

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка дзеркального світло розподілювача для сонячних панелей

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
2 курсу група ЕТм-22-1


Підпис


Фурман О. Б.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

д.т.н., проф. Скиба М.Є.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

23 12 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС
д.т.н., проф. Поліщук О.С.

_____ .2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Фурман Олександр Борисович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка дзеркального світлорозподільвача для сонячних панелей

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

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20.12.23

3. Вихідні дані до роботи Освітленість в лабораторних умовах, кут падіння світла, площа сонячної панелі, потужність сонячної панелі, ККД панелі, дзеркальний коефіцієнт відбиваючої поверхні

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка і розрахунки конструкції та технологічного процесу. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції світло-розподільвач. Висновки. Перелік джерел та посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Пристрої для концентрації сонячних променів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Технологія роботи світлорозподільвача. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 3. Схеми відбиття променів світло розподільвача та його габаритів. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4. Схема підключення сонячних панелей. Документ оглядовий (A1). Аркуш 5. Кінематична схема. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 6. Дзеркальний світлорозподільвач. Документ оглядовий (A1). Аркуш 7. Дзеркальний світлорозподільвач із трекером. Документ оглядовий (A1). Аркуш 8. Деталювання. Документ оглядовий (A1 + A3).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Огляд та аналіз існуючих пристроїв що використовують дзеркальні поверхні для напрямлення світлових променів	10. 10. 23р	
Розробка і розрахунки конструкції та технологічного процесу	20. 10. 23 р	
Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції світлорозподілювач	10. 11. 23 р	
Висновки	21. 11. 23 р	
Оформлення пояснювальної записки	10. 12. 23 р	
Виконання графічної частини	15. 12. 23 р	
Подання дипломної роботи до кафедри		
Захист роботи		

Студент


Підпис

Фурман О. Б.
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


Скиба М. Є
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Фурман Олександр Борисович
2. Тема магістерської роботи Розробка дзеркального світлорозподільвача для сонячних панелей
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Ворошич І. П.
І. П. В. Ворошич
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 9 арк., сторінок записки 80

5. Сонце є майже невичерпним джерелом енергії, яке нам доступно майже в необмеженій кількості екологічно чиста і безкоштовна енергія. В магістерській роботі здійснюється розробка дзеркального світло розподільвача для сонячних панелей, що надає можливість розширити їх регіональний діапазон використання, та збільшити виробіток електроенергії. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи, а саме конструкцій що використовують дзеркальні поверхні для концентрації сонячного випромінювання. В другому здійснюється розробка конструкції та технологічного процесу дзеркального світлорозподільвача для сонячних панелей. В третьому розділі проведені розрахунки для визначення можливих навантажень на конструкцію світлорозподільвача та розрахунки ефективності його використання.

Підпис студента 


"20" 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №3 від "29" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно
Рекомендації ЕК р. впровадження у
національний процес

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

"29" 12 2023 р.

Вступ.....	4
1 Огляд та аналіз існуючих пристроїв що використовують дзеркальні поверхні для напрямлення світлових променів.....	6 ↓
1.1 Особливості перетворення сонячної енергії.....	6
1.2 Пристрої що використовують дзеркальні поверхні для концентрації та направлення сонячної енергії.....	7
2 Розробка і розрахунки конструкції та технологічного процесу..	23
2.1 Розробка технології отримання електричної енергії за допомогою світло-розподільвача.....	23
2.2 Розробка конструкції світло-розподільвача отримання електроенергії.....	25
2.3 Розробка поворотної системи світло-розподільвача.....	40
2.3.1 Розробка кінематичної схеми поворотної системи для світло-розподільвача.....	48
2.3.2 Розрахунок геометричних розмірів трекерної системи для світло-розподільвача.....	51
2.4 Розробка електричної схеми підключення конструкції із світло-розподільвачем до мережі.....	53
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції світло-розподільвач.....	56
3.1 Розрахунок рами для поворотної системи світло-розподільвача та сонячних панелей.....	56
3.2 Розрахунок системи кріплення світло-розподільвача та сонячної панелі.....	60 ↓

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			
Виконав	Фурман О. Б.				Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Скиба М. Є.					2	
Н.контр.	Пундик С. І.				ХНУ гв. ЕТМ-22-1		
Затвер.	Поліщук О. С.						
Розробка дзеркального світлорозподільвача для сонячних панелей							

3.3 Розрахунок ефективності застосування світло-розподілювача для фотоелектричних панелей.....	71
Висновки.....	73
Перелік інформаційних джерел.....	75
Додатки.....	77

Вступ

Сонце є майже невичерпним джерелом енергії, яке нам доступно майже в необмеженій кількості - екологічно чиста і безкоштовна енергія. Сонце випромінює щодня в напрямку Землі 960 мільярдів кВт-год. Ця кількість енергії може теоретично задовольняти світові енергетичні потреби протягом 180 років

Сонячна енергетика – одне із найперспективніших і динамічних відновлюваних джерел енергії. Щороку приріст потужностей, які вводяться в експлуатацію, становить приблизно 40-50%. Уже в 2020 році частка сонячної електрики в світовій енергетиці перевищила позначку в 5%. Удосконалення технології виготовлення фотоелектричних модулів призвело до істотного зниження собівартості електроенергії. У понад 30 країнах світу (зокрема, Німеччині, Чилі, Австралії, Мексиці) сонячна енергія стала дешевше, ніж одержувана з традиційних джерел (нафта, газ, вугілля). За останні 10 років інвестиції в сонячну енергетику склали близько 300 мільярдів доларів США.

Виробництво енергії традиційними джерелами є екологічно небезпечним, а також з кожним роком таке виробництво стає більш дорогим. Щорічно кількість запасів нафти та газу зменшується, а це в свою чергу призводить до збільшення їх вартості. Саме тому людство переходить на альтернативні джерела енергії. Зокрема однією із найперспективніших є сонячна енергетика.

Але в деяких регіонах рівень сонячної інсоляції в продовж року може бути недостатнім для самостійної роботи сонячних панелей на достатній потужності.

Тому, для забезпечення достатнього рівня освітленості панелей і відповідно забезпечити їх актуальність навіть у регіонах із низькою інсоляцією, було прийнято рішення розробити установку «дзеркальний світлонапрямляч», яка могла б збирати світловий потік із більшої площі при цьому зберігаючи стандартні розміри безпосередньо сонячних панелей.

										Арк.
										4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	МРМА 23. 00 00 000 ПЗ					

Результати розробки були представлені та високо оцінені на науко-вій студентській конференції кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем у 2023 році. На основі них було підготовлено тези у Збірник наукових праць «Технічна творчість» №7, 2023р. (додаток Б).1 Огляд та аналіз інформаційних джерел по технології виготовлення та конструкції сонячних концентраторів

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз існуючих пристроїв що використовують дзеркальні поверхні для напрямлення світлових променів

1.1 Особливості перетворення сонячної енергії

Сонячна енергія є практично невичерпним джерелом тепла та світла. Проте в деяких умовах сонячної енергії, що досягає земної поверхні недостатньо для виконання необхідних потужностей, тому виникає необхідність концентрувати або розподіляти її за допомогою різних установок, які використовують в своїй конструкції дзеркала та лінзи.

Сонячну енергію можна використовувати, як для обігріву приміщень, нагріву води так і для виробництва електроенергії використовуючи сонце, як джерело тепла в тепло електростанціях або за допомогою сонячних панелей, які використовують явище фотоефекту.

Фотоефект [1] — явище «вибивання» світлом електронів із речовини (рис 1.1). Це повне або часткове вивільнення електронів від зв'язків з ядрами атомів речовини внаслідок дії на неї електромагнітного проміння (світла, рентгєнівського чи гамма-променів). На (рисунок 1.1) зображена схема вибивання фотоелектронів із металевої пластини.

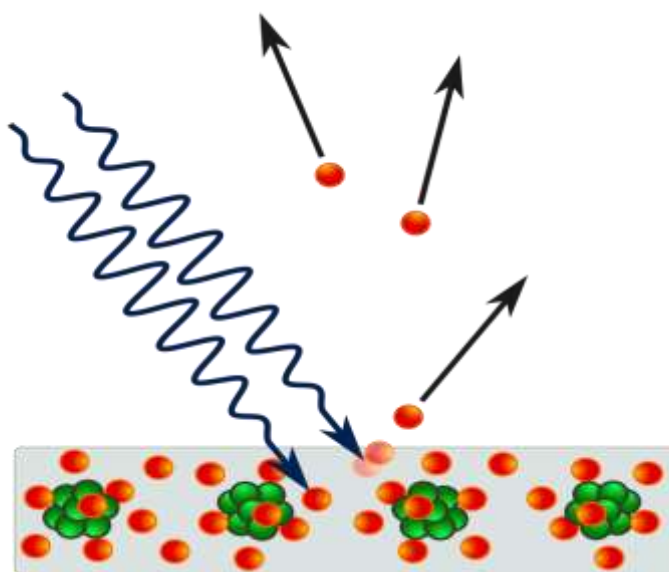


Рисунок 1.1 - Схема вибивання фотоелектронів із металевої пластини

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
6

Існують такі види фотоefektів: зовнішній фотоefekt — вибивання електро-нів під дією світла (фотоелектронна емісія), гаммавипромінювання тощо; внут-рішній фотоefekt — збільшення електропровідності напівпровідників або діе-лектриків під дією світла (фотопровідність); вентиляний фотоefekt — збудження світлом електрорушійної сили на межі між металом і напівпровідником або між різнорідними напівпровідниками (p-n перехід). [1]

Дослідження фотоefекту дозволили сформулювати три його характерні закони:

- 1) Кількість фотоелектронів прямо пропорційна інтенсивності світла.
- 2) Максимальна кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсив-ності світла, кінетична енергія фотоелектронів прямо-пропорційна частоті світла.
- 3) Для кожної речовини існують порогові значення частоти та довжини хвилі світла, які відповідають межі існування фотоefекту; світло з меншою частотою та більшою довжиною хвилі фотоefекту не викликає [1].

1.2 Огляд та аналіз пристроїв, що використовують дзеркальні поверхні для концентрації та направлення сонячної енергії

Сонячний концентратор для фотоелектричних модулів. Відомий сонячний концентратор для фотоелектричних модулів [2]. Технічне рішення ставиться до області сонячної енергетики, і може бути використане для підвищення характеристик потужності серійних фотоелектричних модулів.

Сонячний концентратор для фотоелектричних модулів, що включає прийомну поверхню й дві плоскі поверхні, що відбивають, однакового розміру, плоскі поверхні, що відбивають, розташовані під кутом $55-65^\circ$ до прийомної поверхні (рис. 1.2). [2]

В основу корисної моделі поставлене завдання вдосконалити конструкцію сонячного концентратора шляхом спрощення конструкції й розширення спожи-

вчих властивостей, тому що забезпечує їхнє використання для роботи із серійними фотоелектричними модулями. [2]

Поставлене завдання вирішується тим, що сонячний концентратор для фотоелектричних модулів, що включає прийомну поверхню й дві плоскі поверхні, що відбивають, однакового розміру, відповідно до корисної моделі, плоскі поверхні, що відбивають, розташовані під кутом $55-65^\circ$ до прийомної поверхні, що забезпечує спрощення конструкції при збереженні характеристик потужності фотоелектричних модулів. [2]

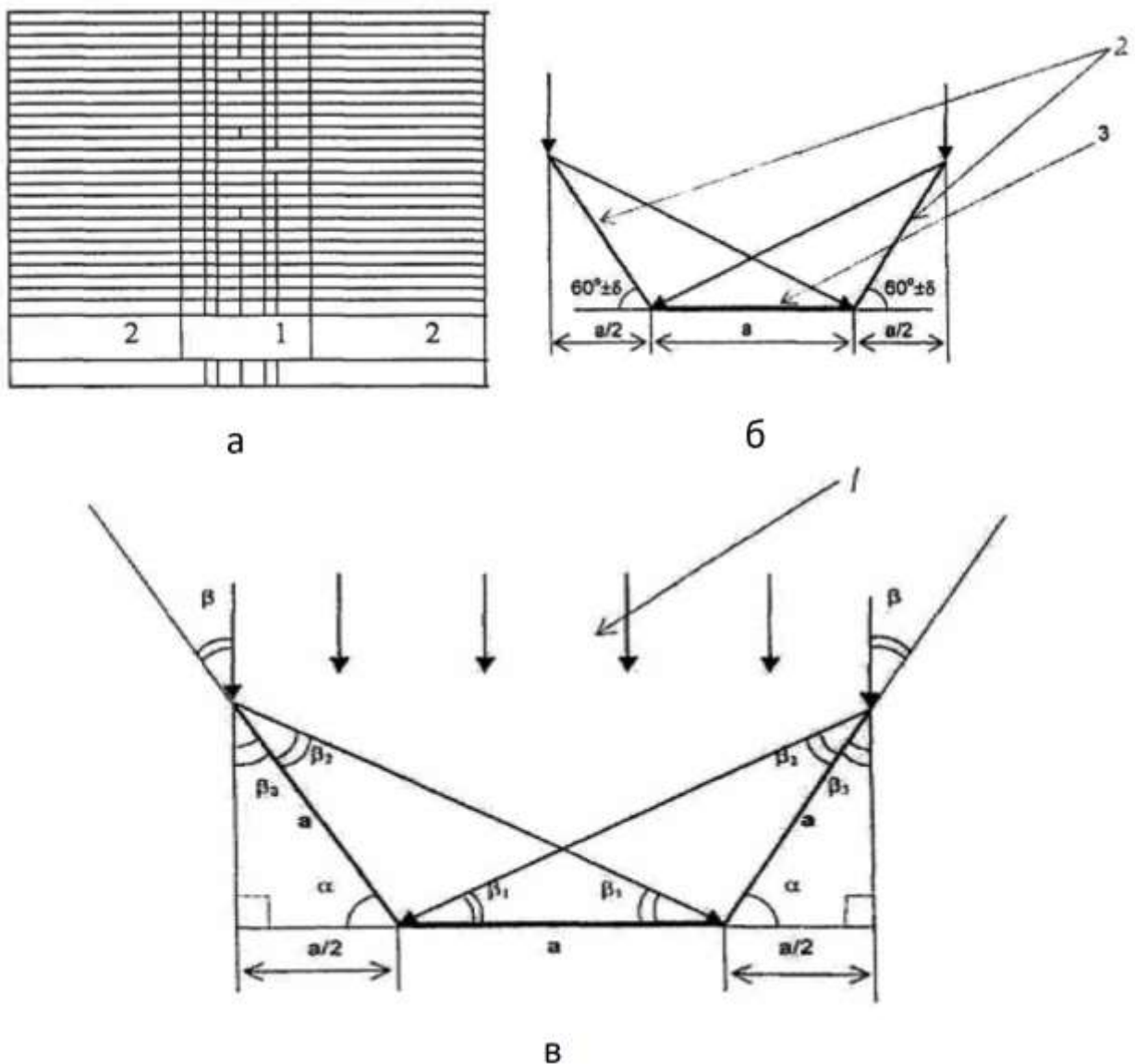


Рисунок 1.2 - Сонячний концентратор для фотоелектричних модулів: а - вид зверху; б – вид збоку; в – хід променів

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
8

На рисунку 1.2, а і рисунку 1.2, б показаний вид зверху в розкритому виді та вид збоку плоского концентратора для фотоелектричного модуля, на рисунку 1.2, в показаний хід променів у плоскому концентраторі [2].

