за рік. Максимальне сонячне сяйво у Кримських горах - 2453 год на рік (Карабі - Яйла) [19].

В загальному середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт год/м) є достатньо високим і набагато вищим, ніж, скажімо, в Німеччині - 1000 кВт год/м, чи навіть у Польщі - 1080 кВт год/м. Отже, Україна має гарні можливості для ефективного застосування теплоенергетичного обладнання на своїй території.

В 2021 році встановлена потужність електричних станцій на відновлюваних джерелах енергії в Україні зросла із 152 МВт до 397 МВт. Таким чином, темп зростання відновлюваної енергетики України за встановленою потужністю торік становив 161 %.

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України розмістило інформацію про розвиток відновлюваної енергетики України в 2021 році. Встановлена потужність електростанцій, що застосовують

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

відновлювані джерела енергії, торік зросла більше, ніж у 2,5 разу, а виробництво електричної енергії сягнуло 332 млн кВт/год [9].

Вітрові електростанції України в 2021 році виробили майже 89 млн кВт/год електричної енергії, сонячні електростанції – 30 млн кВт/год, малі гідроелектростанції – 203,5 млн кВт/год, електростанції на біомасі – 9,6 млн кВт/год [10].

Потенціал застосування сонячної енергії для виробництва електричної енергії в Україні, який досить високо оцінюють експерти, набуває практичного втілення: розвиток сонячної енергетики віднесено до пріоритетних національних проєктів. Станом на квітень 2022 року потужність збудованих сонячних електростанцій України сягнула вже близько 2300 МВт.

Останнім часом багато людей оснащують свої будівлі системами, що працюють від альтернативних джерел енергії. Великою популярністю серед подібного устаткування користуються геліоколектори для отримання гарячого водопостачання. Використовуючи енергію Сонця, вони забезпечують будинок теплом в автономному режимі і дозволяють практично не залежати в питаннях гарячого водопостачання від житлово-комунальних структур міста [12].

Працюючи від безкоштовного невичерпного джерела енергії, сонячні колектори допомагають заощаджувати кошти на створення умов для комфортного проживання в оселі. До того ж, воно зручне в експлуатації і при правильному обслуговуванні прослужить не одне десятиліття.

Таким чином, за сонячною енергетикою має велике майбутнє. Її розвиток сьогодні, стримується тільки недостатнім фінансуванням. Серед розглянутих джерел одним із найбільш перспективних є пряме перетворення сонячного випромінювання в електроенергію у напівпровідникових сонячних елементах [13].

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електроенергію є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується від енергії, що споживається, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом отримання електроенергії на відміну від інших, які застосовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

### 1.3 Будова сонячного фотомодуля та явище фотоелектричного ефекту

#### 1.3.1 Будова сонячної панелі

Будова сонячного елемента.

Сонячний елемент складається з двох шарів з різними типами провідності та контактів для приєднання до зовнішнього кола.

Зовнішній шар, називають ще n- (negative) шаром. Він характеризується електронним типом провідності. Здійснюється за рахунок руху вільних електронів, утворених в результаті руйнування зв'язків в атомі (рис.1.1).

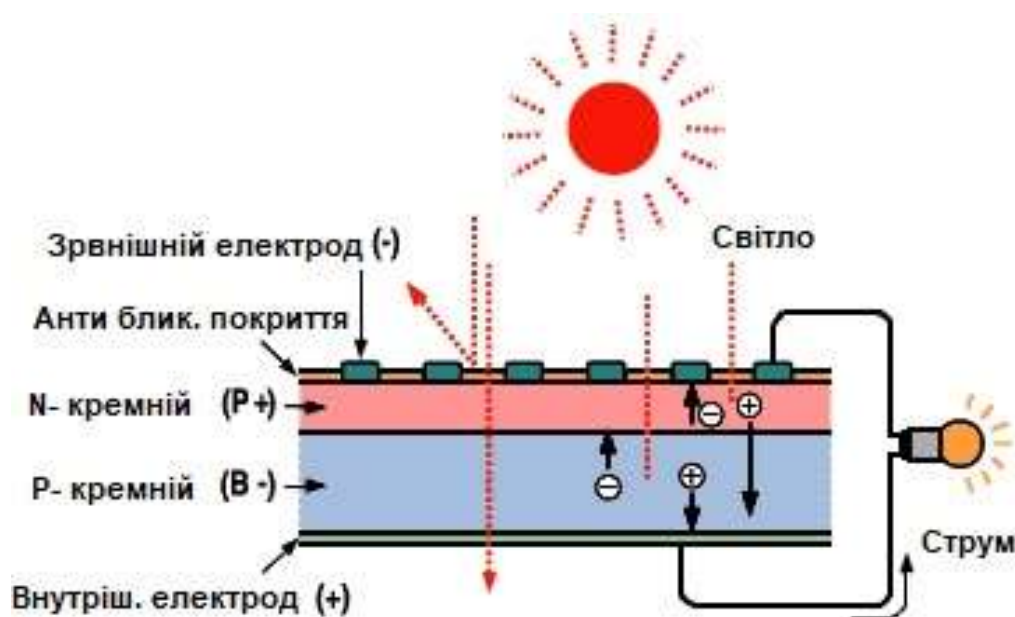


Рисунок 1.1 - Будова сонячного елемента

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Внутрішній, р- (positive) шар, має дірковий тип провідності. Він обумовлений наявністю в атомах місць з відсутніми електронами - «дірками». Ці «дірки» за рахунок послідовного перескакування електронів з атома в атом можуть вільно переміщатися. На місці електрона, що перепригнув утворюється дірка, на неї перескакує електрон від сусіднього атома, створюючи наступну дірку і так далі.

На границі р- і n- шарів утворюється р-n перехід - частина електронів з n- шару переходить в р- шар, відповідно, кількість дірок в n- шарі наростає. Ця взаємна дифузія призводить до утворення контактної різниці потенціалів і «замикаючого шару, який перешкоджає подальшому переходу електронів і дірок через границю шарів.

Механізм дії, коли фотон світла потрапляє в n- шар, він поглинається електроном, енергія електрона збільшується, і він може «перескочити» замикаючий шар. В результаті, n- шар набуває додаткового негативного заряду, а р- шар – позитивного. Через це, первісна контактна різниця потенціалів між р - і n- шарами напівпровідника знижується, з'являється напруга зовнішнього кола, починає протікати струм [25].

Сила струму в фотоелементі змінюється пропорційно кількості захоплених фотонів. Даний показник залежить від багатьох чинників:

- площі, яку покриває фотоелемент,
- інтенсивності сонячного випромінювання,
- термінів експлуатації і, звичайно,
- ККД конструкції, який до того ж залежить від температури – при сильному нагріванні провідність фотоелемента падає.

### 1.3.2 Явище фотоефекту

У 1887 р. Г. Герц спостерігав явище, яке в подальшому стало поштовхом у розвитку квантових уявлень про природу світла. Під час

опромінення ультрафіолетовим світлом негативно зарядженої пластинки відбувається сильніший електричний розряд, ніж за відсутності цього опромінення. Як виявилось пізніше, це було проявом явища фотоефекту - виходу електронів під дією електромагнітного випромінювання із тіла в інше середовище або вакуум. Такий вид фотоефекту називають зовнішнім, або фотоелектронною емісією (рис.1.2).

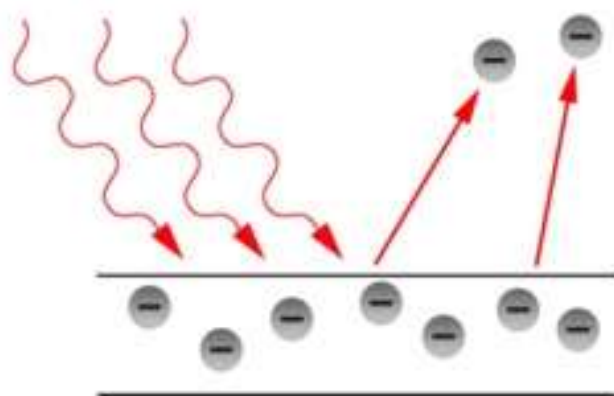


Рисунок 1.2 - Ілюстрація вибивання фотоелектронів із металевої пластини

Фотоефект є результатом трьох послідовних процесів:

- поглинання фотона, в результаті чого енергія одного електрона стає більшою за середню;
- руху цього електрона до поверхні тіла;
- виходу його за межі тіла в інше середовище через поверхню розподілу.

В 1888 - 1889 р. це явище докладно вивчав вчений О. Г. Столетов (1839 – 1896 р.р.). Він виготовив конденсатор, одна з обкладок якого С була сітчастою, й увімкнув його в електричне коло з гальванометром.

Коли на негативно заряджену цинкову обкладку Р падає ультрафіолетове світло, у електричному колі виникає струм, який фіксує

гальванометр. Якщо джерело струму  $E$  увімкнати протилежно (обкладку  $P$  приєднати до позитивного полюса), то струм у електричному колі не протікатиме. За допомогою потенціометра  $R$  можна змінювати напругу на конденсаторі.

Утворення фото електрорушійної сили використовують у різних приладах, призначених для вимірювання потужності випромінювання, сонячних фотомодулів, які застосовують у космічній техніці тощо [20].

Останнім часом в електронних пристроях і засобах сигналізації широко застосовують фотоелементи. В основу їхньої дії покладено властивість фотокатода здійснювати емісію електронів під впливом випромінювання. Фотокатод складається з тонкої плівки фотоемісійного матеріалу, нанесеної на пластинку, що опромінюється. Фотокатод разом з анодом поміщають у скляну колбу, з якої викачано повітря (вакуумний фотоелемент), або наповнюють її газом (газо наповнений фотоелемент).

Фото ЕРС - виникнення електрорушійної сили унаслідок опромінення напівпровідників в електричному колі фотоелемента (рис.1.3), який не опромінюється, електричний струм відсутній, оскільки між катодом і анодом немає вільних носіїв заряду. Під час освітлення фотокатода утворюються фотоелектрони, які прямують до анода, тобто в електричному колі виникає електричний струм.

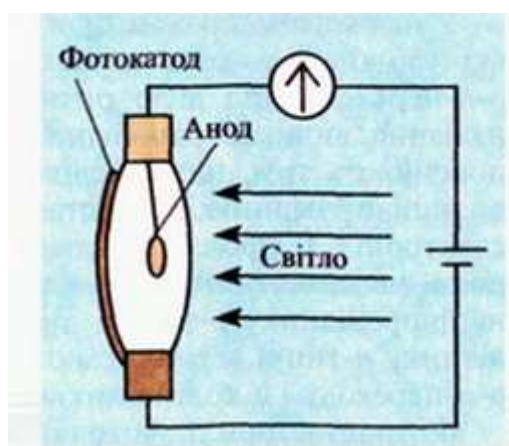


Рисунок 1.3 - Фотоелемент

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Залежно від матеріалу фотокатода даний прилад може мати різні оптичні властивості.

Отже, він може бути чутливим лише до певного діапазону хвиль, наприклад ультрафіолетового випромінювання, і не реагувати на видиме світло. Є фотоелементи, які охоплюють весь спектр видимого світла або є чутливими в інфрачервоному діапазоні хвиль. Таку здатність фотоелементів застосовують у різних оптичних приладах, зокрема у приладах нічного бачення [17].

Вивчивши за допомогою даної установки залежність сили струму від частоти хвилі світла, його інтенсивності, інших характеристик випромінювання, Столетов О.Г. встановив три закони фотоефекту:

- число електронів, що вилітають із поверхні тіла під дією електромагнітного випромінювання є пропорційним його інтенсивності. У 1888 р. німецький фізик В. Гальвакс встановив, що під дією світла металева пластина заряджається позитивно;

- для кожної речовини в залежності від її температури і стану поверхні існує мінімальна частота світла  $\nu_0$ , за якої ще можливий зовнішній фотоефект;

- максимальна кінетична енергія фотоелектронів залежить тільки від частоти опромінення і не залежить від його інтенсивності.

При поясненні цих висновків на основі хвильової теорії виникли протиріччя між її положеннями й отриманими результатами. Це змусило вчених шукати інше тлумачення механізму поглинання світлового випромінювання. З цією метою А. Ейнштейн використав квантові уявлення про природу світла і на їх основі вивів рівняння фотоефекту:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A \quad (1.1)$$

де  $\nu$  - частота світла;

$h$  - стала Планка;

$v$  - його швидкість;

$m$  - маса електрона;

$A$  - робота виходу.

Як відомо, для того щоб електрон покинув тверде тіло або рідину, він має здійснити роботу виходу  $A_0$ , тобто подолати енергетичний бар'єр взаємодії з атомами і молекулами, які утримують його всередині самого тіла. За квантовою теорією поглинання світла, це передача фотонем усієї своєї енергії мікрочастинкам речовини. Отже, фотоэффект може здійснюватися лише за умови, що фотон має енергію більшу за роботу виходу ( $h\nu > A_0$ ). Якщо ж  $h\nu < A_0$ , то фотоэффект є неможливим. Якщо енергія фотона, що передана електрону внаслідок поглинання світла, більша за роботу виходу, то електрон набуває кінетичної енергії [18].

Мінімальну частоту  $\nu_0$  (або максимальну довжину хвилі  $\lambda_0$ ) випромінювання, яке ще викликає зовнішній фотоэффект, називають червоною межею фотоэффекту.

Фотоелектрони - це електрони, вибиті з поверхні тіла внаслідок явища фотоэффекту.

Фізичний зміст роботи виходу в металів полягає в тому, що це мінімальна енергія, необхідна для виходу електрона з тіла у вакуум. Тому, окрім хімічної природи металу, вона істотно залежить від стану поверхні тіла [22].