Концентратор (рис. 1.2, а) являє собою лінійну конструкцію, містить прийомну поверхню 1, плоскі відбивачі 2, розташовані під кутом до прийомної поверхні фотоелектричного модуля. Розміри й площа поверхні модуля і обох концентраторів однакові. При рівній площі панелей, що відбивають, і прийомної поверхні, найбільш оптимальний кут установки відповідає значенню 60° . Відповідно, при перпендикулярному падінні сонячних променів на прийомну поверхню, ширина площі падіння збільшується з кожної з бічних сторін на $a/2$ (див. рис. 1.2, б). Характеристики модуля визначаються освітленістю його прийомної поверхні, відхилення поверхонь, що відбивають, від оптимального кута ($60^\circ \pm 5^\circ$) дають зменшення вихідної потужності фотоелектричної батареї (рис. 1.2, б) [2].

Принцип дії сонячного концентратора заснований на відбитті потоку сонячного випромінювання від поверхонь, що відбивають, 2 на робочу поверхню 1 фотоелектричного модуля. Сонячні елементи батареї перетворюють в електричну енергію діапазон довжин хвиль сонячного спектра як прямого, так і відбитого випромінювання. Як наслідок відбувається посилення освітленості прийомної панелі електричного модуля й збільшення характеристик потужності [2].

Заявлене рішення має простоту виконання, дозволяє знизити собівартість серійно фотоелектричних модулів, що випускають, за одиницю вироблюваної потужності. Це веде до зниження вартості сонячних електричних установок необхідних для забезпечення споживачів [2].

Даний концентратор є непоганим рішенням в регіонах де сонячна інтенсивність не може забезпечити максимальну потужність сонячної панелі, але є близькою до цього, через це у регіонах із достатньою сонячною активністю концентратор непотрібен, а в регіонах із малою активністю його недостатньо.

Існуючий «Сонячний фотоелектричний модуль із концентратором» [3]. В

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

основу винаходу поставлено задачу створення сонячного фотоелектричного модуля з концентратором шляхом виконання концентратора з розміщених на хордах, що лінеаризують пів параболу фацет оптимальних розмірів, довжину кожної з яких, окрім першої, визначають з умов максимального відбиття сонячних променів концентратором за рівномірного освітлення поверхні горизонтально орієнтованого на південь фотоелектричного приймача при заданому співвідношенні розмірів концентратора та приймача, дотримання якого незалежно від кута встановлення відбиваючої поверхні концентратора, дозволяє реалізувати рівно-мірне освітлення робочої поверхні приймача без затінення ділянок останньої, за рахунок чого досягнуте підвищення ефективності роботи фотоелектричного модуля з рівномірним зняттям електричної потужності незалежно від сезонної та добової зміни кута схилення Сонця та технологічності конструктивного виконання на панелях серійного виробництва [3].

Винахід належить до області геліотехніки та може бути використаний в установках на серійних сонячних модулях горизонтального базування зі стаціонарними концентраторами для цілорічної експлуатації у стаціонарному режимі [3].

Відомий тепло-фотоелектричний модуль з параболічним концентратором сонячного випромінювання, що містить напівпараболічний асиметричний концентратор і розміщений у фокальній площині концентратора лінійний двосторонній фотоелектричний приймач з пристроєм відбору тепла, при цьому для рівномірної освітленості приймача форма відбиваючої поверхні концентратора визначається системою рівнянь. [3]

Відомий високовольтний модуль складного конструктивного виконання відрізняється надмірною дорожнечою для некомерційного споживача. При цьому схемне рішення відомого теплофотоелектричного модуля обумовлює в різний час доби часткове затінення приймачем відбиваючої поверхні концентратора, що призводить до нерівномірності розподілу сонячного випромінювання і зниження ефективної потужності пристрою внаслідок незбалансованого відбору електричної складової. Крім того, ефективність

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

роботи пристрою різко знижується через потрапляння на поверхню концентратора седиментованого пилю з атмосферного шару [3].

Найбільш близьким за технічною суттю є фотоелектричний модуль, що містить параболо-циліндричний концентратор з плоских дзеркальних фацет, розміщених на дотичних до параболічного циліндра у вигляді однієї стереометричної фігури, і розташований у фокальній площині концентратора плоский лінійний двосторонній фотоелектричний приймач [3].

Відома система з дзеркальними фацетами в кількості 10-15 одиниць потребує використання спеціальних протяжних фотоелектричних модулів і складних систем стеження за Сонцем для переорієнтації у просторі концентратора та забезпечення юстування фацет, що істотно підвищує собівартість пристрою. При цьому нерівномірність розподілу освітленості приймача через різну кратність концентрації сонячного випромінювання на окремих ділянках поверхні обумовлює нерівномірність опромінення поверхні внаслідок накладення спроектованих променів, при якому сумарна потужність модуля, зазвичай, визначається потужністю мінімально освітленого елемента [3].

В основу винаходу поставлено задачу створення сонячного фотоелектричного модуля з концентратором шляхом виконання концентратора з розміщених на хордах, що лінеаризують пів параболу, фацет оптимальних розмірів, довжину кожної з яких, окрім першої, визначають з умов максимального відбиття сонячних променів концентратором за рівномірного освітлення поверхні горизонтально орієнтованого на південь фотоелектричного приймача при заданому співвідношенні розмірів концентратора та приймача, дотримання якого незалежно від кута установлення відбиваючої поверхні концентратора, дозволяє реалізувати рівномірне освітлення робочої поверхні приймача без затінення ділянок останньої, за рахунок чого досягнуте підвищення ефективності роботи фотоелектричного модуля з рівномірним зняттям електричної потужності незалежно від сезонної та добової зміни кута схилення Сонця та технологічності конструктивного виконання на панелях серійного виробництва [3].

Поставлена задача вирішується тим, що у сонячному фотоелектричному модулі з концентратором, який містить параболо-циліндричний концентратор з плоских дзеркальних фацет і розташований у фокальній площині концентратора плоский лінійний фотоелектричний приймач, згідно з винаходом, параболо-циліндричний концентратор виконаний у вигляді дуги пів параболи, звернена до приймача поверхня якої виконана у вигляді плоских дзеркальних фацет, розміщених на хордах, що лінеаризують пів параболу, довжина кожної з фацет, окрім першої, за умов максимального відбиття сонячних променів на приймач, зростає від осі до периферії, а фотоелектричний плоский однобічний приймач з шириною, що дорівнює фокусній відстані концентратора, розміщений горизонтально у фокусній площині останнього [3].

Параболо-циліндричний концентратор виконаний у вигляді дуги пів-параболи, звернена до приймача поверхня якої виконана плоскими дзеркальними фацетами, для підвищення ефективності роботи фотоелектричного модуля та тех-нологічності конструктивного виконання на панелях серійного виробництва [3].

Фацети концентратора розміщені на хордах дуги, що лінеаризують пів-параболу, довжина кожної з фацет, окрім першої, зростає від осі до периферії, для зменшення нерівномірності інсоляції відбитих сонячних променів через накладення та зменшення частки променів, відбитих за межі робочої поверхні фотоелектричного приймача, що дозволяє підвищити ефективність роботи фотоелектричного модуля з рівномірним зняттям електричної потужності незалежно від сезонної та добової зміни кута схилення Сонця [3].

Фотоелектричний плоский однобічний приймач з шириною, що дорівнює фокусній відстані концентратора, розміщено горизонтально у фокусній площині концентратора для підвищення ефективності роботи фотоелектричного модуля при малих кутах схилення Сонця [3].

На рисунку. 1.3 подано хід променів від напівпараболічного концентратора на фотоелектричний приймач [3].

Для спрощення технології виготовлення параболо-циліндричного концентратора та підвищення рівномірності розподілу інтенсивності освітлення фотоприймаючої поверхні доцільне встановлення світло відбиваючих фацет з визначеними розмірами на попередньо розрахований профіль концентратора заданої довжини [3].

Довжину t_i кожної з фацет 3 визначено з умов максимальної та рівномірної концентрації відбитих від концентратора 1 променів на поверхню приймача 2 [3].

При цьому довжина кожної із фацет 3, окрім першої, розміщених у концентраторі 1 від точки О до периферії виконана зі зростаючим розміром для виключення затінення, оскільки, у випадку виконання фацет однакової довжини при певних кутах падіння сонячних променів на концентратор 1 після віддзеркалення має місце накладення відбитих променів світлового потоку на частині поверхні приймача 2 або частина відбитих променів потрапляє за межі робочої поверхні приймача, що призведе до нерівномірної освітленості частини поверхні 3 приймача, віддаленої від точки фокуса, або до зниження ефективності роботи пристрою через втрату частини світлового потоку. При цьому на визначеній довжині дуги півпараболи розміщення фацет заданої довжини відраховують від верхньої крайньої точки дуги півпараболи, залишок довжини якої становить розмір першої фацети [3].

Запропонований сонячний модуль з концентратором може бути застосовано як для відбору з прямим використанням постійного струму споживачами, так і для використання з акумулюванням накопичувачами для покриття пікових навантажень електромережі або для живлення з перетворенням у змінний струм напругою 220 В [3].

Плоский сонячний колектор зі складеним відбивачем. Існуючий «Плоский сонячний колектор зі складеним відбивачем» [4]. Корисна модель стосується пристроїв для використання сонячної енергії, яка постачається відбивачами, і може використовуватися для опалення жилих та промислових будівель, підігріву води, в опріснювачах води, теплоелектростанціях та парогенераторах [4].

В основу корисної моделі поставлена технічна задача удосконалення конструкції плоского сонячного колектора зі складеним відбивачем [4].

Ознаками найближчого аналога, що збігаються з суттєвими ознаками корисної моделі, є наявність у плоскому сонячному колекторі зі складеним відбивачем коробка, прозорого покриття, складеного відбивача з ділянкою, що переходить у спіраль, горизонтальна ось якого паралельна основі колектора та нерухомого трубчастого приймача [4].

Технічним результатом корисної моделі є підвищення ефективності роботи плоских колекторів за рахунок забезпечення їх рівномірної роботи протягом світлового дня [4].

Поставлена технічна задача вирішується тим, що у плоскому сонячному колекторі зі складеним відбивачем, який містить короб, прозоре покриття, складений відбивач з ділянкою, що переходить у спіраль, горизонтальна ось якого паралельна основі колектора, та нерухомий трубчастий приймач, згідно корисній моделі нерухомий трубчастий приймач виконаний у вигляді циліндра, який примикає до складеного відбивача, на основі коробка розміщена теплоізоляція, спіраль має форму спіралі Архімеда, горизонтальна ось приймача розміщена нижче горизонтальної осі спіралі Архімеда, спіраль Архімеда розміщена у діапазоні 59° - 61° , за яким переходить у дугу кола відбивача з радіусом, рівним останньому значенню спіралі, а далі у прямолінійну ділянку, що розташована під кутом $\beta=44^{\circ}$ - 46° до горизонтальної осі спіралі та є дотичною до дуги кола з радіусом, рівним останньому значенню спіралі [4].

Корисна модель проілюстрована графічним матеріалом, де на рисунку 1.4, а показане аксонометричне зображення плоского сонячного колектора зі складеним відбивачем; на рисунку 1.4, б - перетин А-А (рис. 1.4, а); на рисунку 1.4, в - геометрія суміжних секцій складеного відбивача; на рисунку 1.4, д, рисунку 1.4, д, рисунку 1.4, д - геометричні моделі роботи відбивача для різних положень сонячних променів: на рисунку 1.4, г - модель роботи колектора для кута похилу сонячних променів 65° до осі абсцис; на рисунку 1.4, д - модель роботи колектора для сонячних променів, які паралельні осі ординат; на

рисунок. 1.4, е - модель роботи колектора для кута похилу сонячних променів 125° до осі абсцис. На фігурах позначено: O - центр спіралі відбивача; O_1 - центр приймача; n - нормаль у кожній точці відбивача; ℓ_n - падаючий промінь; ℓ_v - відбитий промінь (n, ℓ_n, ℓ_v - на рис. 1.4 г, д, е) [4].

Плоский сонячний колектор зі складеним відбивачем містить: короб 1, прозоре покриття 2, теплоізоляцію 3, складений відбивач 4 та трубчастий приймач 5, що примикає до відбивача 4, горизонтальну ось б відбивача 4 та горизонтальну вісь 7 приймача 5, вертикальну вісь 8 відбивача 4 та вертикальну вісь 9 приймача 5 [4].

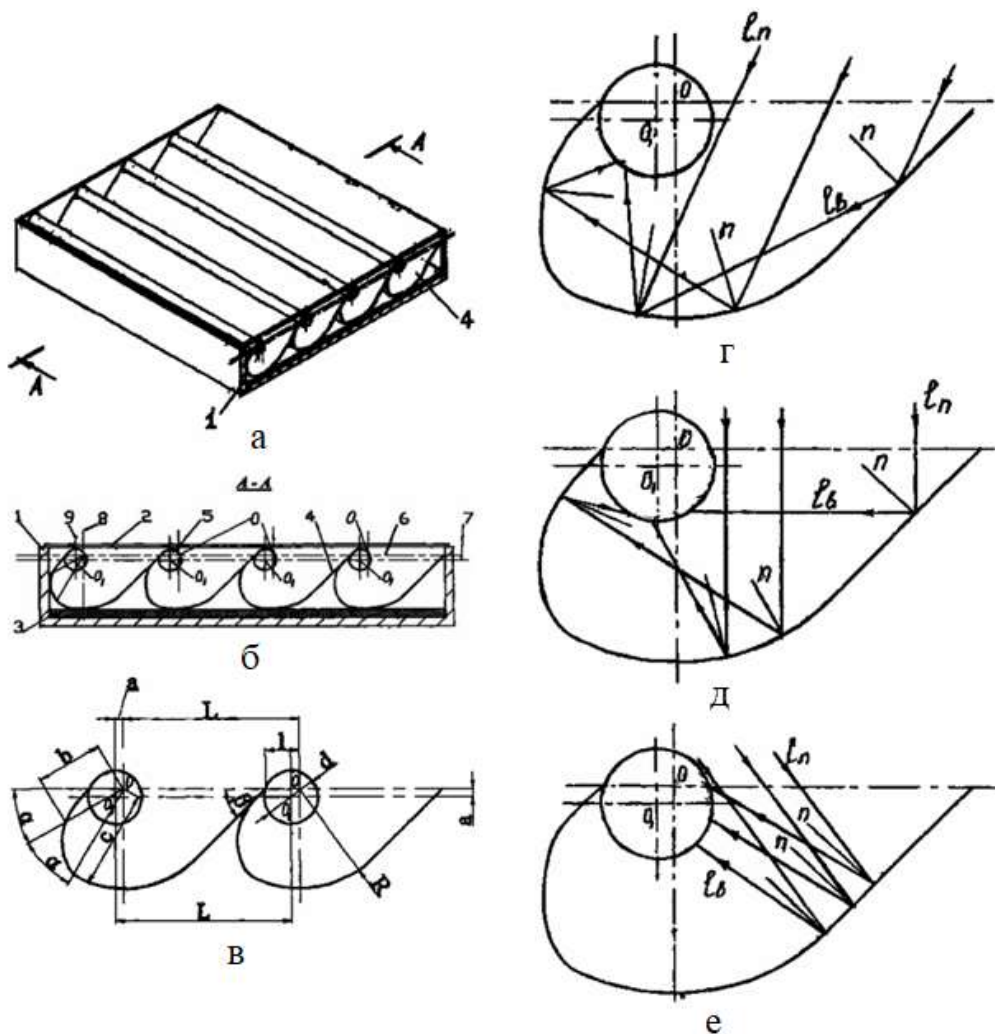


Рисунок 1.4 - Плоский сонячний колектор зі складеним відбивачем: а - аксонометричне зображення, в - перетин А-А, в - геометрія суміжних секцій, г - д - е геометричні моделі роботи відбивача для різних положень сонячних променів

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
16

На рисунку. 1.4, в показано опис конструкції корисної моделі через геометричні параметри. Вихідним є діаметр умовного проходу d приймача 5. Усі інші параметри пов'язані з ним [4].