#### 1.4 Види сонячних елементів, які застосовуються в виробництві сонячних панелей [17]

Сучасний розвиток світової економіки безпосередньо пов'язаний із зростанням темпів виробництва енергії, що в свою чергу перевищує темпи

зростання населення Землі. На сьогоднішній день перед енергетикою стоїть багато проблем, і найбільш гостра - проблема її джерел. На сьогодні 6 млрд. чоловік на Землі споживають більше 12 млрд. кВт енергії за рік, тобто у середньому приходиться 2 кВт на людину. Біля 90% енергії людство отримує за рахунок органічних видів палива - нафти, вугілля, газу. Такі джерела енергії називають невідновлюваним, бо швидкість їх нагромадження в земних надрах набагато менша швидкості їх використання - приблизно у 106 разів. Тому у світі все більше звертають увагу на застосування так званих відновлюваних джерел енергії - сонячного випромінювання, тепла Землі, енергії вітру.

Всі практично джерела енергії повністю зумовлені прямою дією Сонця. Серед зазначених одним із найбільш перспективних джерел є пряме перетворення сонячного випромінювання в електрику в напівпровідникових сонячних елементах. Такі елементи називаються сонячними батареями або фотовольтаїкою. Перетворення енергії в фотоелектричних панелях базується на фотовольтаїчному ефекті. Він утворюється в напівпровідникових неоднорідних структурах в результаті впливу на них випромінювання Сонця.

Сонячна батарея складається з окремих фотоелектричних елементів, які з'єднуючись разом, забезпечують потрібну потужність батареї (лист [МРМА22.01.00.000ДО1]). Ефективність процесу перетворення залежить виключно від параметрів і оптичних якостей сонячних фотомодулів. На даний час на ринку можна зустріти шість типів сонячних панелей, які відрізняються матеріалами, з яких виготовлені їхні елементи [22].

Сонячні панелі з полікристалічних фотоелектричних елементів найбільш поширені у зв'язку з оптимальним співвідношенням вартості і ККД серед всіх різновидів панелей. Їхній ККД становить 12-14%. У елементів, які утворюють панель, характерна кристалічна структура і синій колір (рис.1.4).



Рисунок 1.4 - Полікристалічний сонячний елемент

Сонячні панелі з монокристалічних фотоелектричних елементів більш ефективні, але і більш вартісні в перерахунку на ват потужності. Основний матеріал - дуже чистий кремній, з якого виготовлені монокристалічні сонячні панелі, добре засвоєний в області виробництва напівпровідників. Їхній ККД, як правило, лежить в діапазоні 14-16%. Їх візуальний вигляд представлено на рис. 1.5.

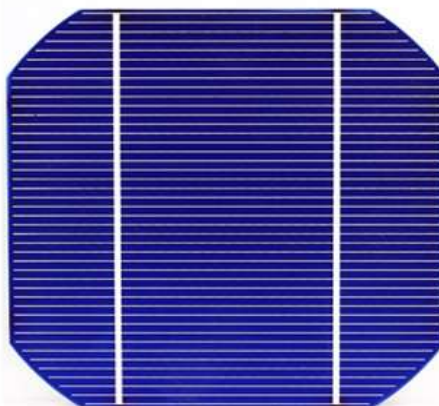


Рисунок 1.5 - Монокристалічний сонячний елемент

Як правило монокристалічні елементи мають форму багатокутників, якими вкрай важко заповнити всю площу панелі без залишку. В результаті питома потужність сонячної батареї трохи нижча, ніж питома потужність окремого її елемента.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.  
31

Сонячні панелі з аморфного кремнію мають один з найбільш низьких коефіцієнтів корисної дії. Як правило його значення лежить в межах 6-8%. Однак серед усіх кремнієвих технологій фотоелектричних перетворювачів вони виробляють найдешевшу електричну енергію.

Аморфний кремній видобувається за допомогою «технології випарної фази», коли тонка плівка кремнію осідає на сам несучий матеріал і захищається покриттям. Такий елемент зображено на рис. 1.6. Ця технологія має як переваги, так і недоліки.

Переваги технології:

- процес виробництва сонячних панелей на основі аморфного кремнію порівняно простий і недорогий;
- можливе виробництво елементів великої площі;
- низьке енергоспоживання.

Недоліки елементів в тому, що:

- ефективність перетворення значно менше, ніж у кристалічних елементах;
- елементи схильні до процесу деградації та спотворення.



Рисунок 1.6 - Сонячний елемент на основі аморфного кремнію

Сонячні панелі з телуриду кадмію ( $CdTe$ ) виготовляються на основі плівкової технології. Напівпровідникову плівку тонким шаром у кілька сотень мікрметрів наносять на основу. Ефективність елементів з телуриду

кадмію невелика і ККД складає близько 11%. Проте, в порівнянні з кремнієвими панелями, вартість таких панелей обходиться на кілька десятків відсотків дешевше. Таку панель приведено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 - Сонячний елемент на основі телуриду кадмію

Сонячні панелі на основі CIGS.

CIGS - це напівпровідник, який складається з індію, міді, галію та селену. Такий тип сонячних панелей теж виконаний за плівковою технологією, але в порівнянні з панелями з телуриду кадмію має більш високу ефективність, його ККД доходить до 15% [21].

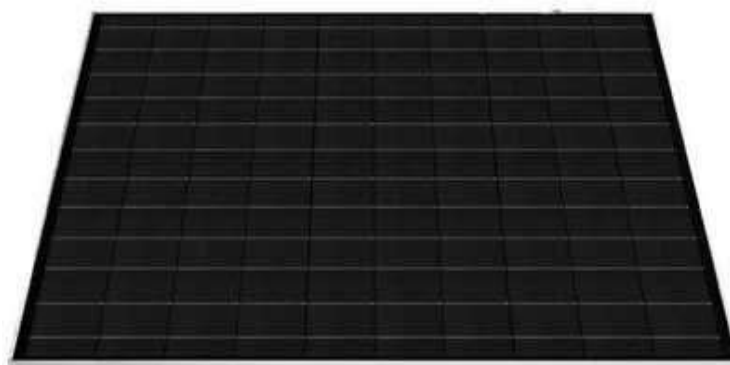


Рисунок 1.8 - Сонячна панель на основі CIGS

Тонкоплівкові фотовольтажні модулі (ThinFilmTechnology) є самими продуктивними сонячними панелями з доступних в Україні - їхній ККД наближений до показника 25% (рис.1.9). Виготовляються дані батареї за передовою американською технологією всього на декількох заводах в світі.

Основне призначення таких модулів - це генерація енергії в промислових об'ємах. За рахунок високого вольтажу і низького амперажу такі модулі є сенс встановлювати на об'єктах де сумарна встановлена потужність повинна перевищувати 10 кВт.

Фактична продуктивність 10 кВт системи в годину становить 2,5 кВт електричної енергії.



Рисунок 1.9 - Тонкоплівковий фотовольтажний модуль

Головна перевага таких панелей - це виробництво енергії при розсіяному сонячному світлі і в похмуру погоду. Обмеженням є площа, яку вони займають. Для порівняння 10 кВт встановленої потужності займатиме 183 м<sup>2</sup>.

Одна з переваг тонкоплівкових фотовольтажних модулів заключається в тому, що в той час, як в стандартних сонячних фотомодулях використовують величину струму, яка дорівнює 8 ампер і величину напруги 30 вольт, у запропонованих панелях використовується 3,6 ампера і 70 вольт відповідно [16].

Зазначений фактор впливає на те, що тонкоплівкові фотовольтажні модулі приблизно в 4 рази менше нагріваються. Також панелі мають велику довговічність, у зв'язку з тим, що в панелі немає металевих частин. Завдяки сучасній технології виготовлення, і відсутності металевих частин

пропоновані панелі важать в 2 рази менше, ніж стандартні фотоелектричні модулі.

Створення сонячних електростанцій на базі тонкоплівкових фотовольтажних модулів дозволяє досягти максимального ефекту при мінімальних інвестиціях. При порівнянні з моно- або полі- кристалічними модулями продуктивність електростанції створеної на основі Thin Film Technology збільшується на 30% порівняно з монокристалічними панелями і на 50% в порівнянні з полікристалічними. Основна причина такої високої продуктивності Thin Film Technology криється в передовій технології і технічних характеристиках.

Потенційні покупці сонячних фотомодулів часто задають собі питання, чи зможе той чи інший тип фотоелектричних перетворювачів забезпечити потрібну потужність всієї системи. Тут треба розуміти, що ефективність сонячних модулів безпосередньо не впливає на кількість виробленої установкою електричної енергії [23].

Однакову потужність всієї установки можна отримати за допомогою будь-яких типів сонячних панелей, однак більш ефективні фотоелектричні перетворювачі займуть менше місця, для їх розміщення знадобиться менша площа. Наприклад, якщо для отримання одного кіловата електричної енергії необхідно буде близько 8 м<sup>2</sup> поверхні сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію, то панелі з аморфного кремнію займуть вже площу близько 20 м<sup>2</sup>.

Наведений приклад, звичайно ж, не є абсолютним. На виробництво електричної енергії фотоелектричними перетворювачами впливає не лише загальна площа сонячних панелей. Електричні параметри будь-якої сонячної батареї визначаються в так званих стандартних умовах тестування, а саме при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м<sup>2</sup> і робочій температурі модуля 25°C.

В країнах Східної та Центральної Європи інтенсивність сонячного випромінювання рідко досягає номінального значення. Тому навіть в сонячні дні фотоелектричні модулі працюють з недовантаженням. Може здатись, що і температура 25 °С теж зустрічається не так вже й часто. Однак мова йде про температуру сонячної панелі, а не про температуру повітря.

Після аналізу альтернативних джерел енергії, можна зробити висновок про те, що є доцільним розробка технології виготовлення конструкції сонячної панелі.

Для розробки конструкції фотомодуля було вибрано полікристалічні елементи. Панелі на основі полікристалічного кремнію мають досить низький коефіцієнт корисної дії (12-14%), але даний недолік нівелюється тим, що полікристали практично не знижують потужність при хмарності і похмурій погоді. Гарантована довговічність таких елементів сягає 10 років. Фотомодулі на основі монокристалічного кремнію мають ККД близько 15% при терміні експлуатації близько 25 років, але такі елементи сильно знижують потужність при відсутності прямого сонячного світла. Причому за весь період експлуатації втрата потужності у кремнієвих моно і полікристалічних елементах складає не більше 10 %. Тому було вибрано саме полікристалічні сонячні елементи для створення фотомодуля.

### 1.5 Схеми роботи сонячної електростанції [26]

Розглянемо декілька популярних схем роботи сонячних електростанцій зі споживачем. Це всього лише деякі приклади, але можливі й інші схеми роботи. В кожному випадку складається індивідуальний проект, який здатний вирішити поставлене перед нами завдання (лист [МРМА22.00.00.000ДО2]).

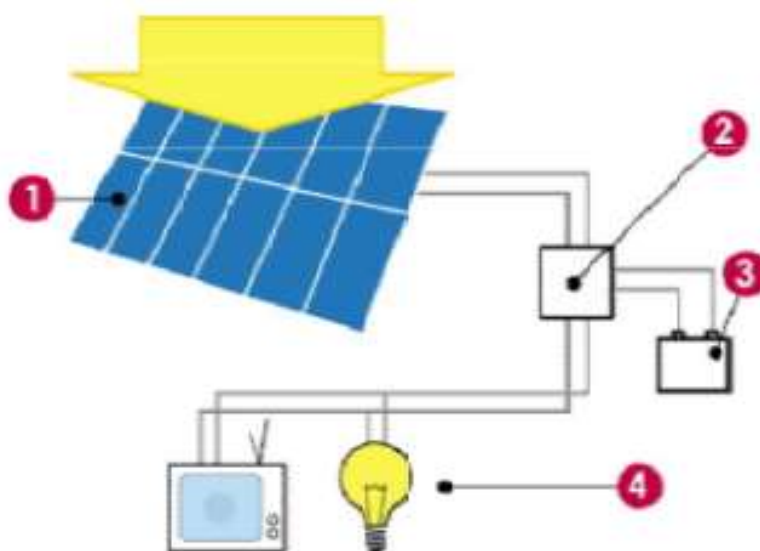
Автономні системи.

Автономні фотоелектричні системи (АФС) використовуються там, де немає мереж централізованого електропостачання. Для забезпечення енергією

в темний час доби або в періоди без яскравого сонячного світла необхідна акумуляторна батарея. АФС часто використовуються для електропостачання окремих будинків. Малі системи дозволяють жити базове навантаження (освітлення та іноді телевізор чи радіо). Потужніші системи можуть також жити водяний насос, радіостанцію, холодильник, електроінструменти тощо. Система складається з панелі, контролера, акумуляторної батареї, кабелів, електричного навантаження та підтримуючої структури (рис.1.10) [28]. Електрична схема автономного забезпечення об'єкта з акумуляторами приведена на листі [МРМА22.00.00.000 С1]).

Приєднані до мережі сонячні фотоелектричні системи.

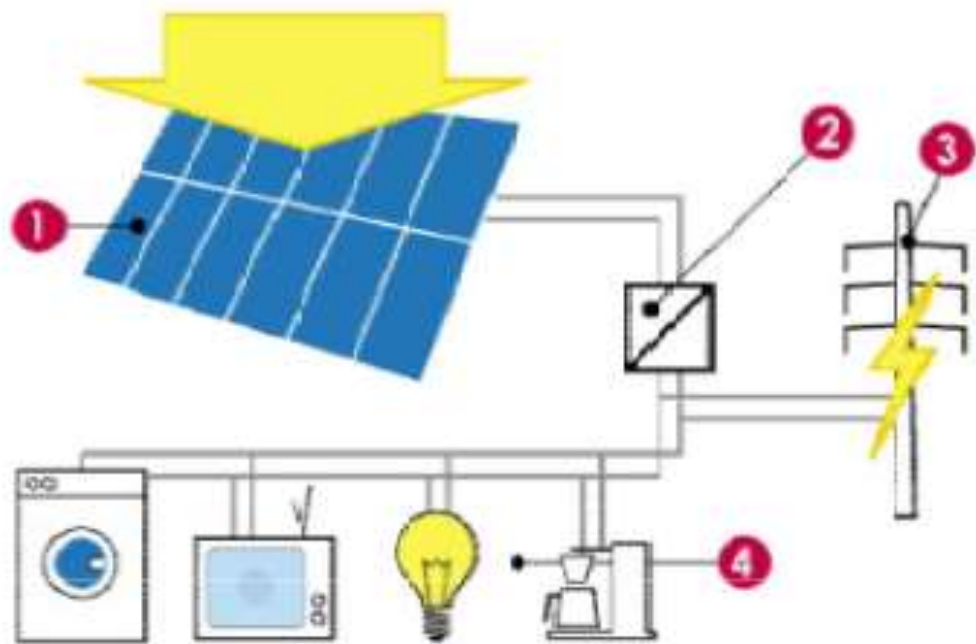
Якщо є мережа централізованого електропостачання, але є бажання мати електроенергію від чистого джерела (Сонця), сонячні панелі можуть бути приєднані до мережі. За умовою підключення достатньої кількості фотоелектричних модулів, певна частина навантаження в будинку може житися від сонячної електрики. Приєднані до мережі фотоелектричні системи зазвичай складаються з одного чи багатьох модулів, інвертора, кабелів, підтримуючої структури та електричного навантаження (рис.1.11).



1-фотоелектричні батареї; 2-контролер заряду акумуляторних батарей + інвертор; 3-акумуляторні батареї; 4-навантаження

Рисунок 1.10 – Автономна фотоелектрична система

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

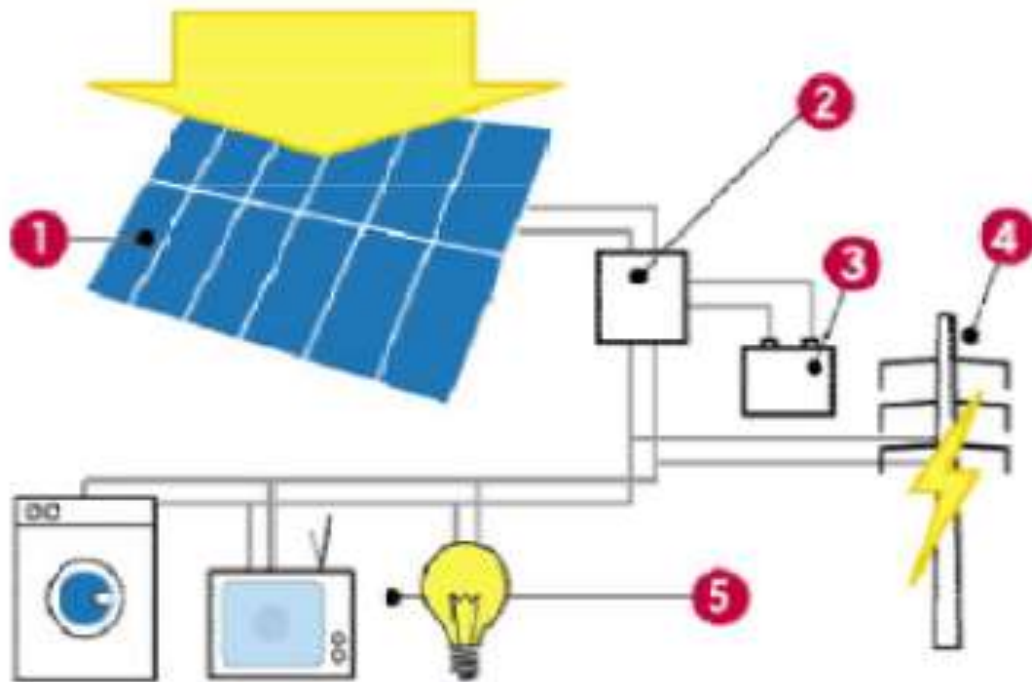


1-фотоелектричні батареї; 2-мережевий інвертор; 3-мережа;  
4-навантаження

Рисунок 1.11 – Приєднана до мережі фотоелектрична система

Резервні фотоелектричні системи.

Резервні фотоелектричні системи використовуються там, де є з'єднання з мережею централізованого електропостачання, але мережа ненадійна (рис.1.12). Резервні системи можуть використовуватися для електропостачання в періоди, коли немає напруги в мережі. Малі резервні сонячні системи електропостачання найважливішого навантаження – освітлення, компютер і засоби зв'язку (телефон, радіо, факс тощо). Більші системи можуть також забезпечувати енергією й холодильник під час відключення мережі. Чим більша потужність необхідна для живлення відповідального навантаження, і чим довші періоди відключення мережі, тим більша необхідна потужність фотоелектричної системи.



1-фотоелектричні батареї; 2-контролер заряду акумуляторних батарей + інвертор; 3-акумуляторні батареї; 4-мережа; 5-навантаження

Рисунок 1.12 – Резервна фотоелектрична система

## 1.6 Висновки до розділу 1

В даному розділі було проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. На основі проведеного огляду, можна зробити наступні висновки.

1) Все більшу популярність у світі набувають альтернативні джерела енергії. Їхня перевага полягає в відновлюваних енергетичних ресурсах. До таких джерел можна віднести: енергію Сонця, вітру, припливів, глибинне тепло Землі. Серед зазначених джерел одним із найбільш перспективних є пряме перетворення сонячного випромінювання в електроенергію у напівпровідникових сонячних елементах.

2) Визначено їхню будову та основні характеристики.

3) Визначено тип сонячної панелі, яка буде застосовуватися в дослідженнях.

4) Наведено декілька популярних схем роботи сонячних електростанцій зі споживачем.

Після аналізу параметрів сонячних елементів, було зроблено висновок, що є цілком доцільно розробити технологію виготовлення конструкції сонячної панелі. З представлених сонячних елементів, для розробки конструкції сонячного фотомодуля, було вибрано елементи на основі полікристалічного кремнію.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО ФОТОМОДУЛЯ

### 2.1 Загальні відомості

Математична модель – це наближений опис довільного класу явищ зовнішнього світу, поданий за допомогою математичної символіки. Математичне моделювання виступає як метод пізнання зовнішнього світу, а також прогнозування і керування. Аналіз математичних моделей дозволяє проникнути в сутність досліджуваних явищ [19].

Моделювання зводиться до дослідження властивостей визначеного об'єкта вивченням (аналізом, дослідженням) аналогічних властивостей іншого об'єкта, більш зручного для дослідження, який знаходиться з першим у певній відповідності. Перший об'єкт називається в цьому випадку оригіналом, а другий називається моделлю. Як модель, так і оригінал можуть бути фізичними явищами чи матеріальними тілами, або описом цих тіл чи явищ за допомогою тих чи інших засобів. В ролі оригіналу може виступати, наприклад, певна проблема, моделлю якої буде задача меншого рівня складності. Скажімо, так звана обчислювальна модель є абстрактною чи конкретною задачею, яка відповідає проблемі чисельного розв'язання певного класу математичних чи прикладних задач. Якщо при переході від оригіналу до моделі застосовується заміна оригіналу на матеріальне тіло чи явище, то така модель називається фізичною; якщо ж оригінал замінюється його описом, то модель може бути математичною, вербальною, або графічною, залежно від символів, що використовуються при описі. Реалізована у вигляді пристрою, або макета, чи зафіксована у вигляді словесного опису, формули, рівняння, графіка, креслення, модель є системою наших уявлень про оригінал, його властивості і взаємозв'язки на певному етапі пізнання оригіналу. Вибір методів і об'єктів моделювання визначається поставленою задачею [19].

До основних характеристик математичних моделей (ММ) належать:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- точність моделі;
- ступінь універсальності моделі;
- адекватність моделі;

Точність математичної моделі оцінюється за схожістю значень параметрів реального об'єкта і значень тих же параметрів, що отримані за допомогою побудованої моделі; при цьому ступінь схожості розраховують через відхилення цих параметрів.

Побудову математичної моделі, тобто вивчення явища за допомогою математичної моделі, можна умовно розбити на 4 етапи:

- етап змістовного опису;
- етап формалізації опису;
- етап кінцевої побудови моделі (ідентифікації параметрів і перевірки адекватності моделі);
- етап перегляду і вдосконалення моделі за результатами узагальнення емпірично накопичених даних [19].

Метод математичного модулювання, який зводить дослідження явищ зовнішнього світу до математичних задач, посідає провідне місце серед інших методів досліджень, особливо завдяки наявності комп'ютерів. Він дозволяє проектувати нові технічні засоби, що працюють в оптимальних режимах, для розв'язання складних задач науки і техніки та передбачати нові явища. Математичні моделі зарекомендували себе важливим засобом керування. Вони застосовуються у різних галузях знань, стали необхідним апаратом економічного планування і важливим елементом автоматизованих систем керування [19].

## 2.2 Математична модель сонячного фотомодуля

Розробимо математичну модель сонячної панелі як перетворювача сонячної енергії в електричну. Вона дозволить враховувати вплив

температури навколишнього середовища та самого фотоелектричного модуля, а також струм навантаження, вихідну потужність пристрою та визначати коефіцієнт корисної дії (лист [МРМА 22.00.00.000 ДІ]).

Математична модель фотоелектричної панелі дозволяє визначити її електричну потужність у залежності від густини потоку сонячного випромінювання, температури оточуючого середовища та фотомодуля [27].

Насправді ж вихідна потужність сонячної електростанції буде залежати від багатьох чинників, зокрема від температури оточуючого середовища, температури фотомодуля, струму навантаження батареї:

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}} [1 + \alpha_p (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})]; \quad (2.1)$$

де  $P_{\text{ФЕБ}}(t)$  - вихідна потужність фотоелектричної батареї, Вт;

$P_{\text{ФЕБном}}$  - номінальна потужність фотоелектричної батареї при СУ, Вт;

$k_{з.е}$  - коефіцієнт зниження ефективності фотоелектричної батареї;

$I_{\beta}(t)$  - середнє значення густини потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню фотоелектричної батареї за годинний інтервал, Вт/м<sup>2</sup> ;

$I_{\text{СУ}}$  - густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню фотоелектричної батареї при СУ, кВт/м<sup>2</sup>;

$\alpha_p$  - температурний коефіцієнт потужності фотоелектричної батареї, °С<sup>-1</sup>;

$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t)$  - поточна температура фотоелектричної батареї, °С;

$\vartheta_{\text{СУ}}$  - температура фотоелектричної батареї при СУ, °С.

Під стандартними умовами підрозумівають наступні:

- густину потоку сонячного випромінювання  $I_{\text{СУ}} = 1$  кВт/м<sup>2</sup>,

- температуру поверхні фотоелектричної батареї  $\vartheta_{\text{ФЕБ}} = 25$  °С.

Параметри, які отримуються при цих умовах називаються номінальними параметрами фотоелектричної батареї [27].

Температура фотоелектричної батареї - це температура її поверхні.

В нічний час доби температура поверхні батареї дорівнює температурі оточуючого середовища, а при освітленні сонячними променями може перевищувати температуру оточуючого середовища понад 30°C.

Температуру фотоелектричної батареї можна знайти з рівняння балансу потужностей (2.2), яке відображає баланс між сонячною енергією, що падає на фотоелектричну батарею, електричною потужністю і тепловіддачею в оточуюче середовище:

$$\tau \alpha I(t) = \eta_{\text{ФЕБ}} I_{\beta}(t) + \alpha_{\text{ФЕБ}} [\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_0(t)]. \quad (2.2)$$

де  $\tau$  - коефіцієнт пропускання ФЕБ;

$\alpha$  - коефіцієнт поглинання ФЕБ;

$I_{\beta}(t)$  - густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню фотоелектричної батареї, кВт/м<sup>2</sup>;

$\eta_{\text{ФЕБ}}$  - ККД фотоелектричної батареї;

$\alpha_{\text{ФЕБ}}$  - коефіцієнт тепловіддачі від фотоелектричної батареї в оточуюче середовище, кВт/(м<sup>2</sup> °С);

$\vartheta_0(t)$  - температура оточуючого середовища, °С.

Розв'язавши (2.2) відносно  $\vartheta_{\text{ФЕБ}}$ , отримаємо:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} \left( 1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} \right). \quad (2.3)$$

Так як величину  $\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$  практично виміряти дуже важко, тому використовують технічні дані виробників:

$$\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} = \frac{\vartheta_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}} - \vartheta_{0_{\text{ном}}}}{I_{\text{ном}}}; \quad (2.4)$$

де  $\vartheta_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}}$  - номінальна робоча температура фотоелектричної батареї при випробуваннях, °С;

$\vartheta_{0_{\text{ном}}}$  - температура оточуючого середовища, (як правило  $T_{\text{ном}} - 20$  °С);

$I_{\text{ном}}$  - густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню фотоелектричної батареї при проведенні випробувань, кВт/м<sup>2</sup>, (як правило  $I_{\text{ном}} - 800$  Вт/м<sup>2</sup>).

Для спрощення будемо вважати, що величина  $\frac{\tau\alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$  постійна, тоді рівняння (2.5) можна представити у вигляді [27]:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\vartheta_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}} - \vartheta_{0_{\text{ном}}}}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}\right). \quad (2.5)$$

Приймемо, що величина  $\tau\alpha = 0,9$ . Оскільки величина відношення  $\frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau\alpha}$  значно менша одиниці, то попереднє допущення не вносить значної похибки.

Вважатимемо також, що система керування фотоелектричною батареєю автоматично підтримує режим роботи в точці відбору максимальної потужності. Це означає, що ККД фотоелектричної батареї завжди має максимальне значення (2.6):

$$\eta_{\text{ФЕБ}} = \eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}}}; \quad (2.6)$$

де  $\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}}}$  - ККД фотоелектричної батареї в точці відбору максимальної потужності.

Враховуючи (2.6) рівняння (2.5) набуває вигляду [27]:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}} - \vartheta_{0_{\text{ном}}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}}}(t)}{\tau\alpha}\right). \quad (2.7)$$

Величина  $\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}}}$  залежить від температури. Вважатимемо, що ККД змінюється за лінійним законом згідно рівняння (2.8):

$$\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}}}(t) = \eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}} \text{ СУ}} [1 + \alpha_p (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})]; \quad (2.8)$$

де  $\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}} \text{ СУ}}$  - ККД фотоелектричної батареї в точці максимальної потужності при СУ.