Плоский колектор зі складеним відбивачем 4 працює таким чином. Сонячні промені які поступають на будь яку ділянку відбивача 4, після одно або багато-разового відбиття потрапляють на приймач 5, який знаходиться у зоні концент-рації променів. Ділянка спіралі Архімеда являє собою пастку, в якій після повтор-ного або багаторазового відбиття промені потрапляють на приймач 5. Кут похилу колектора прийнятий рівним ширині даної місцевості, оскільки у дні весіннього та осіннього рівнодення кутова висота Сонця у південь збігається з шириною місцевості. Колектор орієнтовано на південь. Відбивач 4 виконується із гнутого листа металу, який має високу ступінь відбиття, або із фасет, розташованих на ньому [4].

Запропоновану конструкцію можна використовувати у вакуумованих колекторах [4].

Сонячний генератор тепла та електрики. Відомий «Сонячний генератор тепла та електрики» [5]. Корисна модель належить до області енергетики, зокрема до термоелектричних генераторів електричної енергії, і може бути використана для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію [5].

В основу корисної моделі поставлена задача створення сонячного генератора тепла та електрики, який би зменшив втрати сонячної енергії на елементах конструкції, та забезпечив оптимальний температурний режим генерування енергії для термопарного елемента [5].

Корисна модель належить до області енергетики, зокрема до термоелектричних генераторів електричної енергії, і може бути використана для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію [5].

Відомі сонячні генератори тепла та електрики, що використовують перетворення сонячної енергії в теплову та електричну [5].

Найближчим аналогом до корисної моделі, що заявляється, є сонячний термоелектричний генератор, який складається з параболічного дзеркала та збірної лінзи, що концентрують сонячну енергію на вертикально розміщені приймальні площадки, які перебувають у тепловому контакті з гарячою стороною термоелектричного перетворювача. Тепло від холодного спаю термоелектричного перетворювача відводиться рідинним теплообмінником для подальшої рекупе-рації. Для зменшення теплових втрат приймальні площадки, термоелектричний перетворювач та рідинний теплообмінник розміщені в герметичній ізоляційній камері [5].

Недоліком такої конструкції є те, що сонячна енергія до моменту перетворення в тепло на вертикальних приймальних площадках термоелектричного перетворювача проходить через збірну лінзу та стінку ізоляційної камери, що спричиняє додаткові втрати сонячної енергії на елементах конструкції. При цьому поглинута енергія параболічним концентратором не відводиться системою охолодження, що сприяє розігріву конструктивних елементів [5].

В основу корисної моделі поставлена задача створення сонячного генератора тепла та електрики, який би зменшив втрати сонячної енергії на елементах конструкції, та забезпечив оптимальний температурний режим генерування енергії для термопарного елемента [5].

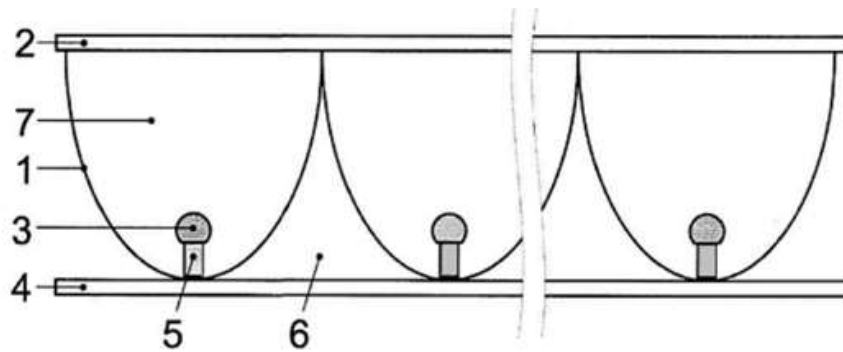
Задача вирішується тим, що простір між герметизуючою пластиною та захисною поверхнею утворює рідинний теплообмінник для відводу тепла від концентраторів, внутрішні об'єми яких заповнені інертним газом для зменшення теплових втрат, приймальні площадки термоелектричних перетворювачів виконані у вигляді зрізаних куль та як альтернативна система відводу тепла від концентраторів може використовуватися рідинний теплообмінник, який представляє собою сукупність послідовно-паралельно з'єднаних трубок, що кріпляться до нижніх частин концентраторів [5].

У корисній моделі запропоновано нове рішення для зменшення втрат сонячної енергії на конструкції пристрою та забезпечення оптимального режиму генерування енергії, яке полягає у тому, що простір між герметизуючою пласти-

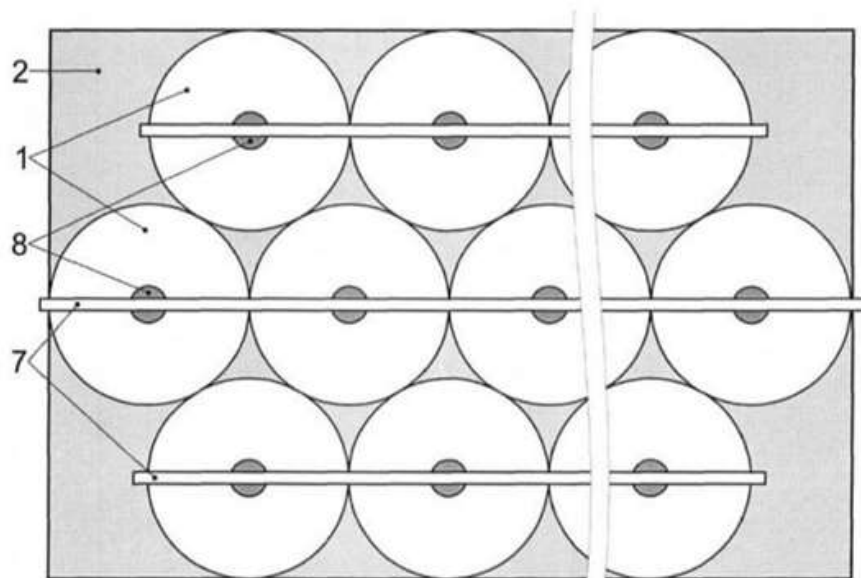
ною та захисною поверхнею утворює рідинний теплообмінник для відводу тепла від концентраторів, внутрішні об'єми яких заповнені інертним газом для зменшення теплових втрат, приймальні площадки термоелектричних перетворювачів виконані у вигляді зрізаних куль та як альтернативна система відводу тепла від концентраторів може використовуватися рідинний теплообмінник, який представляє собою сукупність послідовно-паралельно з'єднаних трубок, що кріпляться до нижніх частин концентраторів [5].

Промислове використання запропонованої корисної моделі не вимагає спеціальних технологій, його реалізація можлива на підприємствах машинобудівного напрямку [5].

Сонячний генератор тепла і електрики (на рис. 1.5, а) містить необхідні складові, для генерування сонячної енергії в електричну. Він складається з компактно розташованих концентраторів 1, до яких кріпляться термоелектричні перетворювачі 5 так, що їх приймальні площадки 3 знаходяться у фокусах концентраторів, простір між герметизуючою пластиною 4 та захисною поверхнею 2 утворює рідинний теплообмінник 6 для відводу тепла від концентраторів, що представляють собою холодні радіатори для термоелектричних перетворювачів. Об'єм 7 обмежений параболічними концентраторами та захисною поверхнею герметичний й заповнений інертним газом. Кулясті приймальні площадки 3 термоелектричних перетворювачів виконані у відповідних розмірах для компенсування неточностей фокусування параболічного [5].



а



б

Рисунок 1.5 - Сонячний генератор тепла та електрики

Робота сонячного генератора тепла і електрики полягає в наступному. Сонячне випромінювання проходить крізь захисну поверхню 2 сонячного генератора тепла і електрики (рис. 1.5, а), потрапляє на компактно розташовані параболічні концентратори 1, відбивається від них та фокусується на приймальних площадках 3, виконаних у вигляді зрізаних куль, де перетворюється в теплову енергію. Генероване тепло, проходячи через термоелектричний перетворювач 5, перетворюється в електричну енергію. Об'єм 7 обмежений параболічними концентраторами 1 та захисною поверхнею 2 герметичний і заповнений інертним газом разом з нанесеною дзеркальною поверхнею на бічні поверхні 2 термоелектричного перетворювача, мінімізує як конвективні втрати тепла, так і шляхом випромінювання. Тепло від холодних

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
20

спаїв термоелектричних перетворювачів розсіюється на параболічних концентраторах, які водночас виступають елементами конструкції рідинного теплообмінника 6. Також як альтернативний рідинний теплообмінник (рис. 1.5, б) можливе використання сукупності послідовно-паралельно з'єднаних трубок 7, що кріпляться до нижніх частин концентраторів 8, в яких прокачується теплоносій [5].

Відомі наступні способи перетворення сонячної енергії в електричну та теплову: фотоелектричний, сонячні колектори та термоелектричний. Не дивлячись на значення ККД таких способів, важливу роль відіграє економічна сторона, тобто вартість генерованої енергії (\$/Вт). Провівши економічний аналіз кожного з цих методів перетворення енергії встановлено, що вартість генерованої енергії фотоелектричним способом становить 1-2,5 \$/Вт, сонячними колекторами - 0,25-1,5 \$/Вт, за допомогою термоелектрики - 0,5 \$/Вт. Такий аналіз дає можливість стверджувати, що термоелектричний спосіб перетворення сонячної енергії в електричну є економічно вигіднішим для практичного застосування в різних галузях народного господарства. Таким чином, запропонована конструкція сонячного генератора тепла і електрики зменшує теплові втрати на елементах конструкції в порівнянні з аналогом, що дозволяє збільшити коефіцієнт корисної дії генератора [5].

Недоліком такої конструкції є те, що сонячна енергія до моменту перетворення в тепло на вертикальних приймальних площадках термоелектричного перетворювача проходить через збірну лінзу та стінку ізоляційної камери, що спричиняє додаткові втрати сонячної енергії на елементах конструкції. При цьому поглинута енергія параболічним концентратором не відводиться системою охолодження, що сприяє розігріву конструктивних елементів [5].

Висновки до розділу

Були розглянуті конструкції, які використовують дзеркальні поверхні для напрямлення світлових променів для подальшого їх перетворення в інші види енергії:

- сонячний концентратор для фотоелектричних модулів, що може бути використаний для підвищення характеристик потужності серійних фотоелектричних модулів;

- сонячний фотоелектричний модуль із концентратором, в основу якого поставлено задачу створення сонячного фотоелектричного модуля з концентратором шляхом виконання концентратора з розміщених на хордах, що лінеаризують пів парабол;

- плоский сонячний колектор зі складеним відбивачем, який стосується пристроїв для використання сонячної енергії, яка постачається відбивачами, і може використовуватися для опалення жилих та промислових будівель, підігріву води, в опріснювачах води, теплоелектростанціях та парогенераторах;

- сонячний генератор тепла та електрики, належить до області енергетики, зокрема до термоелектричних генераторів електричної енергії, і може бути використана для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію.

Після розгляду цих конструкцій було прийнято рішення розробити пристрій «Дзеркальний світлорозподілювач для сонячних панелей».

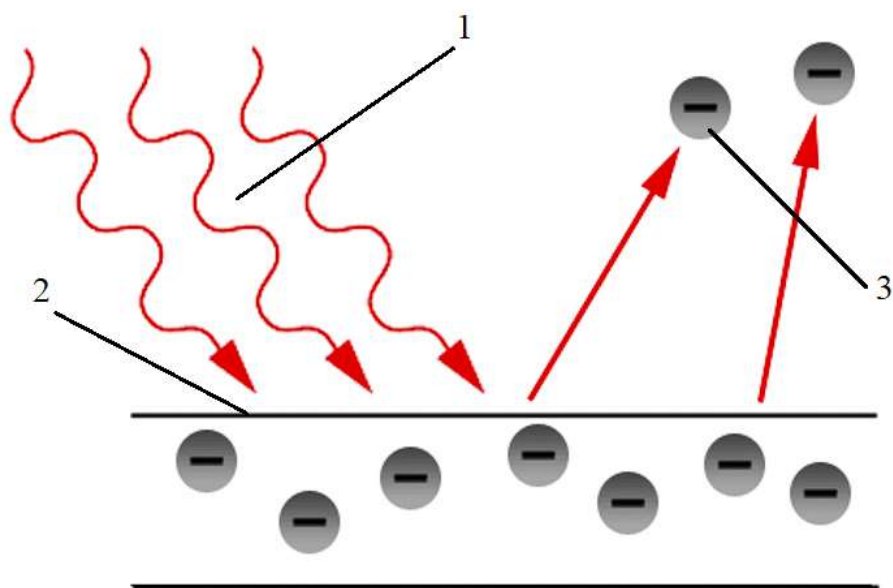
2 Розробка конструкції світло-розподільвача та отримання електричної енергії

2.1 Розробка технології отримання електричної енергії за допомогою світло-розподільвача

Призначенням даної розробки являється збільшення рівня інсоляції (освітлюваності) безпосередньо сонячних панелей, що дозволить значно розширити їх регіональний діапазон використання.

Інсоляція - притік сонячної радіації на одиницю площі поверхні за одиницю часу [6].

Сонячні панелі працюють завдяки фотоелектричному ефекту (рис 2.1) - процесу випускання електронів речовиною під дією випромінювання Сонця. Фотоелемент виробляє електрику, коли опромінюється світлом. Залежно від рівня сонячної інсоляції, він генерує більше або менше електроенергії [7].