Підставивши вираз (2.8) у (2.7) отримаємо рівняння для визначення поточної температури фотоелектричної батареї:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}} - \vartheta_{0_{\text{ном}}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}}}(t)}{\tau \alpha}\right). \quad (2.9)$$

Якщо значення  $\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}} \text{ СУ}}$  не зазначено в документації, то воно визначається із наступного виразу [27]:

$$\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{max}} \text{ СУ}} = \frac{P_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}}}{F_{\text{ФЕБ}} I_{\text{СУ}}}; \quad (2.10)$$

де  $F_{\text{ФЕБ}}$  - площа фотоелектричної батареї, м<sup>2</sup>.

Алгоритм визначення вихідної потужності ФЕБ приведений в додатку А.

### 2.3 Висновки до розділу 2

В даному розділі запропоновано математичну модель сонячної панелі як перетворювача сонячної енергії в електричну, яка дозволяє:

- визначити струм короткого замикання;
- визначити напругу при максимальній потужності;

- визначити потужність;
- визначити коефіцієнт корисної дії сонячної панелі;
- враховувати вплив температури оточуючого середовища;
- враховувати вплив температури фотоелектричного елемента;
- струм навантаження;
- підвищити точність імітаційного моделювання енергетичних установок із застосуванням сонячних фотоелектричних модулів.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47

## 3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СОНЯЧНОГО ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ

### 3.1 Технологія виготовлення сонячного фотоелектричного модуля

Для розробки сонячного фотомодуля перш за все було вибрано полікристалічні сонячні елементи і замовлено їх в китайського виробника. Також було підготовлене необхідне устаткування.

З метою полегшення операції пайки та підвищення точності застосовується спеціально виготовлена підставка з направляючими кутиками (рис. 3.1).

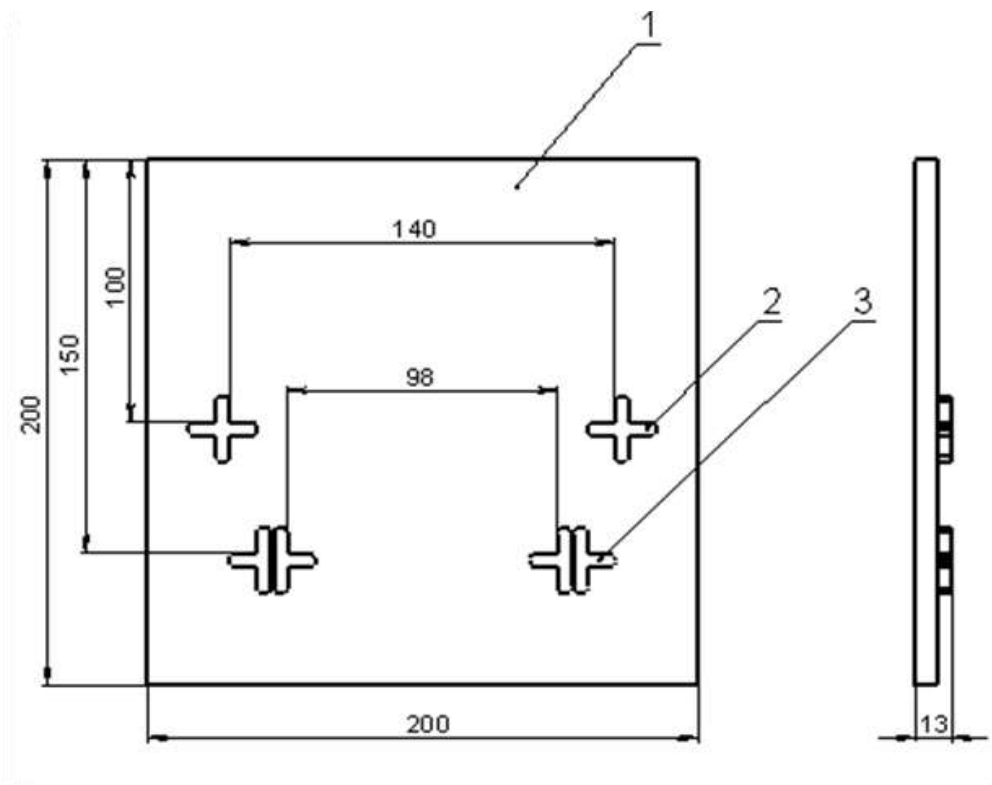


Рисунок 3.1 - Пластина для припаювання тонкої шини (фольги)

Для полегшення спаювання сонячних елементів між собою потрібно було виготовити дошку, з позначками для симетрії, розташування сонячних елементів (рис. 3.2).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

48

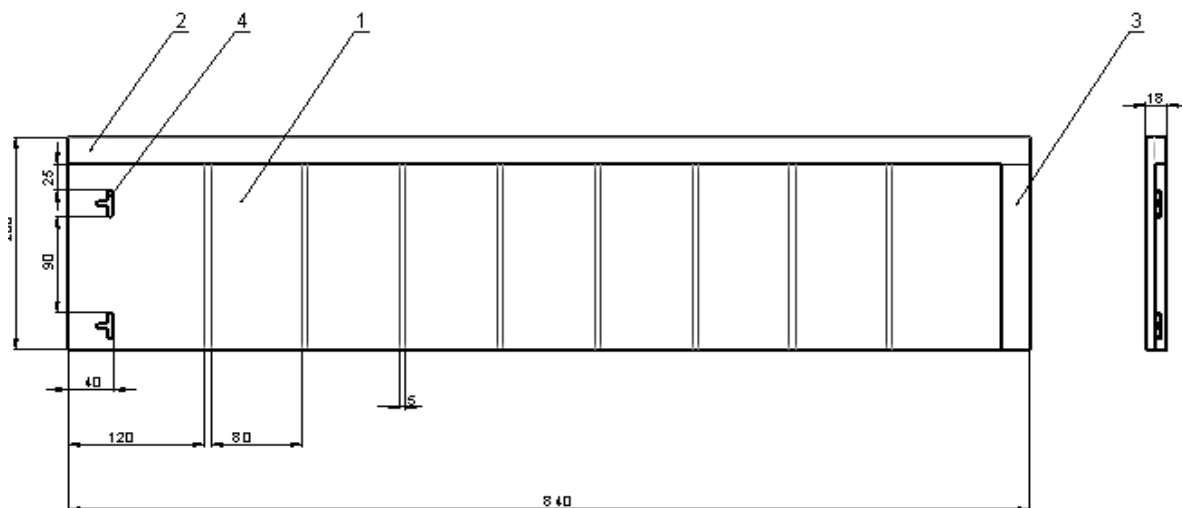


Рисунок 3.2 - Дошка для спаювання елементів

Для того щоб перевернути 9 елементів зворотною стороною ввєрх і перенести на скло, необхідно виготовити з ламінату дошку (рис. 3.3), яка полегшить дану операцію.

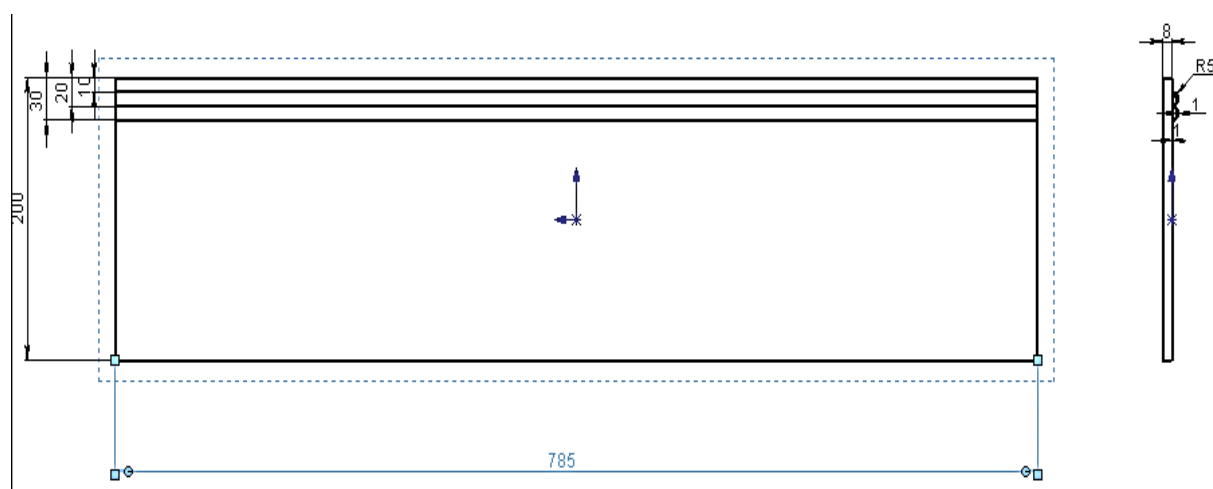


Рисунок 3.3 - Дошка для перенесення елементів на скло

Щоб розташувати сонячні елементи, необхідно виготовити підставку (рис 3.4).

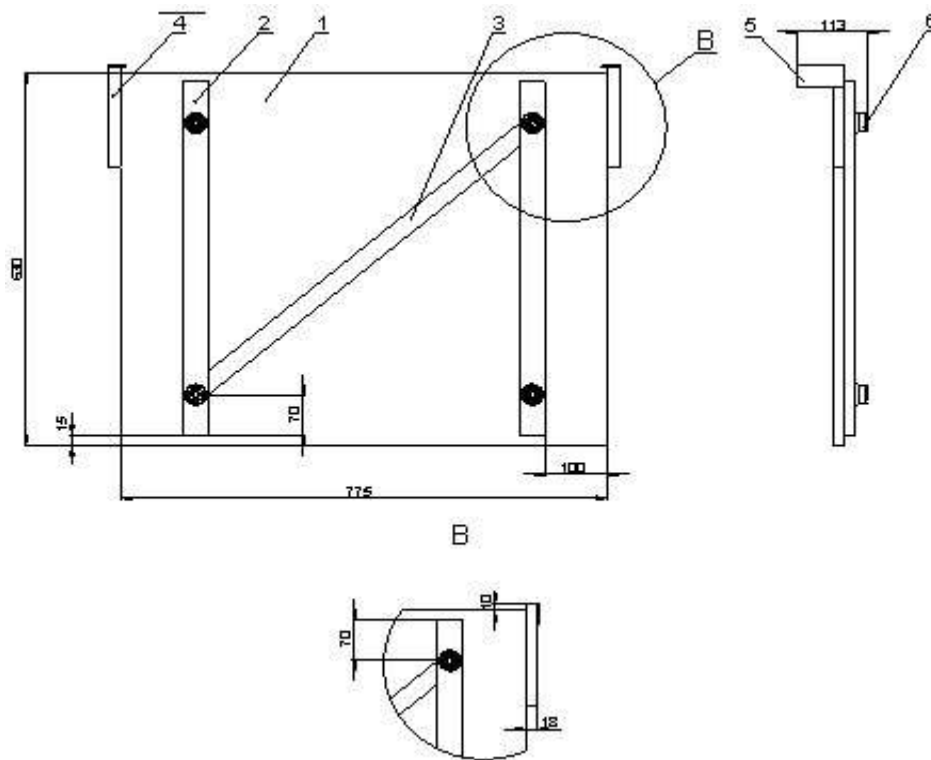


Рисунок 3.4 - Підставка для покриття сонячного фотомодуля силіконом

Операція 1. Вибір сонячних елементів для виготовлення сонячного фотомодуля.

Необхідне обладнання: 36 сонячних елементів розміром 3x6 (158 x 78 мм).

Зовнішній вигляд елемента показано на рис. 3.5.

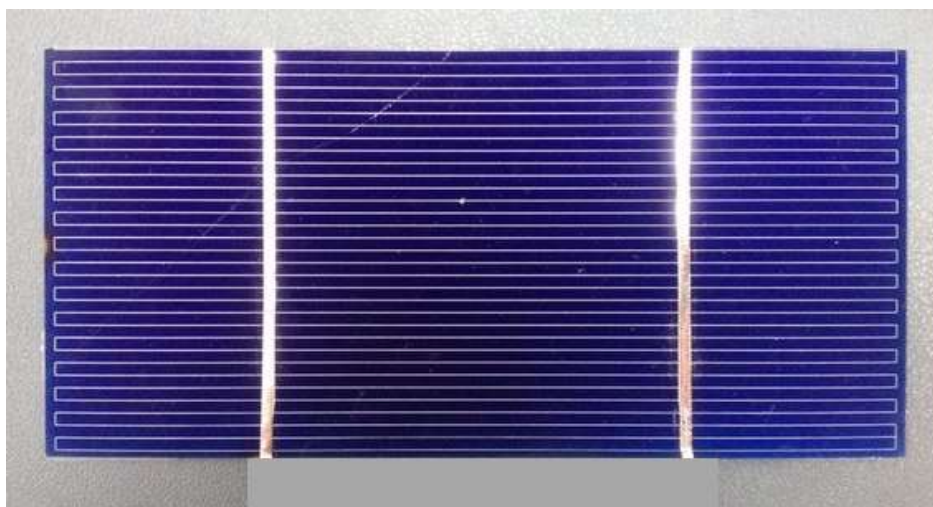


Рисунок 3.5 - Сонячний елемент розміром 3x6 (158 x 78 мм)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.  
50

Операція 2. Перевірка сонячних елементів на відповідність заявлених виробником електричних параметрів.

Необхідне обладнання: мультиметр, спеціальний пристрій для освітлення сонячних елементів, пластина з гетинаксу фольгованого.

Суть операції: Розташовуємо сонячний елемент на пластині з фольгованого гетинаксу плюсовою стороною на фольгу. Потім пластину із розміщеним сонячним елементом необхідно помістити під пристрій для освітлення. Освітлюємо сонячний елемент і використовуючи мультиметр визначаємо струм короткого замикання і напругу. Перевірку здійснюємо для 36 елементів. Параметри повинні бути стабільними та однаковими для всіх елементів.

Операція 3. Придання жорсткості сонячним елементам.

Необхідне устаткування: 36 сонячних елементів, скотч шириною 15мм, канцелярський ніж, дошка із ламінату.

Суть операції: для придання жорсткості елементам, їх проклеюємо з плюсової сторони скотчем (рис.3.6). Дану операцію здійснюємо для всіх елементів.