1 – випромінювання сонця; 2 – речовина (фотоелемент); 3 – електрони

Рисунок 2.1 – Фотоелектричний ефект

Кількість електроенергії, яку виробляє панель, вимірюється в кіловат годинах і визначається за формулою: [7]

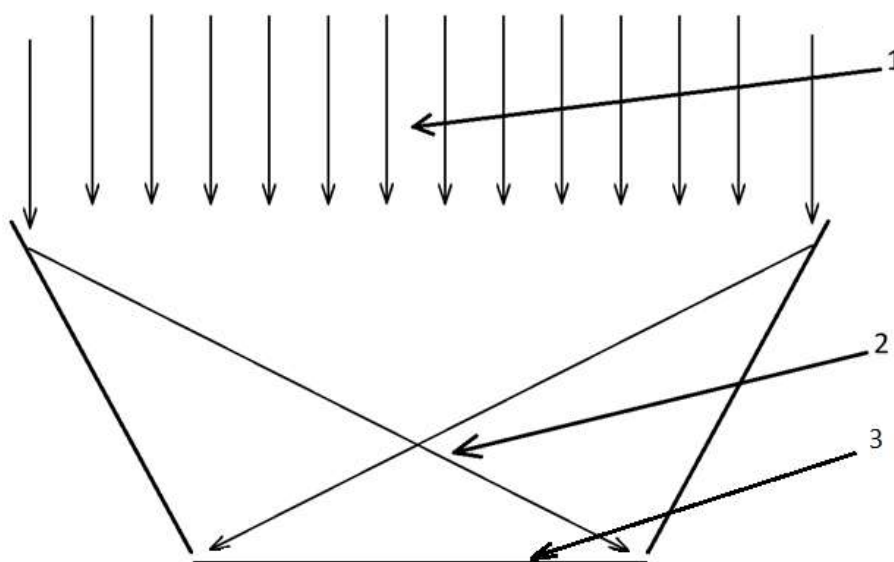
$$S_n \cdot E \cdot \eta \cdot t. \quad (2.1)$$

де:

- S_n – площа однієї панелі, m^2 ;
- E – поверхнева освітленість kB/m^2 ;
- t – кількість сонячних годин;
- η - коефіцієнт корисної дії панелі.

Як видно із формули, на виробництво електроенергії сонячними панелями найбільший вплив має інсоляція поверхні фотоелементів.

На схемі (рис 2.2) показано, як дана розробка фактично збільшує освітленість робочої поверхні фотоелектричної панелі направляючи на неї світлові промені, які у звичайних умовах не падали на неї, що дозволяє значно зекономити площу безпосередньо сонячної панелі.



1 – падаючі світлові промені; 2 – відбиті світлові промені; 3 – сонячна панель

Рисунок. 2.2 – Схема роботи світлорозподільвача

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
24

Для прикладу, якщо у нашому регіоні проживання середньорічна сонячна активність не перевищує $500-700 \text{ Вт/м}^2$, що значно менше навіть, ніж режими роботи панелей які зазвичай використовують експерти з фотовольтаїки при тестуванні в 800 або 1000, тому зазвичай при таких умовах встановлення сонячних панелей є недоцільним, але ця проблема легко вирішується за допомогою встановлення простої конструкції, що пропонується розробити у магістерській роботі.

Встановлення даної конструкції дозволить підняти рівень освітленості а відповідно і потужності сонячної панелі більш ніж у два рази залежно від необхідних значень, завдяки чому можливо ефективно використовувати сонячні панелі для свого дому проживаючи майже в будь якому куточку планети.

2.2 Розробка конструкції світло-розподільвача отримання електроенергії

При розробці світлорозподільвача необхідно: розрахувати кути розміщення відбиваючої поверхні світлорозподільвача відносно приймаючої поверхні сонячної панелі; розрахувати рівень інсоляції панелі із використанням пристрою світлорозподільвач; розрахувати розгортку зрізаного циліндра для визначення форми заготовок при виготовленні установки.

Розрахунки проводяться для ідеальних умов без врахування зовнішніх факторів, де кут падіння сонячних променів на панель завжди буде 90° .

Для розрахунків візьмемо характеристики панелі RSM156-6-430M (рис 2.3), яка виготовляється компанією Risen Energy - одного з представників рейтингу Tier1. Як видно з назви моделі, показник потужності фото модуля становить 430 Вт. Що визначається наступним чином. За основу береться рівень освітленості у 1000 Вт/м^2 (інсоляція в лабораторних умовах). Дане значення множимо на активну площу панелі, яка становить $2,17 \text{ м}^2$. І так, панель поглинає близько 2170 Вт сонячної енергії. Але як відомо, коефіцієнт корисної дії кремнієвих панелей для даної панелі він становить 19,8%. Тепер для визначення, кількості енергії, що виробляє одна сонячна батарея, достатньо

перемножити значення ККД панелі з отримуваною енергією – $2170 \text{ Вт} \cdot 19,8 \% = 430 \text{ Вт}$ [8].

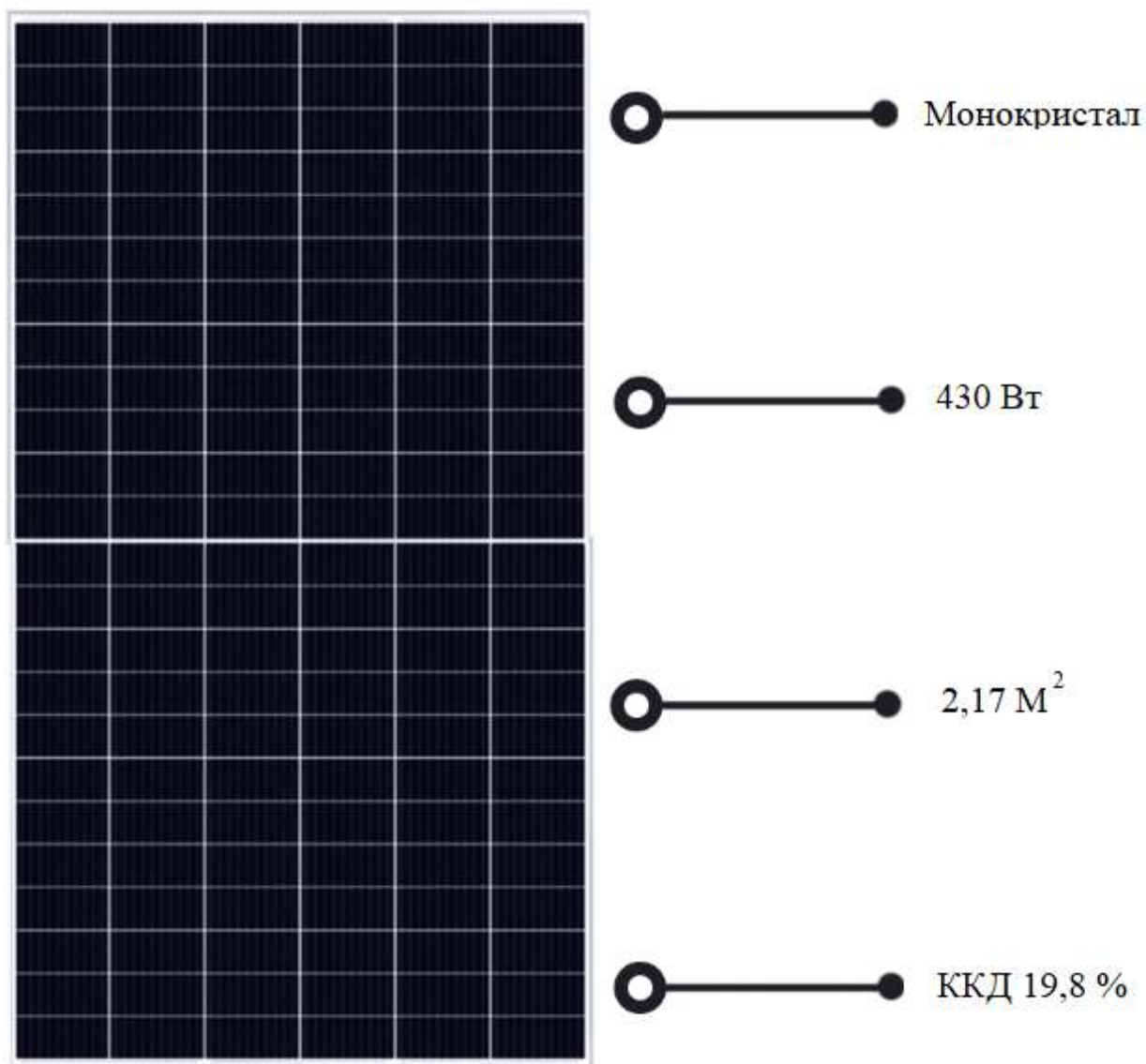


Рисунок 2.3 – Сонячна панель RSM156-6-430M

Рівень виробника по рейтингу Tier [9]. Термін Tier прийшов у сонячну енергетику зі світу фінансів. Завдяки цьому рейтингу інвестори відбирають проєкти із найкращою фінансовою привабливістю. У сонячній енергетиці рейтинг Tier визначає рівень виробника, враховуючи якість і автоматизацію складальних ліній виробництва, обсяг продукції, що випускається, скільки виробник інвестує в дослідження, скільки років на ринку працює компанія і ряд інших показників [9].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
26

Відповідно до цієї класифікації всі виробники діляться на три рівні: Tier1, Tier2 та Tier3:

Tier1 – це 2% всіх світових виробників. Це великі компанії із річним виробництвом понад 1 ГВт потужності сонячних батарей. Як правило, ці компанії мають повний цикл виробництва від вирощування кремнію до збирання панелей. Вони досить інвестують у наукові дослідження та оснащують виробництво сучасними роботизованими лініями. Зазвичай на ринку понад 5 років [9].

Tier2 – це малі та середні компанії із власним виробництвом. Вони мало і зовсім нічого не витрачають на розробки та дослідження. Виробництво частково оснащено роботизованою технікою. На ринку щонайменше 2-х років. [9]

Tier3 – це заводи, які здійснюють збирання з готових елементів. До таких виробників відносяться понад 90% компаній, що випускають сонячні батареї. Ці компанії не мають досліджень і здебільшого застосують ручну працю на всіх етапах виробництва. [9]

Отже маємо вихідні данні:

- освітленість в лабораторних умовах I_0 - 1000 Вт на 1 м^2 ;
- кут падіння світла 90 град;
- площа сонячної панелі $2,17\text{ м}^2$;
- потужність сонячної панелі 430 Вт;
- коефіцієнт корисної дії панелі 19,8%;
- мінімальний дзеркальний коефіцієнт покриття відбиваючої поверхні світло-розподільвача 95%.

Закон відбивання світла [10].

Для встановлення законів відбивання світла використовують оптичну шайбу (Рис. 2.4).

СО – падаючий промінь (напрямок пучка світла який падає)

ОК – Відбитий промінь (напрямок відбитого пучка світла)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
27

OB – Перпендикуляр до відбиваючої поверхні, проведений із точки падіння O

Кут α – кут падіння (утворений падаючим променем і перпендикуляром)

Кут β – кут відбиття (утворений відбитим променем і перпендикуляром)

Вимірявши кут α і β можна переконатися що вони є рівними



Рисунок 2.4 - Оптична шайба

Якщо вимірявши кути на схемі (рис. 2.5) можна виразити формули взаємовідношення для знаходження необхідних нам кутів розміщення поверхонь одна відносно іншої в залежності від необхідного нам кута падіння променів на сонячну панель α_1 .

$$\varepsilon = \lambda . \quad (2.2)$$

$$\varepsilon + \lambda + \varepsilon_1 = 90^\circ . \quad (2.3)$$

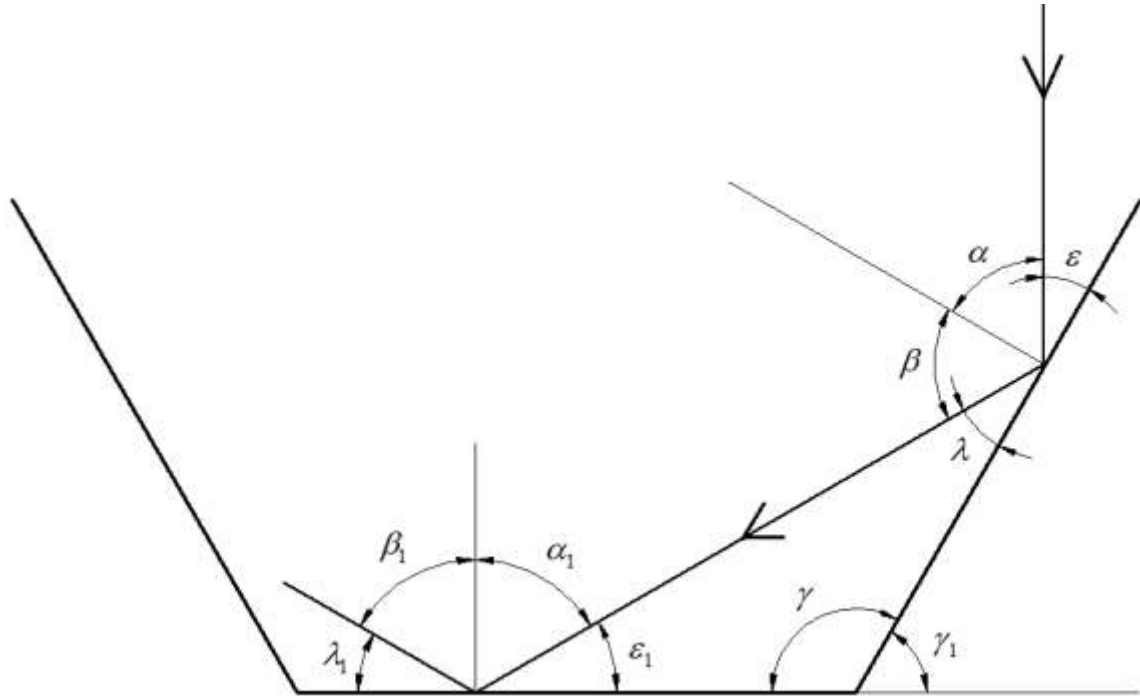
$$\varepsilon_1 + \lambda + \gamma = 180^\circ . \quad (2.4)$$

$$\alpha_1 + \varepsilon_1 = 90^\circ . \quad (2.5)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$\lambda + \gamma_1 = 90^\circ . \quad (2.6)$$

$$\gamma + \gamma_1 = 180^\circ . \quad (2.7)$$



α – кут падіння кут падіння (утворений падаючим променем і перпендикуляром) на поверхню світло-розподільвача,

α_1 – кут падіння відбитих світлових променів кут падіння (утворений падаючим променем і перпендикуляром) на сонячну панель,

γ – кут розміщення відбиваючої поверхні світло-розподільвача відносно сонячної панелі.

Рисунок 2.5 - Схема відбиття світлових променів від поверхні

Проведемо розрахунок для трьох довільних варіантів кута розміщення відбиваючої поверхні установки відносно сонячної панелі: $\gamma_1=55^\circ$, $\gamma_1=60^\circ$, $\gamma_1=65^\circ$

при $\gamma_1=55^\circ$

$$\lambda = 90 - 55 = 35^\circ .$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
29

$$\gamma = 180 - 55 = 125^\circ .$$

$$\varepsilon_1 = 180 - 125 - 30 = 20^\circ .$$

$$\alpha_1 = 90 - 20 = 70^\circ .$$

при $\gamma_I = 60^\circ$

$$\lambda = 90 - 60 = 30^\circ .$$

$$\gamma = 180 - 60 = 120^\circ .$$

$$\varepsilon_1 = 180 - 120 - 30 = 30^\circ .$$

$$\alpha_1 = 90 - 30 = 60^\circ .$$

при $\gamma_I = 65^\circ$

$$\lambda = 90 - 65 = 25^\circ .$$

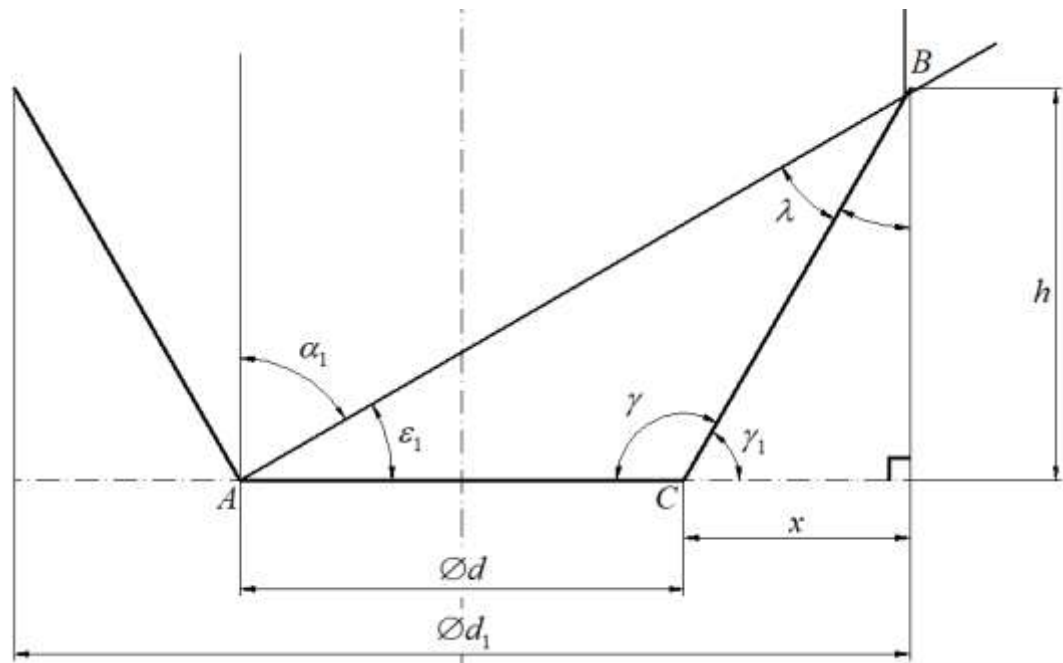
$$\gamma = 180 - 65 = 115^\circ .$$

$$\varepsilon_1 = 180 - 115 - 25 = 40^\circ .$$

$$\alpha_1 = 90 - 40 = 50^\circ .$$

Далі необхідно визначити необхідні розміри та кути нахилу поверхонь (рис 2.6, 2.7) в залежності від діаметру нижнього кільця конструкції d який залежить від площі панелі, та необхідних нам кутів падіння відбитих дзеркальним світло- розподілювачем сонячних променів на поверхню фотоелектричної панелі $\varepsilon_1(a_1)$, для цього необхідно розробити прийнятну розрахункову схему і з її допомогою виразити необхідні формули. Для побудови цієї схеми (рис 2.6, 2.7) відштовхуючись від схеми відбиття світлових променів від поверхні (рис 2.5), необхідно взяти крайню точку сонячної панелі і провести від неї промінь із необхідним кутом $\varepsilon_1(a_1)$. Таким чином одразу можна розрахувати кут λ , кути γ та γ_I , оскільки діаметр $\varnothing d$ залежить від площі

фотоелектричної панелі для якої проводяться розрахунки що становить $2,17 \text{ м}^2$. Далі необхідно позначаємо конструктивні розміри, які необхідно знайти і таким чином отримуємо схему для розрахунку габаритних параметрів дзеркального світло-розподілювача (рис 2.6) після чого зобразимо її вид зверху (рис 2.7) для кращого розуміння вигляду установки.



h – висота світло-розподілювача; d – внутрішній діаметр світло-розподілювача (діаметр поверхні для розміщення сонячної панелі); d_1 – зовнішній діаметр світло-розподілювача.

Рисунок 2.6 - Схема для розрахунку габаритних параметрів конструкції

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

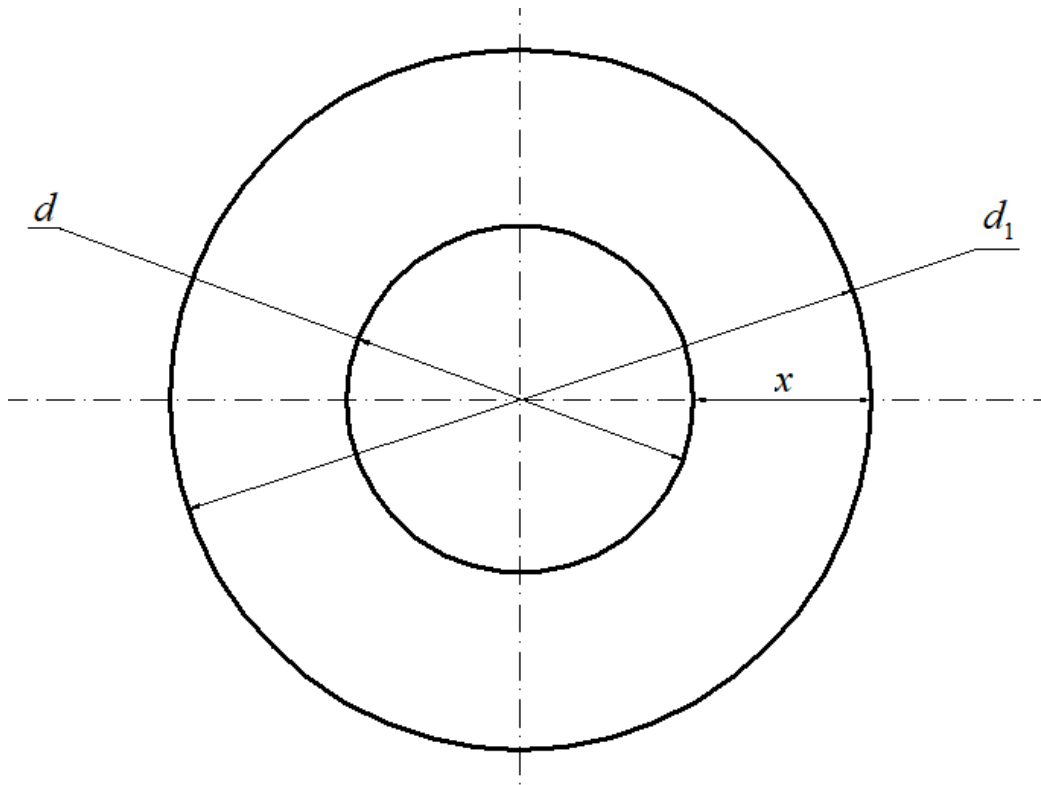


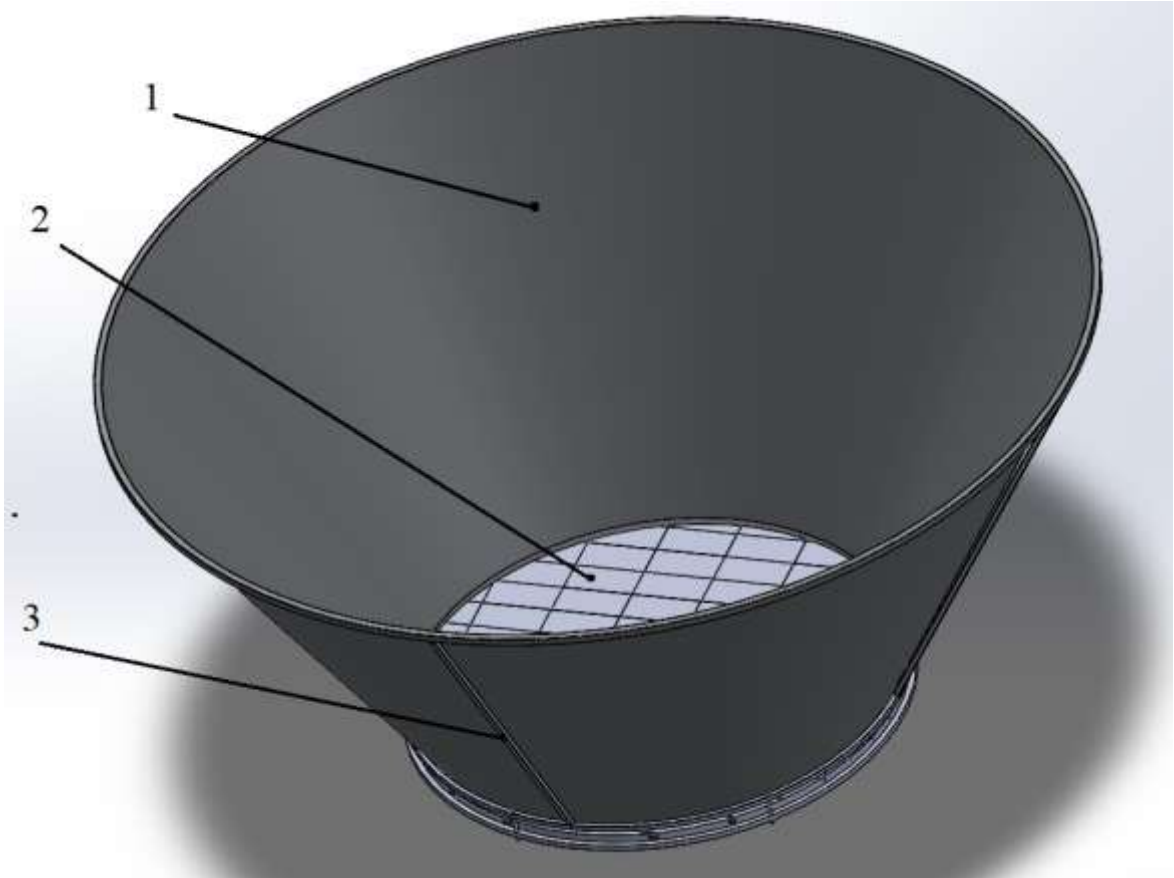
Рисунок 2.7 - Схема для розрахунку габаритних параметрів конструкції
вид зверху

Також використовуючи схеми (рис 2.6, рис 2.7), необхідно визначити
горизонтальну площу відбиваючої поверхні світло-розподільвача (рис. 2.8)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
32



1 – відбиваюча поверхня світло-розподільвача; 2 – сонячної панелі; 3 –
рама кріплення світлорозподільвача

Рисунок 2.8 – 3D модель дзеркального світлорозподільвача

З допомогою розрахунків визначаємо габаритні розміри пристрою d_1 і h (рис 2.6) Із вихідних даних відома площа звичайної сонячної панелі потужністю 430 Вт для якої проводяться розрахунки, що становить $2,17 \text{ м}^2$ необхідно розглянути габарити аналога зібраного в круглій формі. Площа кола знаходиться за формулою:

$$S = \pi r^2. \quad (2.8)$$

Із неї можна виразити формулу для знаходження радіуса.

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (2.9)$$

$$r = \sqrt{\frac{2,17}{3,14}} = 0,831103 \text{ мм.}$$

Закругляємо значення до стандартного розміру $r=835$ мм.

Тоді діаметр $d=1670$ мм.

$$d_1 = d + 2 \cdot x. \quad (2.10)$$

$$r = \frac{d_1}{2}. \quad (2.11)$$

$$S_{\text{розподільвача}} = S - S_{\text{панелі}}. \quad (2.12)$$

де:

- $S_{\text{розподільвача}}$ – горизонтальна площа відбиваючої поверхні;
- S - загальна площа конструкції із діаметром d_1 ;
- $S_{\text{панелі}}$ - площа сонячної панелі.

Щоб знайти x і відповідно d_1 потрібно с початку знайти довжину сторони C, B , що являється гіпотенузою прямокутного трикутника одним із катетів якого є x (рис 2.6), для цього потрібно скористатися формулою довжини сторін трикутника (по теоремі синусів (рис 2.9)) [11], із якої відомо, що катет прямокутного трикутника рівний його гіпотенузі помноженій на синус протилежного або на косинус прилягаючого до нього кутів, а сума кутів будь якого трикутника рівна 180° .

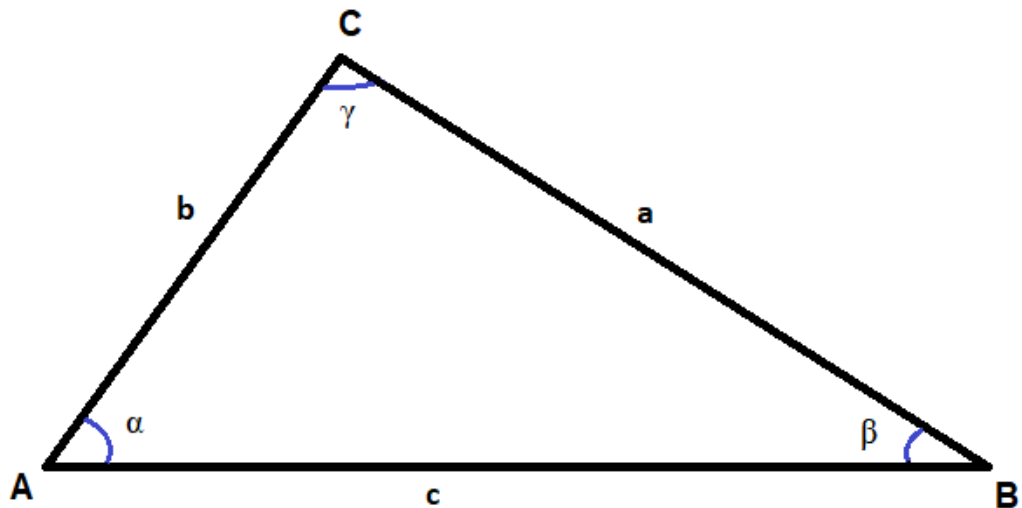


Рисунок 2.9 – Схема вирішення кітів

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}. \quad (2.13)$$

На рисунку 2.6 видно що сторона $AC=d=1670$ мм.

$$\frac{AC}{\sin \lambda} = \frac{CB}{\sin \varepsilon_1} = \frac{AB}{\sin \gamma}. \quad (2.14)$$

При $\gamma_1=55^\circ$

$$\frac{1670}{\sin 35^\circ} \approx 2910 \text{ мм.}$$

$$CB = 2910 \cdot \sin 20^\circ \approx 1000 \text{ мм.}$$

$$h = 1000 \cdot \sin 55^\circ \approx 820 \text{ мм.}$$

$$x = 1000 \cdot \cos 55^\circ \approx 570 \text{ мм.}$$

$$d_1 = 1670 + 570 \cdot 2 = 2810 \text{ мм.}$$

$$S = 3,14 \cdot 1,405^2 \approx 6,2 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{розподілювача}} = 6,2 - 2,17 = 4,03 \text{ м}^2.$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
35

При $\gamma_1=60^\circ$

$$\frac{1670}{\sin 30^\circ} \approx 3340 \text{ мм.}$$

$$CB = 3340 \cdot \sin 30^\circ \approx 1670 \text{ мм.}$$

$$h = 1670 \cdot \sin 60^\circ \approx 1450 \text{ мм.}$$

$$x = 1670 \cdot \cos 60^\circ \approx 835 \text{ мм.}$$

$$d_1 = 1670 + 835 \cdot 2 = 3340 \text{ мм.}$$

$$S = 3,14 \cdot 1,405^2 \approx 8,72 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{розподільвача}} = 6,2 - 2,17 = 6,59 \text{ м}^2.$$

При $\gamma_1=65^\circ$

$$\frac{1670}{\sin 25^\circ} \approx 3950 \text{ мм.}$$

$$CB = 3950 \cdot \sin 40^\circ \approx 2550 \text{ мм.}$$

$$h = 2550 \cdot \sin 65^\circ \approx 2310 \text{ мм.}$$

$$x = 2550 \cdot \cos 65^\circ \approx 1077 \text{ мм.}$$

На мою думку, конструкція на одну сонячну панель висотою вище двох метрів занадто громіздка, тому в подальшому варіант світлорозподільвача із кутом відбиваючої поверхні 65° розглядатися не буде.