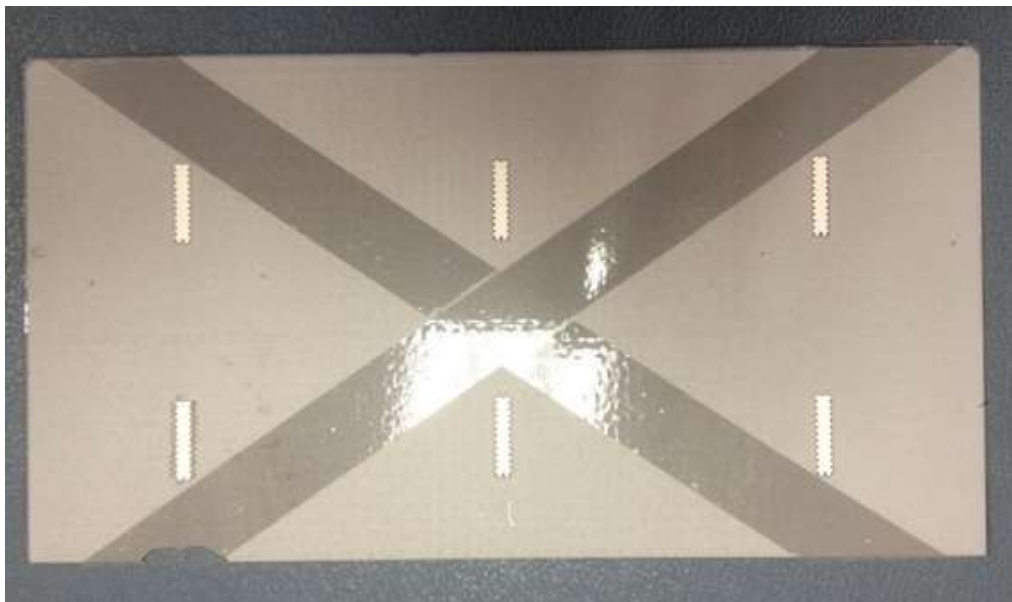


Рисунок 3.6 - Сонячний елемент з нанесеним скотчем

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

51

#### Операція 4. Припаювання тонкої шини.

Необхідне обладнання: шина шириною 2 мм, паяльник потужністю 30 Вт, спеціально виготовлена підставка, ножниці, олівець з каніфоллю, припой.

Суть операції: З метою полегшення пайки та підвищення точності застосовується спеціально виготовлена підставка з направляючими кутиками (рис. 3.7).

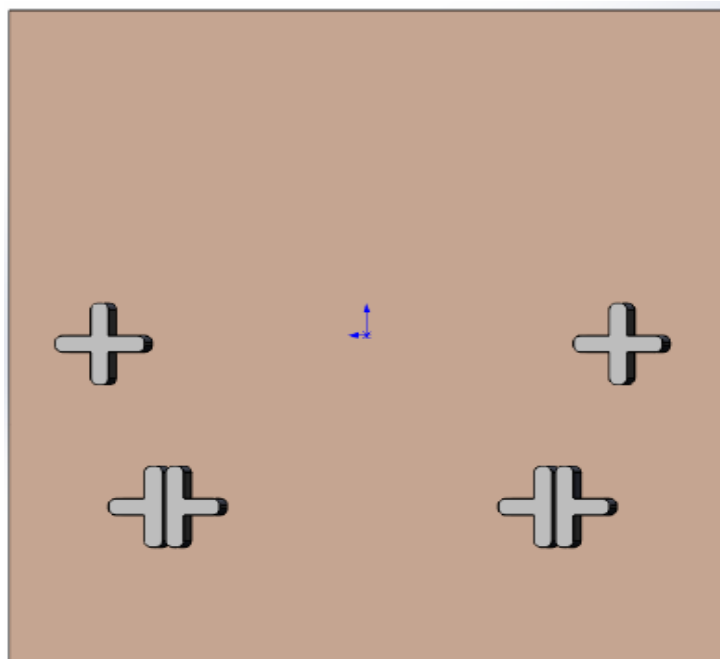


Рисунок 3.7 - Пластина для припаювання тонкої полоски (фольги)

Поміщаємо елемент в кутики негативною стороною, наносимо каніфоль спеціальним олівцем. Потім прикладаємо шину до контактів, проводимо паяльником по шині, таким чином припаюючи її до елемента. Відміряємо потрібну довжину шини і відрізаємо ножицями. Технологія припаювання представлена на рис. 3.8

Пайка елементів - це досить кропітка і відповідальна робота. Якщо не вдасться отримати нормального з'єднання, то повторити операцію. За нормативами срібне напилення на провіднику повинне витримувати 3 циклу пайки при допустимих теплових режимах, але на практиці стикаєшся з тим, що напилення руйнується. Руйнування срібного напилювання відбувається

через застосування паяльників з нерегульованою потужністю. Номінальна потужність нерегульованого паяльника занадто висока для пайки кремнієвих контактів, тому необхідно застосовувати паяльник з потужністю не більше 30-40 Вт (лист [МРМА22.00.00.000 ДТ]).

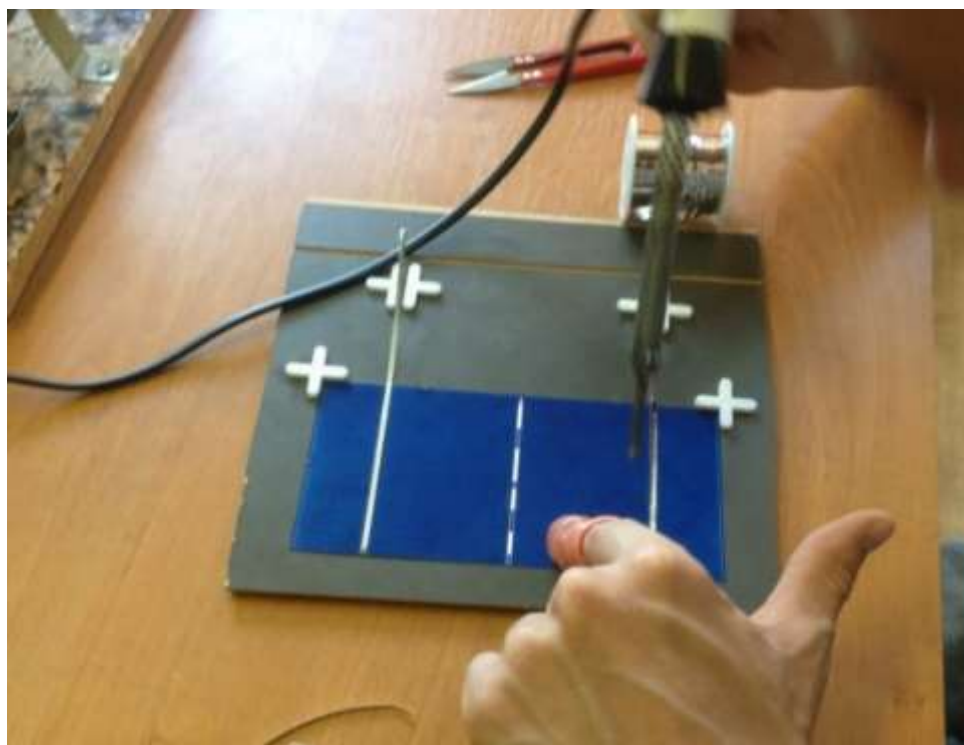


Рисунок 3.8 - Метод припаювання

Навіть якщо виробники провідників запевняють, що припой на з'єднанні є, його краще нанести додатково. Під час пайки необхідно обережно поводитися з елементами, при мінімальному зусиллі вони лопаються; не варто складати елементи пачкою, від ваги нижні елементи можуть тріснути. Результат виконання операції зображено на рис. 3.9.

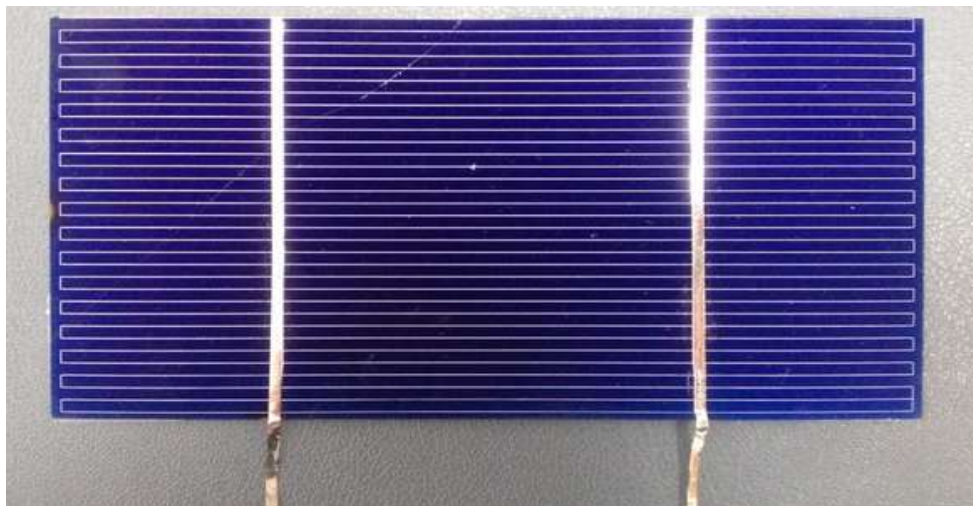


Рисунок 3.9 - Сонячний елемент з припаяною шиною

Операція 5. Пайка стрічок.

Необхідне обладнання: Спеціально виготовлена з ламінату дошка (рис. 3.10), сонячні елементи, паяльник, припой, олівець з каніфолю.

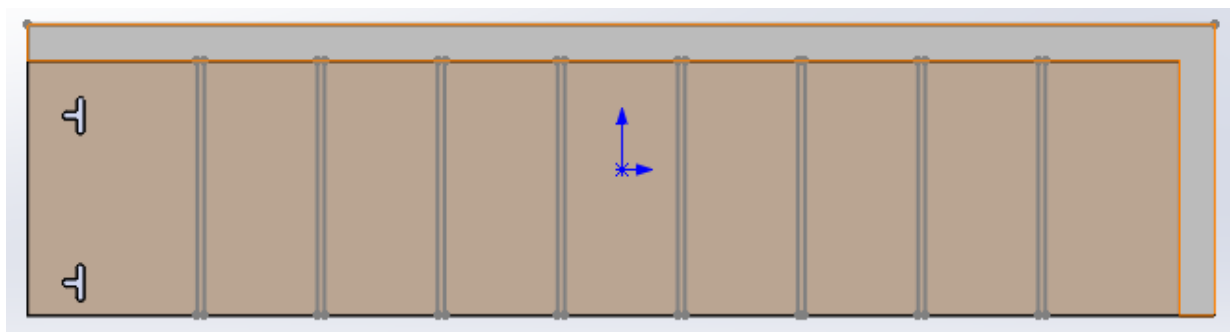


Рисунок 3.10 - Спеціально виготовлена з ламінату дошка для спаювання елементів

Суть операції: Сонячна панель складається із 36 сонячних елементів. Потрібно спаяти між собою послідовно 4 стрічки по 9 сонячних елементів. Для цього розташовується 9 елементів на спеціально виготовлену дошку, з позначками для симетрії, так як зображено на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 - Стрічка, яка складається з послідовно спаяних  
9 елементів

Відстань між елементами складає 5мм. Спаюємо елементи послідовно, плюс до мінуса. Для того щоб елементи не рухались при паяні їх необхідно навантажити вантажем. В нашому випадку - це сталені циліндри.

Операція 6. Спаювання між собою 4-х стрічок по 9 сонячних елементів.

Необхідне обладнання: Спеціально виготовлена з ламінату дошка (рис.3.12), скло розміром 650 x 810 мм товщиною 4 мм, 4 стрічки по 9 сонячних елементів, широка шина (шириною 4 мм), припой, паяльник, каніфоль, пластикова рамка (рис.3.13) для перенесення контуру на скло, маркер.

Суть операції: Для того щоб перевернути 9 елементів негативною стороною ввєрх і перенести на скло, використовується спеціально виготовлена з ламінату дошка.

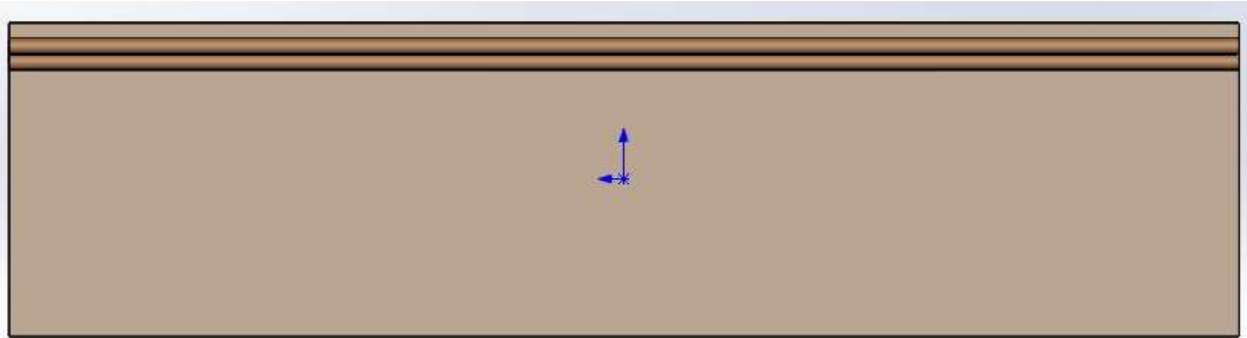


Рисунок 3.12 - Спеціально виготовлена з ламінату дошка для перенесення елементів на скло

Попередньо потрібно вимити скло миючим засобом і дати йому висохнути. Для симетричного розташування 4-ох стрічок використовується рамка. Вона дозволяє нам нанести крайні точки для розміщення сонячних елементів.