Далі приведені розрахунки для визначення форми заготовок для виготовлення світлорозподільвача.

Для виготовлення тих чи інших пристроїв необхідно мати уявлення про те із чого вони будуть виготовлені і які для цього необхідні замовити заготовки, тому важливо провести відповідні розрахунки для їх знаходження.

По суті, установка представляє собою зрізаний конус, тому для того щоб визначити форму заготовки для її виготовлення необхідно зробити розгортку конуса (рис 2.10) [12].

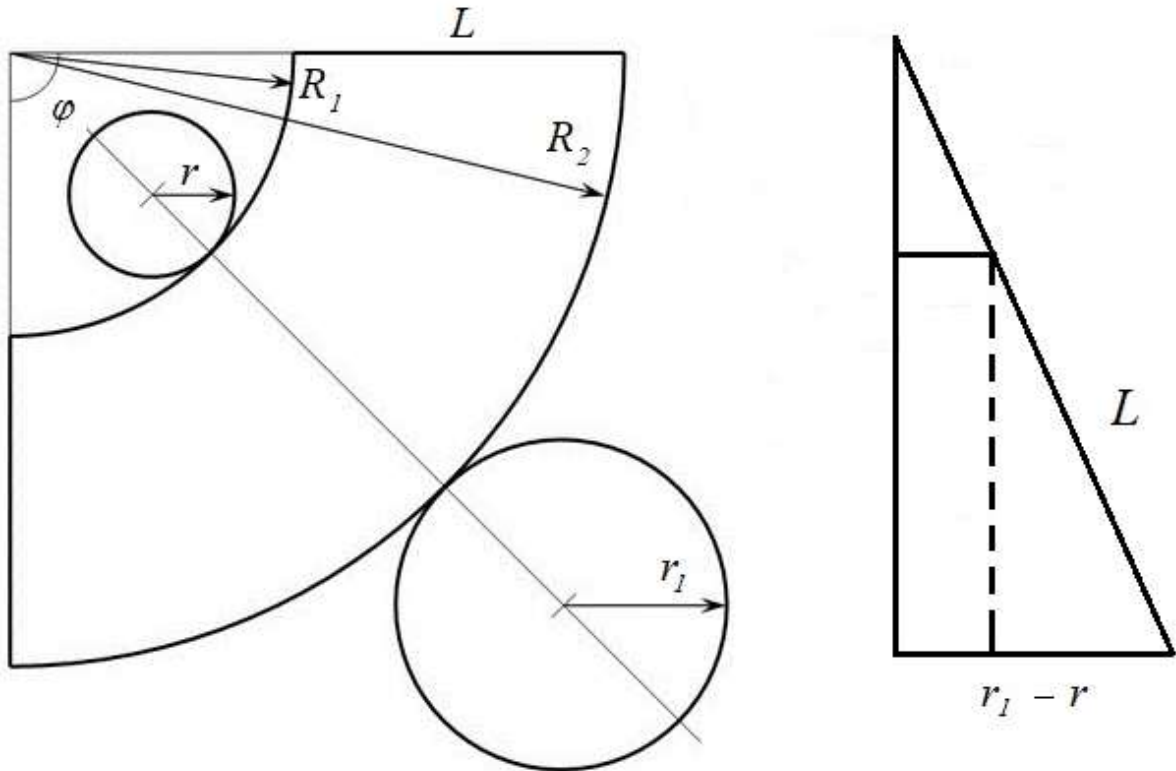


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема розгортки конуса світлорозподільвача

Із габаритних розрахунків проведених вище (рис 2.6, 2.7), нам відомий діаметр a відповідно і радіус основ $\frac{d}{2} = r = 835$ мм, $\frac{d_1}{2} = r_1$ (при $y_1=55^\circ$, $r_1=1405$ мм, при $y_1=60^\circ$, $r_1=1670$ мм) і висота зрізаного конуса h (при $y_1=55^\circ$, $h=820$ мм, при $y_1=60^\circ$, $h=1450$ мм). Для того щоб знайти розгортку нам потрібно знайти радіус зовнішньої дуги R_2 та радіус внутрішньої дуги R_1 , довжину формуючої сторони L та центральний кут φ .

Довжину формуючої можна знайти по теоремі Піфагора:[13]

$$L = \sqrt{(r_1 - r)^2 + h^2} . \quad (2.15)$$

Радіус внутрішньої дуги можна знайти із подібності трикутників[14]

$$R_1 = \frac{L \cdot r}{r_1 - r} . \quad (2.16)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Відповідно радіус зовнішньої дуги визначається за формулою:

$$R_2 = L + R_1. \quad (2.17)$$

Центральний кут визначається за формулою:

$$\varphi = 360 \cdot \frac{r_1}{R_2}. \quad (2.18)$$

При куті відбиваючої поверхні світло-розподільвача $y_1=55^\circ$:

$$L = \sqrt{(1405 - 835)^2 + 820^2} \approx 1000 \text{ мм.}$$

$$R_1 = \frac{1000 \cdot 835}{1405 - 835} \approx 1470 \text{ мм.}$$

$$R_2 = 1000 + 1470 = 2470 \text{ мм.}$$

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{1405}{2470} \approx 205,5^\circ$$

При куті відбиваючої поверхні світло-розподільвача $y_1=60^\circ$:

$$L = \sqrt{(1670 - 835)^2 + 1450^2} \approx 1673 \text{ мм.}$$

$$R_1 = \frac{1673 \cdot 835}{1670 - 835} = 1673 \text{ мм.}$$

$$R_2 = 1673 + 1673 = 3346 \text{ мм.}$$

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{1670}{3346} \approx 180^\circ$$

Якщо згідно обрахованих розмірів додавши 50 мм для бортику під кріплення побудувати відповідні зображення (рис 2.11, 2.12), можна визначити необхідні мінімальні розміри пластин із яких будуть виготовленні заготовки.

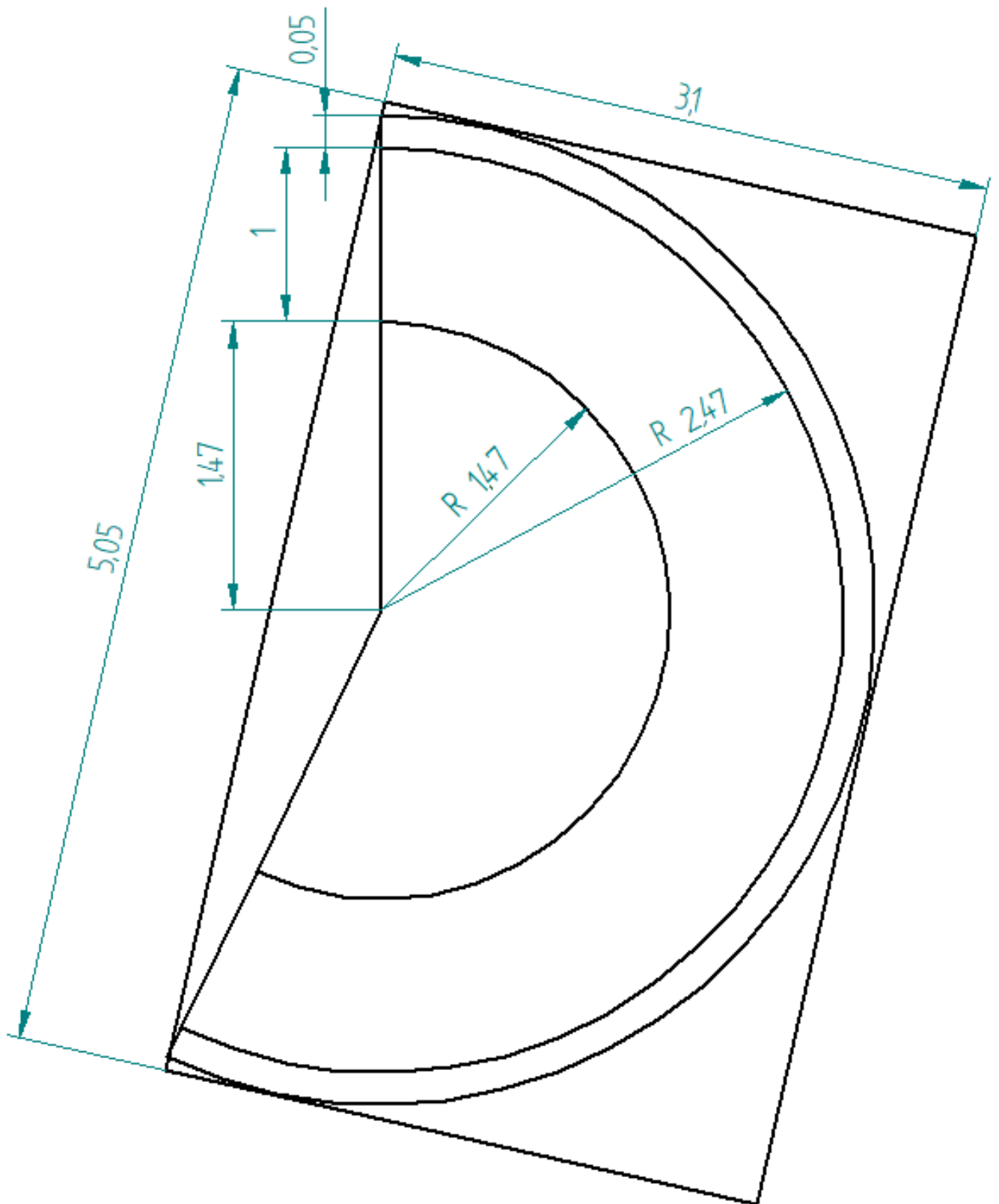


Рисунок 2.11 – Розміри для виготовлення світло-розподільвача із кутом нахилу дзеркальної поверхні 55°

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
39

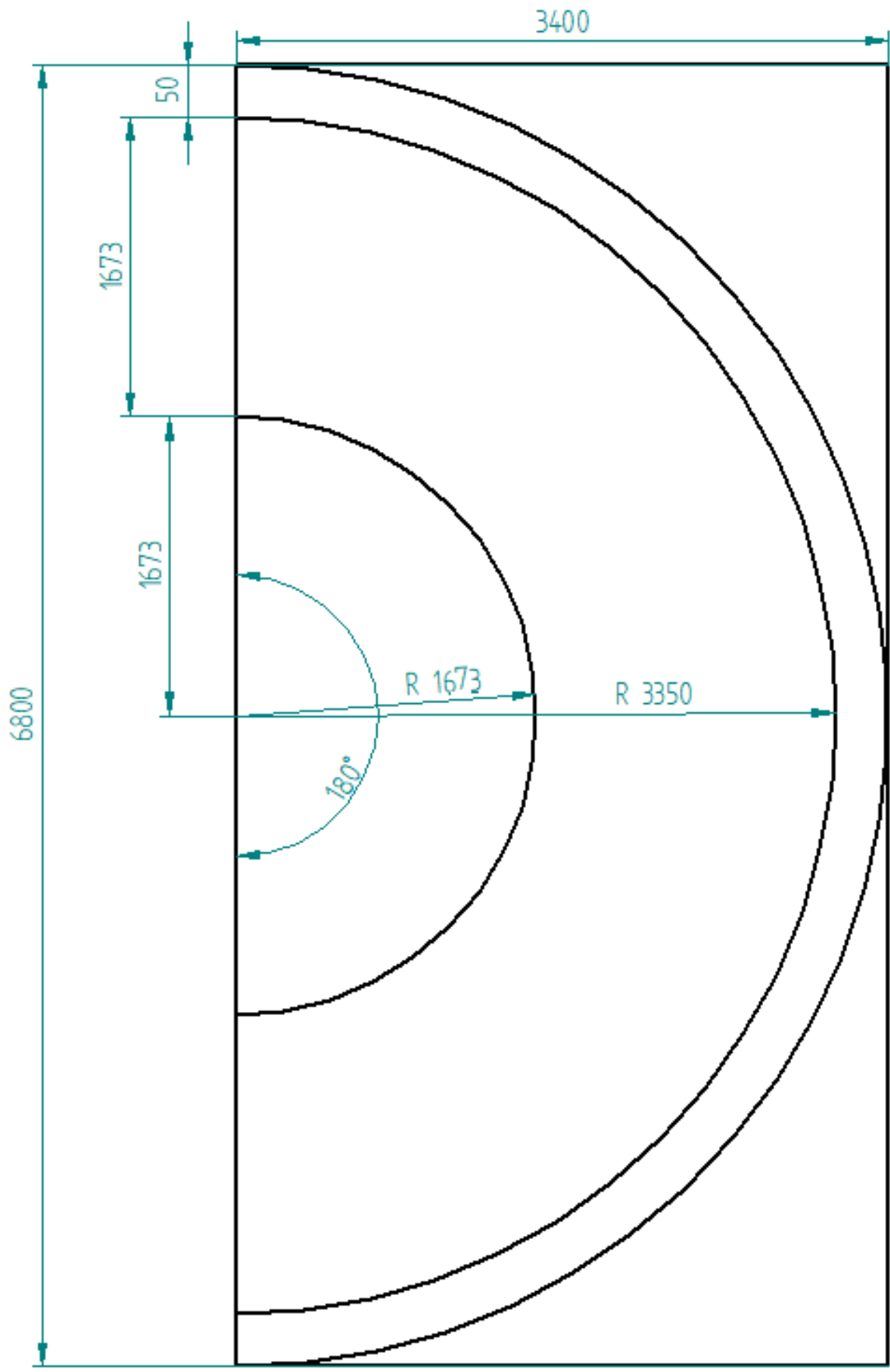


Рисунок 2.12 – Розміри для виготовлення світло-розподільвача із кутом нахилу дзеркальної поверхні 60°

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
40

Як видно із зображень вище для виготовлення світлорозподільвача із кутом нахилу дзеркальної поверхні 55° (Рис 2.11) необхідна пластина матеріалу мінімум 5,05 м довжиною на 3,1 м шириною тобто $15,66 \text{ м}^2$ площею, для нахилу 60° (Рис 2.12) пластина 6,8 м довжиною на 3,4 м шириною тобто $23,12 \text{ м}^2$ площею.

2.3 Розробка поворотної системи сонячного концентратора

Завданням трекерної системи є забезпечення максимальної енергетичної ефективності сонячних панелей, яка досягається при куті падіння сонячних променів 90° .

Завдяки тому що світлорозподільвач жорстко кріпиться безпосередньо над сонячною панеллю у приведеній роботі може використовуватися будь яка трекерна система, що здатна працювати із загальною вагою світлорозподільвача та сонячної панелі.