Рисунок 3.13 - Рамка для нанесення маркером контуру

Скло розташовуємо в майбутню рамку. Потім розміщаються чотири стрічки на скло і здійснюється операція спаявання їх послідовно, за допомогою шини 4 мм, так щоб два контакти плюс і мінус виходили з однієї сторони (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 - Паралельно спаяні стрічки по 9 елементів

Перед підготовкою до герметичного заливання силіконом необхідно демонтувати пластмасову рамку (лист [МРМА22.00.00.000 ДТ]). Кінцевий вигляд паралельно спаяних між собою 9 стрічок представлено на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 - Кінцевий вигляд паралельно спаяних між собою 9 стрічок

### 3.2 Розробка конструкції сонячного фотомодуля

Операція 1. Підготовка до заливання сонячної панелі з лицьової сторони корпусулянтном (спеціальним силіконом).

Необхідне обладнання: підставка (рис. 3.16), поролон, скло з елементами, поліетиленова плівка,.

Суть операції: після спаювання сонячних елементів в стрічки, необхідно їх перевернути на спеціально підготовлену підставку. На скло з елементами поміщаємо поліетиленову плівку, потім поролон, а на поролон спеціально виготовлену підставку.

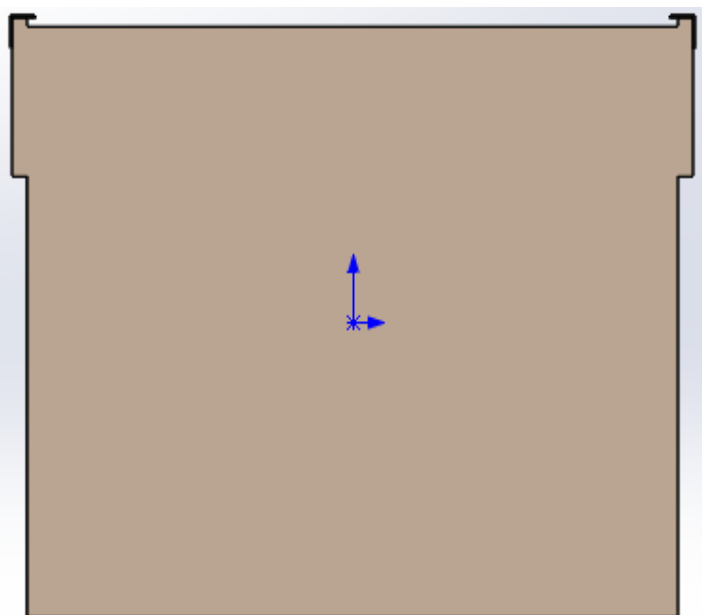


Рисунок 3.16 – Підготовлена підставка для нанесення силікону

Далі необхідно перевернути це все на підставку, для цього потрібно обережно підтримати всі елементи даної конструкції і перевернути на ніжки підставки (рис. 3.17).

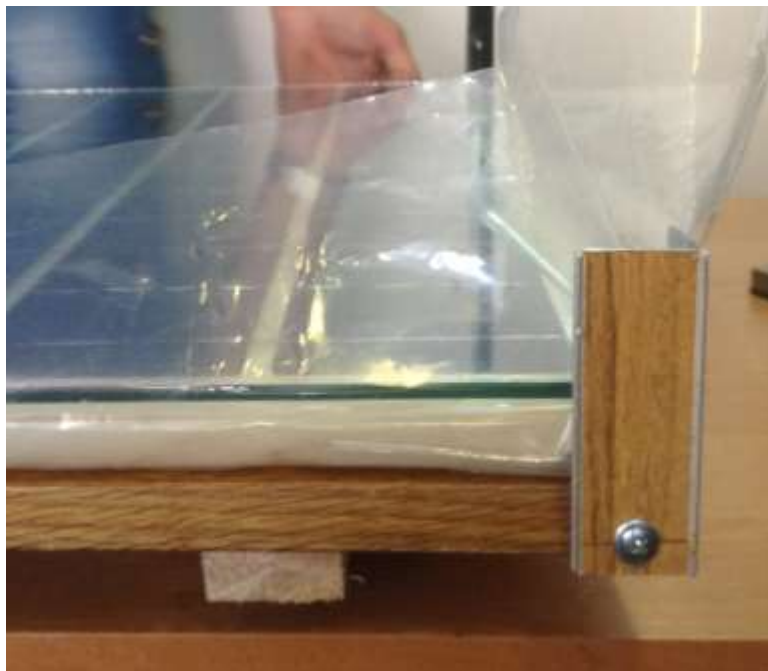


Рисунок 3.17 – Розміщення плівки, поролону, елементів і скла на підставці

Наступним кроком необхідно зняти скло для нанесення на елементи спеціального силікону.

Операція 2. Підготовка силікону для проклеювання.

Необхідне обладнання: ваги кухонні (з точністю до грама), стакан поліетиленовий та корпускулянт (спеціальний силікон) з отверджувачем.

Суть операції: На вагах розташовуємо стакан. В стакан наливаемо 240 гр силікону, 7-8 гр отверджувача, це все потрібно ретельно перемішати.

Операція 3. Заливання сонячних елементів корпускулянтом.

Необхідне обладнання: підготовлений спеціальний силікон, мірна ложка, вантаж приблизно 30 кг.

Суть операції: в цій операції потрібно за допомогою мірної ложки, налити на кожен елемент, корпускулянт з перемішаним в одну масу отверджувачем. Далі можна розташовувати скло на елементи в спеціальні пази на підставці, що приведено на рис. 3.18 (лист 2 [МРМА 22.01.00.000 ДТ]).



Рисунок 3.18 – Герметичне заливання елементів корпускулянтom  
(спеціальний силікон)

Наступним кроком буде розміщення вантажу. В нашому випадку це два вантажі вагою по 16 кг кожний. Для того щоб вантаж не роздавив скло і для рівномірного розтікання, вантажу використовується підготовлена дошка розміром 400x300 мм товщиною 10 мм. За сприятливою температури це все достатньо буде залишити на 24 години, для того щоб корпускулянт рівномірно розтікся і висох. Ця операція представлена на рис 3.19.

#### Операція 4. Виймання сонячної панелі.

Суть операції: Для цього потрібно вийняти скло з сонячними елементами і поліетиленовою плівкою з підставки. Розмістити вертикально і обережно відклеїти плівку з елементів, якщо силікон добре висохне, плівка здирається дуже легко. Якщо після зняття плівки залишились повітряні бульбашки, тоді їх необхідно залити залишками силікону.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.  
60



Рисунок 3.19 – Розподілення вантажа для герметичного заливання сонячних елементів

Операція 5. Одягання пластикової рамки на скло з елементами.

Необхідне обладнання: 4 кутники, 2 сторони рамки 630 мм і 2 сторони рамки 780 мм пістолет зі звичайним силіконом.

Суть операції: наносимо на обидві сторони скла силікон і прикладаємо 2 сторони рамки по 620 мм. Потім в пази для кутників та на ребро скла наносимо силікон і закладаємо дві інших сторони по 780 мм разом із кутниками. Для полегшення та кращої якості склеювання, це все необхідно залишити на 12 годин для затвердіння силікону.

Операція 6. Припаювання проводів.

Необхідне обладнання: проводи 2мм<sup>2</sup> одножильний кольору чорного (-), червоного (+), дріль і свердло діаметром 5 мм.

Суть операції: потрібно припаяти мінусовий (чорний) і плюсовий (червоний) до контактів що виходять з елементів. Висвердлимо два отвори в рамці, щоб вивести проводи через них.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.  
61

Операція 7. Заливання сонячної панелі із внутрішньої сторони силіконом.

Необхідне обладнання: ваги (з точністю до грама), стакан 0,5л, кисточка.

Суть операції: Застосовуємо корпускулянт (спеціальний силікон) 240гр і отверджувач 7 гр Повертаючи внутрішньою стороною, заливаємо силіконом та рівномірно розподіляємо кисточкою по сонячній панелі. Тепер необхідно залишити її на 24 год. Ось який вигляд мають спаяні сонячні елементи в пластмасовій рамці і залиті корпускулянтом (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Герметично залиті сонячні елементи в пластмасовій рамці

Операція 8. Припаювання діода Шотткі.

Необхідне обладнання: діод Шотткі, припой, паяльник каніфоль, коробка, роз'єм.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.  
62

Суть операції: Як вже говорилося, в набори крім самих фотоелементів і матеріалів для паяння, входять ще діоди Шоттки (шунтуючі діоди). Спрощено кажучи, ці діоди не дають батареї розряджатися вночі і в похмуру погоду, тобто дозволяють зберегти сонячні елементи, від напруги, яка буде йти в зворотну сторону від акумулятора, тобто пропускає напругу тільки в одну сторону. Передбачається, що такий діод бажано припаювати до кожної комірки, але на практиці його встановлюють на всю батарею («мінус» діода припаюється до «плюса» батареї). Найбільш ж оптимально встановлювати діод Шоттки на кожну половину батареї, описаної вище. Тоді якщо одна її частина опиниться в тіні, друга буде продовжувати виробляти електричну енергію. Встановлювати шунтуючі діоди краще всередині, а не ззовні панелей - вони ефективніше працюють при більш високій температурі.

Операція 9. Монтаж захисної коробки для діода Шоттки і контактів.

Необхідне обладнання: спеціально підготовлена коробка (рис. 3.21), що закривається, свердло діаметром 5мм, дріль, болти 2 штуки і гайки 2 штуки.



Рисунок 3.21 - Розташування захисної коробки

Суть операції: Застосовуючи спеціально підготовлену коробку, яка відкривається, що дає змогу обслуговувати діоди і приєднувати дроти. Ми можемо герметично закрити контакти від навколишнього середовища, чим

продовжити термін служби як діода Шотткі так і самих контактів. Готову сонячну панель представлено (лист [МРМА22.00.00.000 ДІ]).

### 3.3 Висновки до розділу 3

В даному розділі було вибрано потрібне обладнання для виготовлення сонячного фотомодуля. Розроблено технологію виготовлення та конструкцію, за якою було виготовлено сонячну панель.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО ФОТОМОДУЛЯ

### 4.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Перед порівнянням розробленої конструкції сонячного фотомодуля з існуючими конструкціями, необхідно провести дослідження сонячної панелі і визначити технічні параметри, які в результаті перетворення сонячного світла видає сонячний фотомодуль. Як і будь-який технічний пристрій, сонячний фотомодуль має свої експлуатаційні та технічні характеристики, які відрізняються для різних моделей, різних виробників.

Для визначення продуктивності сонячної панелі необхідно визначити основні параметри. Це ми можемо зробити за допомогою пристроїв для вимірювання електричних показників таких, як лічильник електричної енергії, мультиметр.

### 4.2 Методика обробки результатів

При дослідженні полікристалічного сонячного фотомодуля, виготовленого за власною розробленою технологією та конструкцією, потрібно визначити експлуатаційні та технічні характеристики сонячного фотомодуля, а саме:

- напругу холостого ходу ( $U_{x.x}$ );
- напругу при максимальній потужності ( $U_{max}$ );
- струм короткого замикання ( $I_{к.з}$ );
- струм при максимальній потужності ( $I_{max}$ );
- потужність панелі ( $P$ );
- коефіцієнт корисної дії сонячної панелі (ККД).

Для визначення напруги при максимальній потужності нам необхідне наступне устаткування: власно виготовлена сонячна панель, мультиметр.

Для того щоб виміряти напругу при максимальній потужності, потрібно в сонячний день розмістити фотомодуль максимально перпендикулярно до Сонця. Паралельно під'єднати мультиметр, увімкнути і виставити перемикач для вимірювання постійної напруги. В результаті експерименту мультиметр показав 18,6 В (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Вимірювання напругу при максимальній потужності

Для визначення струму короткого замикання нам необхідне теж саме устаткування, що і для вимірювання напруги при максимальній потужності.

Для того щоб виміряти струм при максимальній потужності, потрібно також розмістити сонячну панель максимально перпендикулярно до Сонця. Під'єднати мультиметр, увімкнути і виставити перемикач для вимірювання струму. В результаті експерименту мультиметр показав 2,71 А (рис. 4.2).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.

66



Рисунок 4.2 - Вимірювання струму при максимальній потужності

Для того щоб визначити потужність потрібно використати формулу:

$$P = U \cdot I_{max}; \quad (4.1)$$

де  $U$  - це напруга сонячного фотомодуля, яка становить 18,6 В;

$I_{max}$  - струм при максимальній потужності, який становить 2,7 А.

Підставивши значення отримаємо:

$$P = 18,6 \cdot 2,7 = 50,22 \text{ Вт};$$

Після обчислення потужність сонячної панелі складає 50,22 Вт.

Коефіцієнт корисної дії будь-якого перетворювача одного виду енергії в інший є відношення отриманої енергії до енергії, що затрачається:

$$\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{maxСУ}}} = \frac{P_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}}}{P_c}; \quad (4.2)$$

де  $P_{\text{ФЕБ}_{\text{ном}}}$  - номінальна потужність ФЕБ при СУ, Вт;

$P_c$  - потужність сонячного випромінювання.

Потужність сонячного випромінювання:

$$P_c = F_{\text{ФЕБ}} I_{\text{СУ}}; \quad (4.3)$$

де  $F_{\text{ФЕБ}}$  - площа ФЕБ, м<sup>2</sup>;

$I_{\text{СУ}}$  - густина потоку сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню ФЕБ при СУ, кВт/м<sup>2</sup>.

Густина потоку сонячного випромінювання  $\phi$  біля межі земної атмосфери називається сонячною сталою. Вона дорівнює 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Густина потоку сонячного випромінювання біля поверхні Землі буде менша, ніж біля межі атмосфери. Це пояснюється тим, що частина цього потоку відбивається атмосферою, а частина поглинається, тому ми можемо вважати, що густина потоку в сонячний день перпендикулярно до площини батареї та буде становити 615-882 Вт/м<sup>2</sup>.

Площа сонячної панелі визначається за наступною формулою:

$$F_{\text{ФЕБ}} = a \cdot b. \quad (4.4)$$

де  $a$  – сторона сонячного фотомодуля, яка =0,630 м;

$b$  – сторона сонячного фотомодуля, яка =0,790 м.

Враховуючи всі значення, площа сонячної панелі становитиме:

$$F_{\text{ФЕБ}} = 0,630 \cdot 0,790 = 0,49\text{м}^2;$$

Тоді потужність сонячного випромінювання буде дорівнювати:

$$P_c = 0,49 \cdot 735 = 360,15 \text{ Вт/м}^2.$$

Визнаємо коефіцієнт корисної дії за формулою (4.2):

$$\eta_{\text{ФЕБ}_{\text{maxcy}}} = \frac{50,22}{360,15} \cdot 100\% = 13,94 \%$$

В результаті проведення експериментальних досліджень сонячного фотомодуля, який було виготовлено за власно розробленою конструкцією, було встановлено експлуатаційні та технічні характеристики:

- струм короткого замикання: 2,85 А;
- струм при максимальній потужності: 2,7А;
- напругу при максимальній потужності: 18,6 В;
- напругу холостого ходу: 22,2 В;
- потужність панелі: 50,22 Вт;
- коефіцієнт корисної дії сонячної панелі (ККД): 13,94 %;
- кількість елементів: 36 (4x9);
- вага: 3,9 кг;
- розмір елементів: 158 x 78 мм (36) мм;
- розміри сонячного фотомодуля: 660 x 820 x 40 мм.

#### 4.3 Обробка отриманих даних

Були проведені систематичні вимірювання електричних показників на протязі світлового дня, приділяючи більшу увагу положенню Сонця, а саме о 9-й годині, 12-й, 14-й, 16-й, 18-й, 20-й. Також враховувались режими роботи при короткому замиканні та під навантаженням.

Знявши показники та обрахувавши ККД, ми отримали можливість побудувати графічні залежності для наочних порівнянь отриманих даних (лист[МРМА22.00.00.000 РР]). За допомогою програмного середовища Excel було побудовано графіки. На рис. 4.3 показано залежність потужності при максимальному навантаженні від періоду світлового дня.

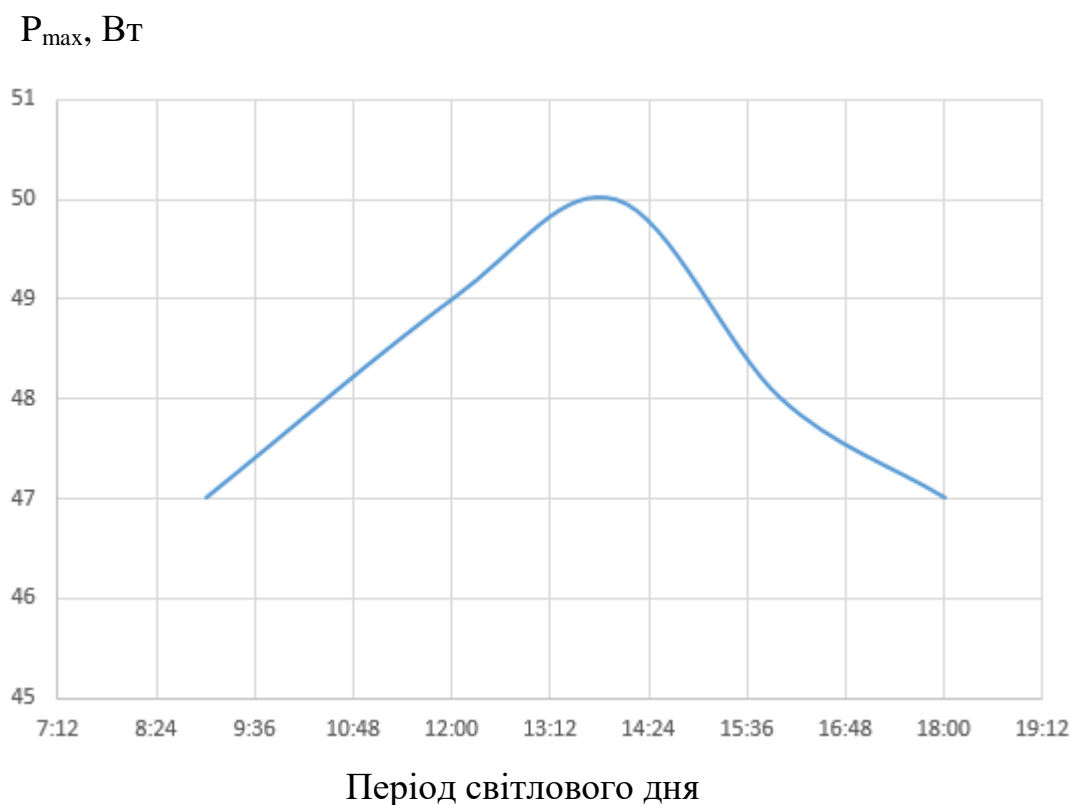
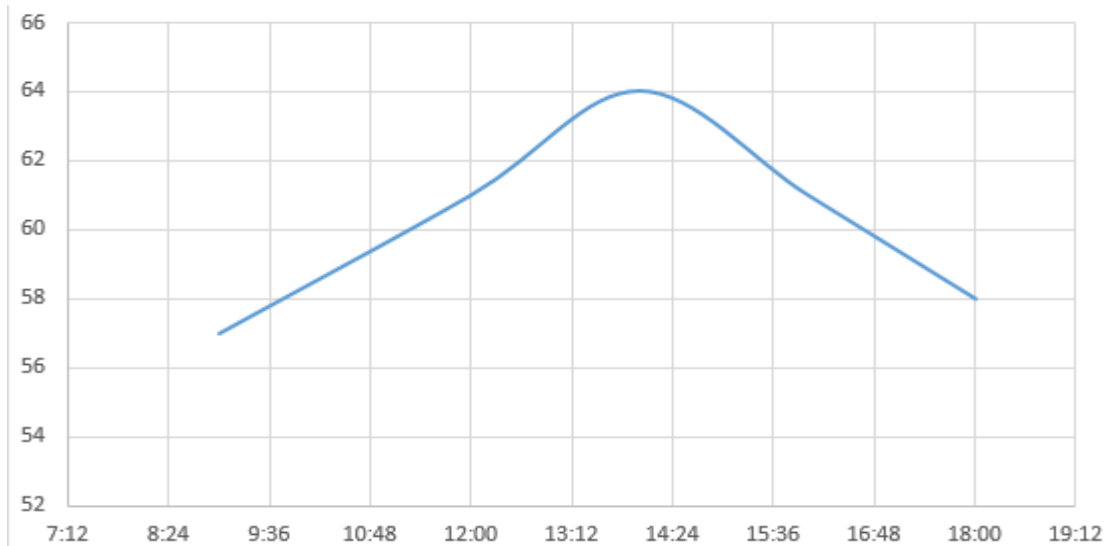


Рисунок 4.3 - Залежність потужності при максимальному навантаженні від періоду світлового дня

Потужність без навантаження більш стабільна. Це можна побачити на рис. 4.4.

$P_{x,x}$ , Вт

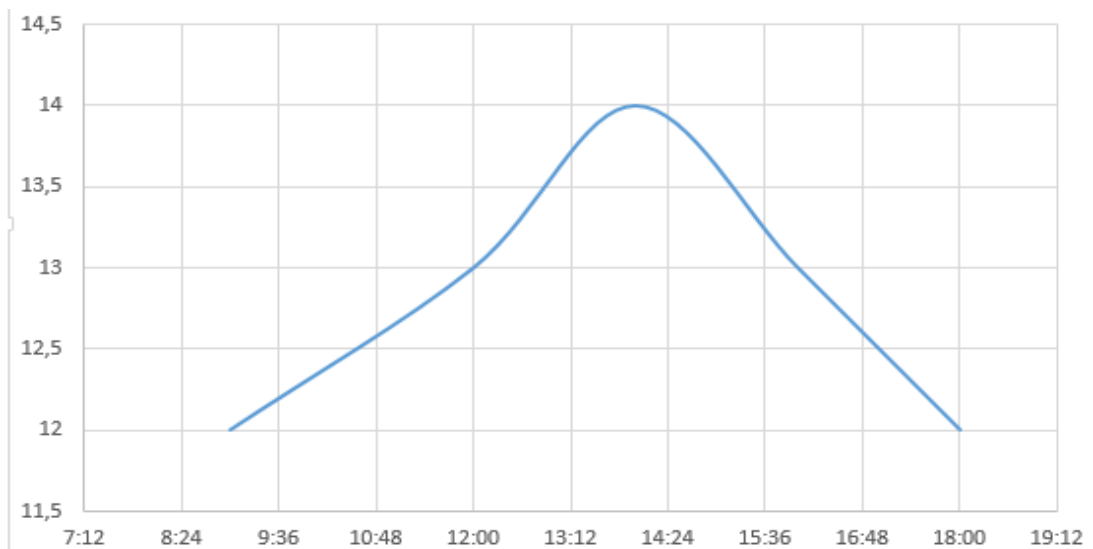


Період світлового дня

Рисунок 4.4 - Залежність потужності без навантажені від періоду світлового дня

Провівши експериментальне дослідження, врахувавши період світлового дня появилася можливість порівняти коефіцієнт корисної дії (рис. 4.5).

ККД



Період світлового дня

Рисунок 4.5 - Залежність ККД від періоду світлового дня

4.4 Порівняння техніко-економічних показників розробленої конструкції сонячного фотомодуля, з фотомодулями які, випускаються серійними виробниками

Для порівняння сонячного фотомодуля, який було виготовлено за власною конструкцією, з сонячними панелями, які випускаються серійними виробниками, розглянемо технічні характеристики та параметри аналогічних сонячних модулів:

а) сонячну панель PERLIGHT PLM-50P-36 (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 - Сонячна панель PERLIGHT PLM-50P-36

Технічні характеристики сонячного фотомодуля PERLIGHT PLM-50P-36:

- тип: полікристалічні;
- напруга при максимальній потужності: 18,3 В;
- номінальна потужність: 50 Вт;
- струм короткого замикання: 2,9 А;
- напругу холостого ходу : 22,2 В;
- струм при максимальній потужності: 2,73А;
- коефіцієнт корисної дії сонячної панелі (ККД): 14 %;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА22.00.00.000 ПЗ

Арк.  
72

- розмір елементів: 156 x 55.8 (36) мм;
- розміри сонячної панелі: 617 x 673 x 35 мм;
- кількість елементів: 36 (4x9);
- вага: 5,0 кг;

б) сонячний фотомодуль Solar PLM-050P-36 (рис.4.7).

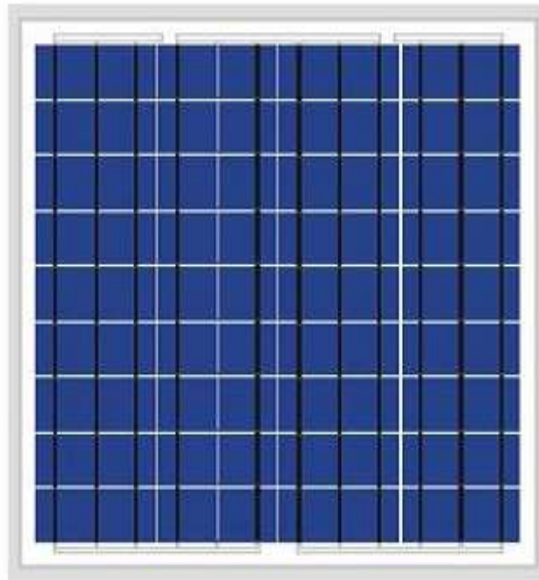


Рисунок 4.7 - Полікристалічний сонячний фотомодуль  
Solar PLM-050P-36

Технічні характеристики сонячного фотомодуля Solar,PLM-050P-36

- тип: полікристалічна;
- номінальна потужність: 50 Вт;
- напругу холостого ходу: 22,2 В;
- напруга при максимальній потужності: 18,8 В;
- струм при максимальній потужності: 2,75;
- струм короткого замикання: 2,9 А;
- коефіцієнт корисної дії сонячної панелі (ККД): 14,3 %;
- розміри сонячної панелі: 600×676 ×35 мм;
- кількість елементів: 36 (4x9);
- вага: 4,8 кг.

Для кращого наглядного вигляду наведемо порівняльну гістограму тих параметрів по яких зрозуміло, що власно виготовлений сонячний фотомодуль, може бути цілком конкурентним на ринку. Ці параметри - це ККД (рис.4.8), вага (рис.4.9) сонячного фотомодуля (лист [МРМА22.00.00.000 РР]).