Існує два види трекерних систем в залежності від контролю положення Сонця по одній осі і по двом.

Двохосьові трекерні системи забезпечують більшу ефективність у порівнянні з одноосьовими, проте мають більшу вартість, в зв'язку з ускладненням їх конструкції. Тому, у більшості випадків використовують системи з однією віссю контролю, в якій для досягнення більшої ефективності, азимут виставляють вручну кілька разів в рік на найбільш ефективний кут.

Одноосьові трекари збиратимуть менше енергії на одиницю часу в порівнянні з двохосьовими трекарами, але з меншою висотою конструкції вони вимагають менше місця для установки, що створює більш компактну систему і більш просту модель для експлуатації та обслуговування.

Про двохосьові трекари можна сказати, що оскільки обертання Землі відносно Сонця неоднакове протягом усього року, двовісна система відстеження буде забезпечувати більший вихід енергії, ніж її одновісний аналог, оскільки

вона може напряму регулювати кут нахилу панелей. Двохосьовий сонячний трекер дає на 35–50% більше енергії, ніж системи з фіксованим нахилом [15].

Через значну висоту установки панелі із двохосьовою системою не так легко доступні для очищення від пилу або снігу у зимовий час. Однак, вони залишають землю під собою функціональною для інших цілей.

Приклад загального вигляду трекерної системи (рис 2.13)



Рисунок 2.13 – Загальні складові конструкції сонячного трекера

Сонячний трекер у повній своїй комплектації складається з [15]:

- несучої конструкції, яка складається із фіксованої та рухомої частини з одною чи двома осями обертання;
- системи керування та інтерфейсу, призначеного для обслуговування енергосистеми;
- системи позиціонування, яка складається із актуаторів та пристроїв, що керують ними;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
42

- системи безпеки від перевантажень, блискавок та системи аналізу даних про погодні умови;
- системи віддаленого доступу, яку забезпечує роутер, що підключений до інтернету;
- системи навігації, для визначення географічного положення станції (на стаціонарних трекерах не обов'язково встановлювати навігацію)
- інвертор, для перетворення постійного струму в змінний та передачі його споживачеві або на приймаючу станцію.

За прототип розробки конструкції трекерної системи взято варіант використання трекерної системи встановленої на кафедрі МАЕЕС Хмельницького національного університету, що приведена у роботі «Розробка конструкції трекерної системи для сонячних панелей» [16].

Запропоновано конструкцію трекерної системи сонячних панелей, яка складається з: несучої конструкції трекера; системи орієнтації по азимуту, яка складається із актуатора, датчика освітлення і мікроконтролера для керування процесом орієнтації; інвертора; лічильника потужності [16].

У системі використано контролер виробника ECO-WORTNY. Плата контролера оснащена детектором погоди, датчиком дня і ночі і регульованого датчика чутливості світла. Точність регулювання $\pm 3^\circ$. Точна орієнтація робочих поверхонь систем на Сонце необхідна для досягнення їх максимальної продуктивності. При цьому завдання трекера зменшити кут падіння Сонця на робочу поверхню сонячних панелей [16].

В якості приводу використано актуатор виробника ECO-WORTNY з вбудованими кінцевими вимикачами. Хід актуатора 450 мм при довжині актуатора у початковому положенні 600 мм [16].

Механізм трекера повинен мати ряд робочих функцій, які на нього накладають. Серед них завдання окремих положень ланок і відтворення заданої траєкторії. В графоаналітичному дослідженні вважаємо, що всі ланки є абсолютно твердими тілами, а зв'язки між ними ідеальні [16].

Для розв'язання задачі розроблено кінематичну схему механізму (рис. 2.14,

2.16), для якої необхідно встановити розміри всіх ланок і закон руху початкової ланки [16].

У проектуванні механізму відштовхуємося від геометричних параметрів обраного приводу, який зарекомендував себе у подібних системах як надійний, простий і легкокерований.

Приймаємо наступні вихідні дані (рис. 2.16):

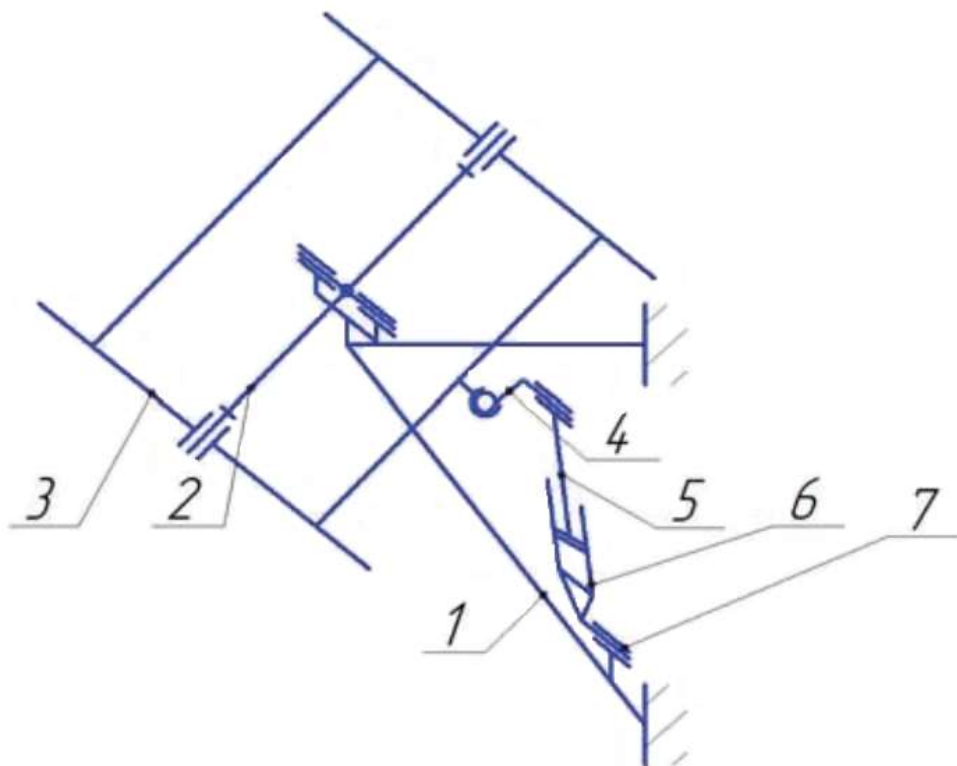
$AC = 320$ мм - приймаємо конструктивно;

$OD_{max} = 1050$ мм - міжосьова відстань між кріпильними отворами актуатора при повному вильоту штока;

$OD_{min} = 600$ мм - міжосьова відстань між кріпильними отворами актуатора в ближньому положенні;

$S = 450$ мм - робочий хід актуатора;

$e = 100$ мм - розмір вильоту кронштейна, на якому кріпиться актуатор (прийнято конструктивно для уникнення перехрещення деталей під час руху актуатора) [16].



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
44

1 - рама з підкосом; 2 – вісь трекера; 3 – поворотний стіл трекера; 4 – поворотний стіл; 5 – шток привода; 6 – корпус привода; 7 - шарнір

Рисунок 2.14 - Оригінальна кінематична схема трекера

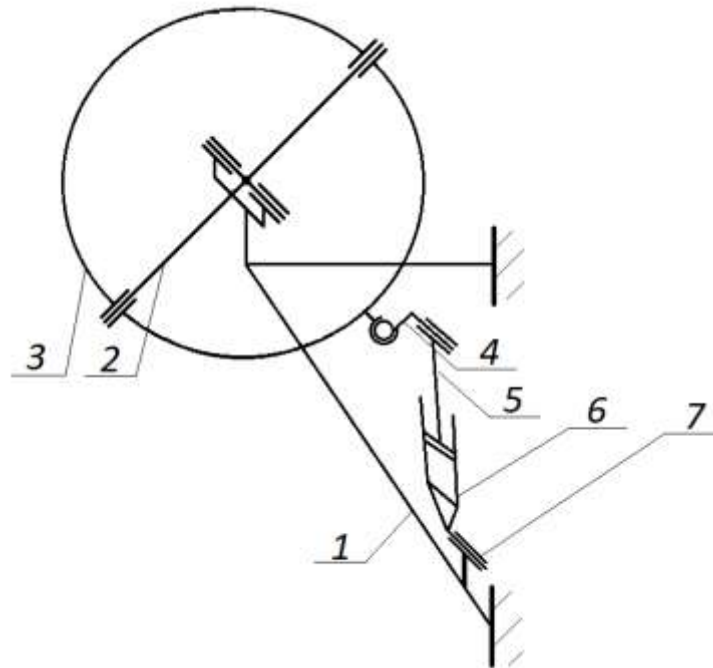


Рисунок 2.15 - Кінематична схема трекера для світло-розподільвача

Як видно зі схем (рис 2.14) і (рис 2.15) для того, щоб трекерна система підходила до установки світло-розподільвач необхідно змінити лише форму поворотного столу трекера.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
45

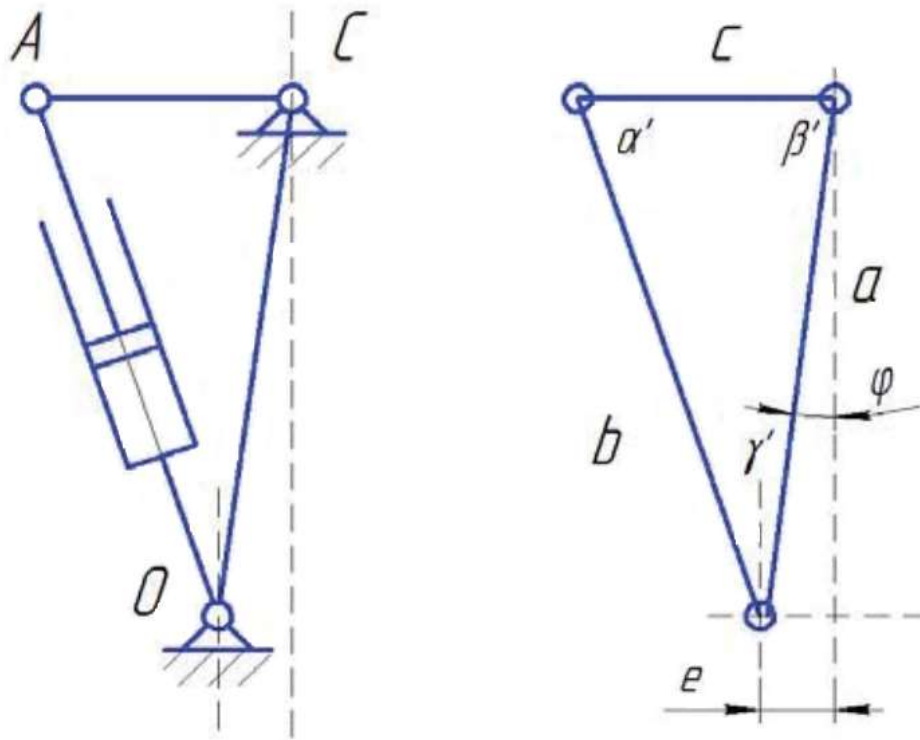


Рисунок 2.16 - Кінематична схема виконавчого механізму

Так як розміри всіх ланок відомі, потрібно знайти точку нерухомого центру O , який повинен бути зміщений від основної осі на 100 мм, що унеможливило перетинання рухів актуаторів із іншими елементами конструкції. За початкове положення приймаємо таке, в якому ланка AC буде зміщена від горизонтальної осі на 30° у зв'язку із особливостями місця розташування трекера. Адже стіна будинку, на якому буде розташована трекерна система, не точно повернута на південь а має зміщення у південно-західному напрямку на 30° . В цьому положенні камінь куліси повинен знаходитися рівно в половині свого робочого ходу. Спочатку будуємо промінь під кутом 30° і описуємо дугу діаметром 320 мм засічкою у частині креслення, де буде рухатися механізм. В результаті знаходимо точку A . З точки A робимо засічку до перетину лінією зміщення e . В місці перетину буде знаходитися центр шарніра з центром в точці O . Від отриманого центру проводимо прямі лінії до точок A та O . Знайдені лінії показують положення ланок механізму у середині робочого ходу. Для знаходження крайніх положень використаємо центр шарніру O , від якого робимо дві засічки до дуги центр якої знаходиться в точці C . Діаметр засічок дуги вибираємо відповідно до технічної документації актуатора, а саме

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

довжину між кронштейнами актуатора при витягнутому і втягнутому штоці відповідно [16].

Ланка 1 (рис. 2.14, 2.16) здійснює коливальний рух по колу нерухомого центру O . Ланка 2 здійснює складний рух. Центр шарніра A рухається по колу миттєвого радіуса OA і одночасно поступально вздовж ланки 1. Ланка 3 здійснює коливальний рух по колу радіусом OA відносно нерухомого центру C [16].

Для кінематичних розрахунків механізму розглянемо трикутник AOC (рис. 4.4). Ця схема зумовлена розташуванням актуатора (приводу) відносно підкоса несучої рами 1 (рис. 2.14), а також поворотного столу 3 [16].

На (рис. 4.4) для спрощення розрахунків прийнято наступні позначення: a – OC , b – OA , c – AC . При побудові враховуємо, що довжина ланки b – 600...1050 мм [16].

Для знаходження кутів повороту використовуємо теорему косинусів:

$$\cos a' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}. \quad (2.19)$$

$$a' = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}. \quad (2.20)$$

Аналогічно до нього знаходимо:

$$\beta' = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2ac}. \quad (2.21)$$

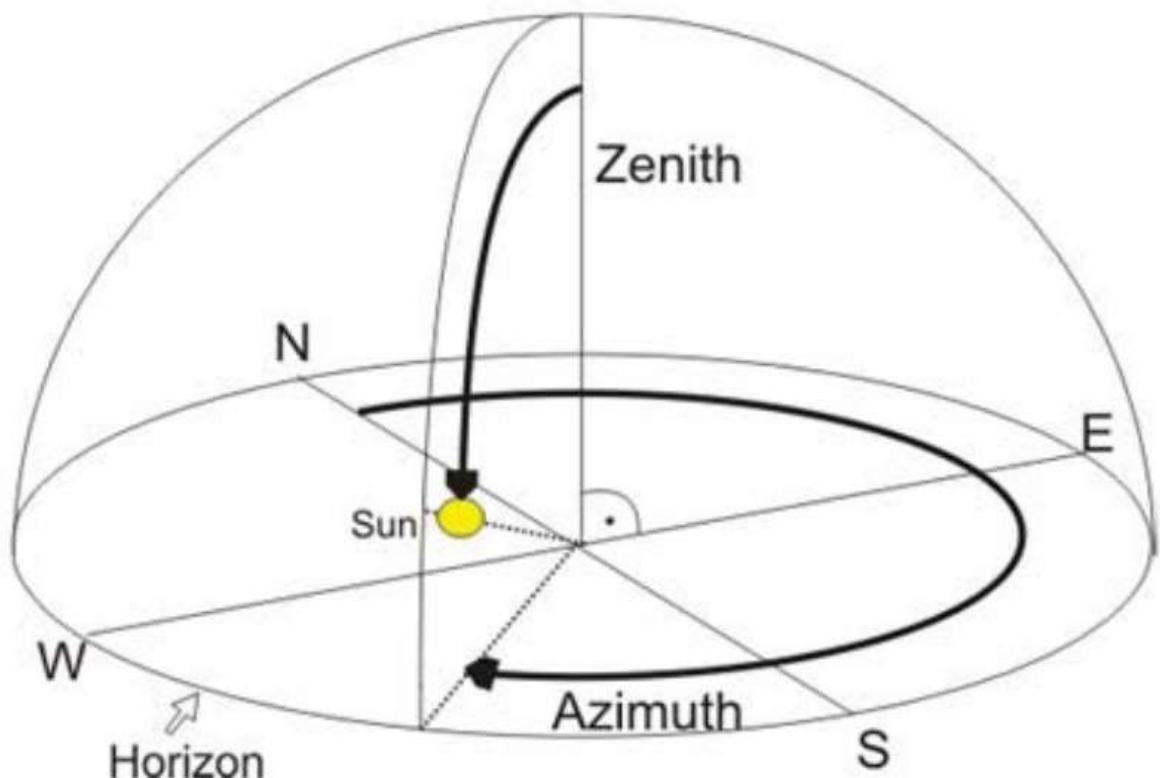
При підставленні у формулу (2.22) значень максимального і мінімального значення b (крайні ближні і дальні положення штока актуатора) отримали максимальні відхилення запропонованої конструкції по азимуту. Різниця цих кутів показала загальний кут повороту сонячного трекера [16].