#### ККД

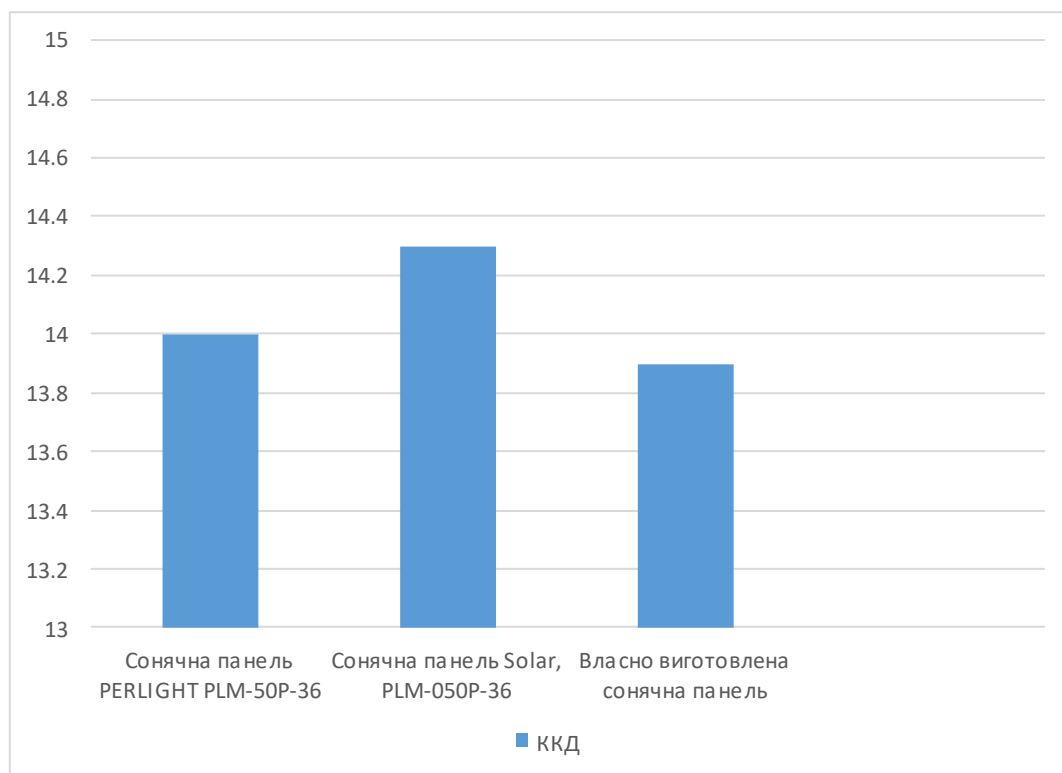


Рисунок 4.8 - Порівняльна гістограма сонячних панелей по ККД

## Вага

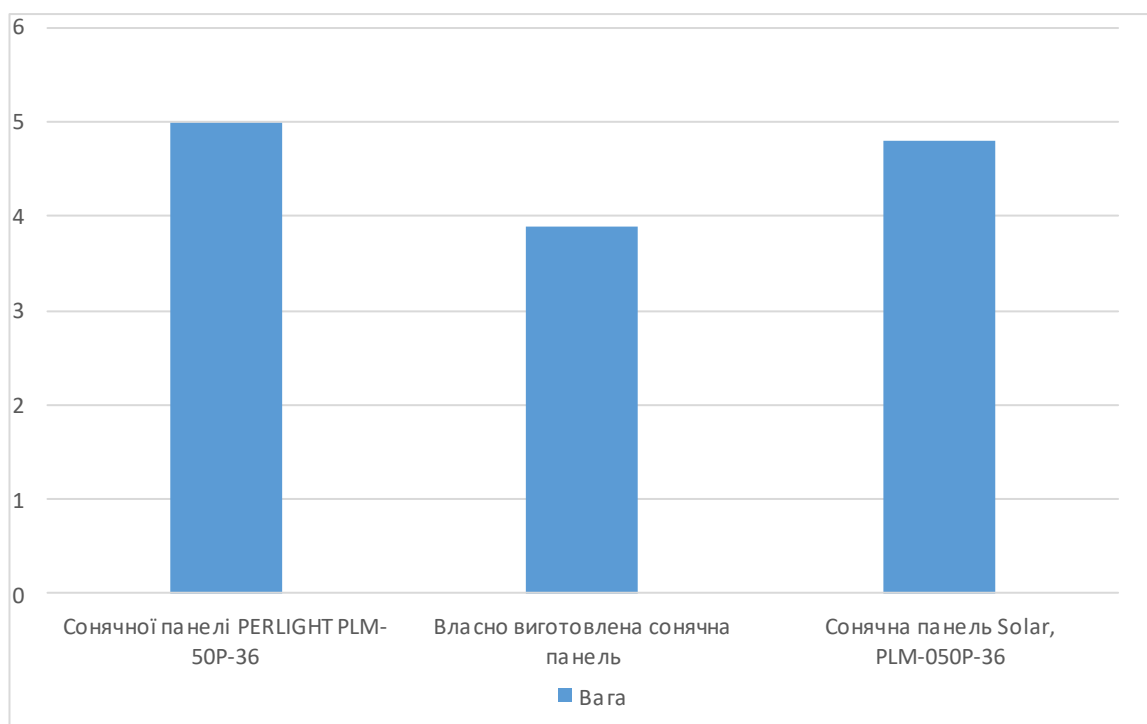


Рисунок 4.9 - Порівняльна гістограма сонячних фотомодулів по вазі

Для визначення собівартості застосовуємо метод планової калькуляції. Повна величина собівартості визначається як сума всіх складових загальної собівартості. Розрахунок вартості сировини та основних матеріалів було зведено у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Вартість сировини і основних матеріалів

№	Найменування деталей	Ціна за один прод. грн.	К-сть, шт.	Сума, грн.
1	2	3	4	5
1	Рамка (660x40x15)	40 грн/м	1.32	52,8
2	Рамка(820x40x15)	40 грн/м	1.64	65.6
3	Скло (800x640)	200	0.5	100

Продовження табл.1.

4	Набір: сонячні елементи 36 шт. шина 2мм., шина 4мм., олівець з кислотою	2040	1	2040
5	Корпускулянт (спеціальний силікон, затверджувач)	200	0.5	100
7	Діод Шотткі	10	1	10
8	Провід червоний	8	0.2 м	1.6
9	Провід чорний	8	0.4 м	3.2
	Разом			2373.2
	Транспортно-заготівельні витрати ( 10%)			116.7
	Всього			2610.52

Для кращого наглядного вигляду приведемо порівняльну гістограму (рис.4.10) з якої видно, що власно виготовлений сонячний фотомодуль, є прямим конкурентом панелям, які є в продажі на українському ринку. Самим головним показником є ціна, вона складає 2610,52 гривні, що на 15% є дешевшою.

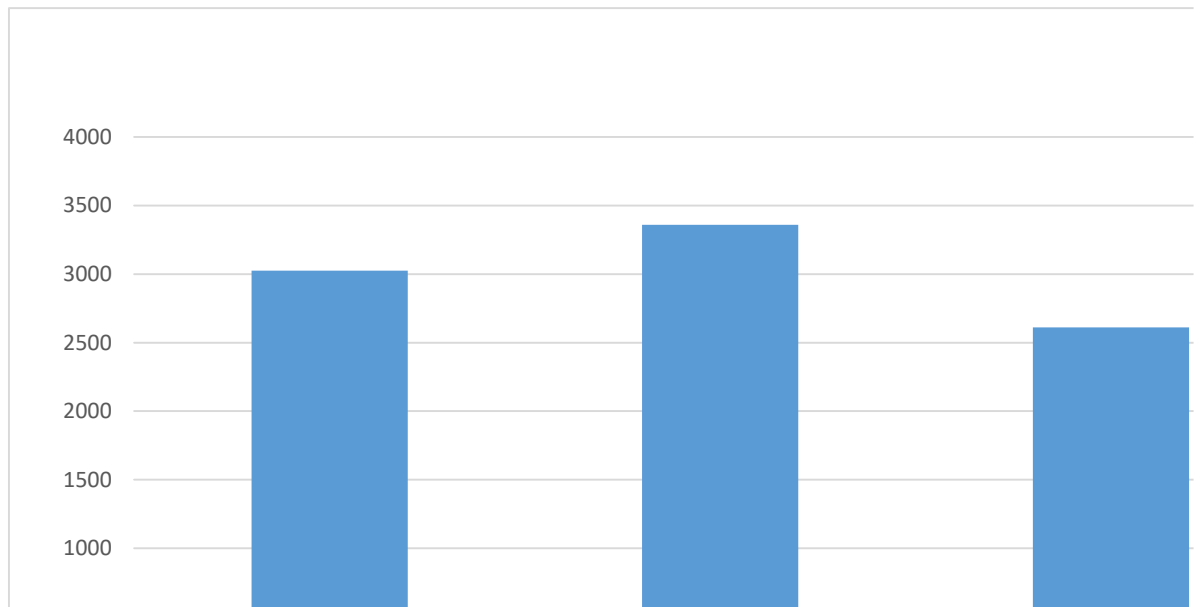


Рисунок 4.10 - Порівняльна гістограма виготовленої сонячної панелі з аналогами по цінній категорії

#### 4.5 Висновки до розділу 4

В даному розділі досліджено сонячний фотомодуль виготовлений за розробленою конструкцією та визначено його експлуатаційні та технічні характеристики. Були проведені систематичні вимірювання електричних показників на протязі світлового дня, приділяючи увагу положенню Сонця, а саме о 9-й, 12-й, 14-й, 16-й, 18-й, 20-й годинах. Враховувались режими роботи при короткому замиканні та під навантаженням. Визначено залежність потужності при максимальному навантаженні, залежність потужності без навантаження та залежність коефіцієнту корисної дії від періоду світлового дня.

Порівнявши техніко-економічні показники ми бачимо переваги виготовленого сонячного фотомодуля. Собівартість виготовлення сонячного фотомодуля зменшилась на 15%, вага - зменшилась на 20% при тому, що коефіцієнт корисної дії такий же, як у аналогів.

## ВИСНОВКИ

В першому розділі здійснено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. Розглянуто типи сонячних елементів, які застосовуються для виготовлення сонячних фотомодулів, їх будову та основні характеристики, що його характеризують. Вибрано полікристалічний сонячний елемент, який використовувався для виготовлення сонячного фотомодуля.

В другому розділі розроблено математичну модель сонячного фотомодуля як перетворювача сонячної енергії в електричну, яка дозволяє: визначати струм короткого замикання; напругу при максимальній потужності; потужність; коефіцієнт корисної дії. Вона враховує вплив температури навколишнього середовища, струм навантаження. Дозволяє підвищити точність імітаційного моделювання енергетичних установок з застосуванням сонячних фотоелектричних панелей. Запропонована математична модель дає змогу отримати теоретичні технічні характеристики розробленого сонячного фотомодуля.

В третьому розділі було вибрано необхідне устаткування для виготовлення сонячної панелі. Розроблено технологію за якою було виготовлено сонячну панель.

В четвертому розділі проведено дослідження сонячного фотомодуля та визначено його експлуатаційні та технічні характеристики. Були здійснені систематичні вимірювання електричних показників на протязі світлового дня, приділяючи увагу положенню Сонця, а саме о 9-й, 12-й, 14-й, 16-й, 18-й, 20-й годинах. Також враховувались режими роботи панелі при короткому замиканні та під навантаженням та визначено: залежність потужності при максимальному навантаженні, залежність потужності без навантаження, залежність коефіцієнта корисної дії від періоду світлового дня.

Порівнявши техніко-економічні показники можна побачити переваги

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

виготовленої сонячної панелі. Собівартість виготовлення сонячного фотомодуля зменшилась на 15%, вага сонячної панелі зменшилась на 20% при тому, що ККД залишився таким же, як у аналогів.

В загальному можна підсумувати, що виготовлені фотомодулі за розробленою технологією можуть бути використані в сонячній електростанції для майстерні з ремонту побутової техніки.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Байерс Т. 20 конструкцій із сонячними елементами. - М.: Мир, 1988.- 197с.
2. Пустовалова Л.М. Загальна хімія: підручник / Л.М. Пустовалова, І.Є. Никанорова. - Ростов-на-Дону: Фенікс, 2005. - 478с.
3. Сюнроку Танака Житлові будинки з автономним теплохолодозабезпеченням: навчальний посібник / Танака Сюнроку, Судна Рейдзі. - М.: Стройиздат, 1989. - 225с.
4. Шефтер І.Я. Використання енергії вітру: навчальний посібник. - М.: Енергія, 1975. - 247с.
5. Бабієв Г.М., Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. «Електричний Журнал». - Запоріжжя: ВАТ «Гамма», 1998, №1. - С.63-64.
6. Камен Д. Чистая энергетика // В мире науки - № 1, 2007 р.
7. Лучков Б. Солнечный дом – солнечный город // «Наука и жизнь» - №2, 2002 р.
8. Сердюк В.В., Чемересюк Г.Г., Терек М. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках. – К.: Высш. школа, 1982. – 150 с.
9. Пасечкин Л.Л., Попович А.С. Энергетика: реальность и перспективы. – К.: 1986 р. – 310 с.
10. BP Statistical Review of World Energy: [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6848&contentId=7033471>.
11. Екологія енергетики / Под общей редакцией В. Я. Путилова. - М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 249с.
12. Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии: пер. со швед. / С. Уделл. - М.: Знание, 1980. - 87 с.
13. Доступна ли нам более чистая энергия? Журнал «Пробудитесь»№8.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2005.

14. Теплоціль: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://xn--e1amaldaq6a1cbe.xn--j1amh/fotoelektricheskiye-paneli-i-ikh-tipy>

15. Енергія сонця: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://solar.pp.ua/fotoelektrichni-elementy.html>.

16. Навчальні матеріали онлайн: [Електронний ресурс]. - Режим доступу:

[http://pidruchniki.com/14980727/ekologiya/zahist\\_navkolishnogo\\_seredovischa\\_vid\\_shkidlivogo\\_vplivu\\_energetiki](http://pidruchniki.com/14980727/ekologiya/zahist_navkolishnogo_seredovischa_vid_shkidlivogo_vplivu_energetiki).

17. Atmosfera: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://kilowatt.net.ua/sonjachni-batarei/>.

18. Education Platform: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://edufuture.biz/index.php?title=%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%>.

19. Математичні моделі: означення, характеристики, етапи .. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://web.posibnyky.vntu.edu.ua>.

20. Сайт Rentechno: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://rentechno.ua/ua/blog/solnechnaya-energetika-v-voprosam-i-otvetax.html>.

21. Екологія життя: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/tipi-ta-osoblivosti-sonyachnikh-batarey-dlya-individualnoi-energetichnoi-ustanovki>.

22. Воловик П. М. Фізика для університетів. – К.: Перун, 2005. – 864 с.

23. Морозов К. Альтернативная энергетика: в попытках прорыва: [о рассмотрении методики солнечно-фотоэлектрической энергетики для Херсон. обл.] / Кирилл Морозов // Херсонський вісник. – 2010 р. - № 46. - С.5.

24. Мачулін В. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України / В. Мачулін, В. Литовченко, М. Стріха // Вісник Національної Академії Наук України. – 2011 р. - № 5. – С.30-39.

25. Альтернативна енергія: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.windsolardiy.com/samodelnie-solnechnie-batarei/stroenie-solnechnich-batarey.html>.

26. Альтернативна енергія: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://tehnonovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/sun-battery-schema-ua.html>.

27. Математична модель фотобатареї як джерела електричної енергії: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream>.

28. Яворський А.В., Ващишак І.Р. Відновна енергетика: лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – 87с.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