Рухома частина трекера може змінювати своє положення за допомогою ручного приводу або за допомогою 1-2-х актуаторів - виконавчих пристроїв, виконаних на електродвигунах [16].

Положенням трекерної системи можна керувати декількома способами:

За допомогою декількох фотоприймачів, що аналізують освітленість при різних положеннях трекера і передає керуючі сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий. Такі пристрої нескладні і недорогі. Але у них є суттєвий недолік: у похмуру погоду при опадах чи забрудненні система на їх основі непрацездатна [16].

Переорієнтувати систему можна вручну або керуючи актуаторами, подаючи сигнали за допомогою перемикачів. Але такий спосіб прийнятий в основному для сезонної орієнтації трекерів, коли на якийсь період часу виставляється відповідний кут нахилу, на (рис.2.17) даний кут позначений як Zenith – зенітний кут нахилу Сонця. Через необхідність занадто частого втручання оператора даний спосіб добре підходить тільки для сезонної орієнтації мало-бюджетних систем. [16]



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Рисунок 2.17 Орієнтація сонячних трекерів

Найбільш ефективний є спосіб управління актуатором за допомогою SPA (Алгоритм сонячної позиції), яка в певні інтервали часу розраховує місце розташування Сонця. За внутрішнім годинником пристрою програма видаватиме на блок управління інформацію про значення азимутального (Azimuth) і зенітального (Zenith) кутів (рис 2.17), з урахуванням місця розташування трекера (широта, довгота, висота над рівнем моря), після чого виконавчим пристроєм проводиться відповідна переорієнтація трекера в розрахункове положення [16].

Пристрої керування трекерами можуть бути виконані на захищених комп'ютерах, PLC – програмованих логічних контролерах, або у вигляді окремих закінчених пристроїв, програмованих постачальником при поставці трекера, з прив'язкою до місцевості свого вибору. Група трекерів може управлятися одним комп'ютером що знижує собівартість електростанції [16].

Ефективність вироблення електроенергії фотоелектричних перетворювачів змінюється зі зміною косинуса кута неузгодженості панелі з Сонцем. Невеликі неузгодженості можуть бути допустимими внаслідок незначного зниження ефективності (менше 1% до 8° градусів і менше 10% до 25°), але з подальшим зростанням кута неузгодженості (більше 30°), починає втрачатися вже досить значний відсоток потужності. Кут неузгодження буде зменшуватись до мінімального за допомогою автоматичної системи наведення. [16]

Технічні можливості запропонованої конструкції трекера дозволяють повертати панелі на максимальний кут в площині азимута. Проте зенітний кут буде регулюватися вручну за допомогою тяги. Для цього на рамі передбачено нанести градування, яке за мітками дозволить виставляти сезонні положення. Це суттєво здешевить і спростить конструкцію, що в свою чергу зменшить строк окупності установки без суттєвих втрат ККД. Адже основною проблемою для сонячних панелей є значний термін окупності, а додатковий актуатор, крім того, буде споживати частину виробленої електроенергії. [16]

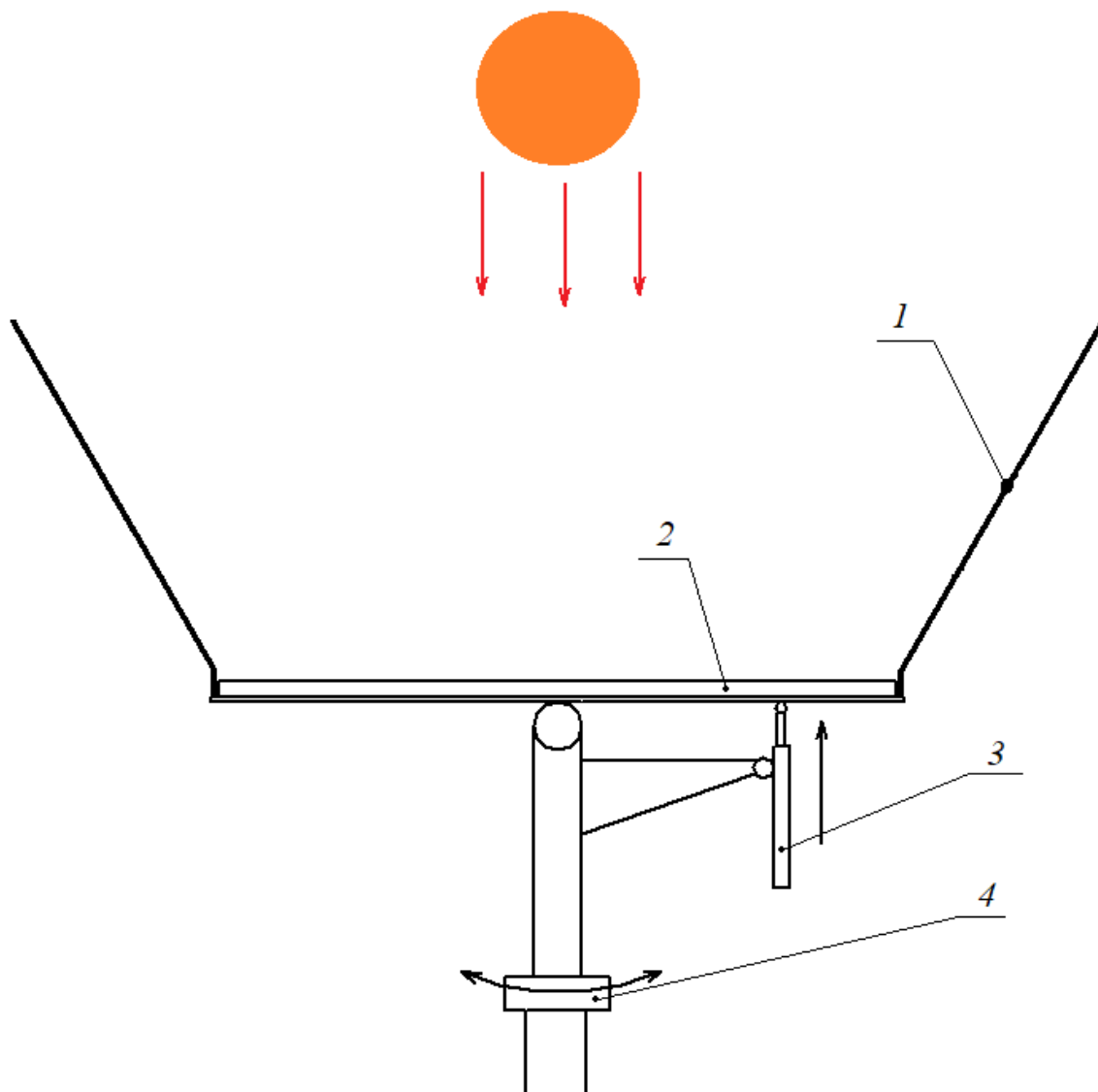
Вихідні дані для визначення оптимальних кутів в площині зеніту визначено за допомогою програми Planetcalc. Для цього за допомогою GPS модуля необхідно визначити координати місця установки трекера. [16]

Ввівши координати в програму, визначили кути положення сонця по зеніту впродовж року. За крок приймаємо 1 число кожного місяця в році. Оптимальні кути визначались з умови, що при зміщенні кута падіння сонячних променів на $15-20^\circ$ втрати потужності складають менше 10%. [16]

Отримані кути при виготовленні конструкції необхідно перенести на раму трекерної системи у місці кріплення з регулювальною тягою. Також необхідно буде зробити мітку на кронштейні, який тримає регулювальну тягу. Ця мітка буде індикатором при регулюванні і по ній буде виставлятися необхідний кут. [16]

2.3.1 Розробка кінематичної схеми поворотної системи для світло розподільвача

На основі вище приведенного зразка [16], загальних даних про вигляд і кон-струкцію трекерних систем необхідно побудувати кінематичну схему сонячного трекера для системи із світло-розподільвачем, для цього спочатку будемо схему конструкції системи (рис 2.18).



1 – світлорозподільвач; 2 – сонячна панель; 3 – актуатор;
4 – поворотний двигун

Рисунок 2.18 – Схема конструкції трекерної системи сонячних панелей із світло-розподільвачем

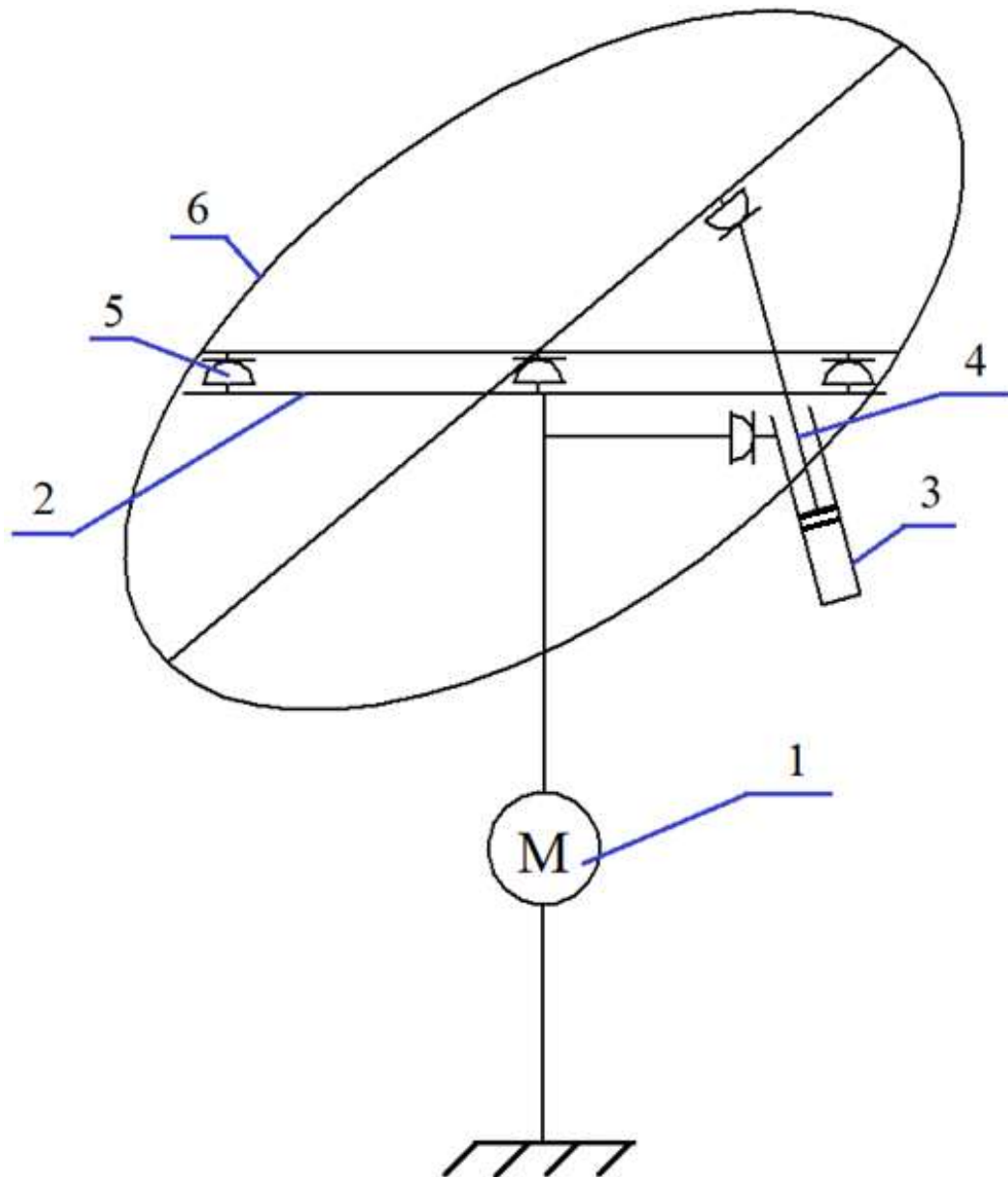
Трекерна система має виконувати певні робочі функції, для яких вона призначена. Серед яких: завдання окремих положень для різних ланок пристрою і відтворення заданої траєкторії руху пристрою для стеження за сонцем. В графо-аналітичному дослідженні вважаємо, що всі ланки є абсолютно твердими тілами, а зв'язки між ними ідеальні.

Далі представлена кінематична схема конструкції, сонячної панелі із світло-розподільвачем (Рис 2.19).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
51



1 – поворотний електродвигун; 2 – вісь трекера; 3 – корпус актуатора; 4 – шток актуатора; 5 – шарнір; 6 – похильний стіл

Рисунок 2.19 - Кінематична схема трекерної системи

Згідно із даною схемою поворотний електродвигун 1 відповідає за розміщення установки відносно азимуту для того, щоб стежити за Сонцем, яке за винятком екватора в продовж дня рухається по траєкторії яка змінюється в продовж року, актуатор 3, 4 в свою чергу відповідає за розміщення відносно zenіту повертаючи конструкцію відносно осі 2. Таким чином забезпечується

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
52

максимальна точність розміщення трекерів відносно сонця.

2.3.2 Розрахунок геометричних розмірів трекерної системи для світлорозподілювача

Для підбору остаточного підбору трекерної системи також відштовхуючись від розмірів конструкції із якою вона повинна працювати необхідно визначити мінімальні розміри безпосередньо трекерної системи, а саме: мінімальну висоту опорної колони $H_{\text{колони min}}$ та мінімальну довжину ходу актуатора $L_{\text{актуатора min}}$.

Мінімальна висота опорної колоти конструкції у випадку із світлорозподілювачем рівна радіусу його верхнього кріпильного кільця оскільки завданням трекера є розміщення установки під кутом 90° до сонця то при меншій висоті колони вранці на сході та ввечері на заході роботі трекера буде заважати поверхня на якій він розміщений, тобто висота трекерів знаходиться виходячи із габаритних розрахунків світлорозподілювача. У даному випадку згідно із габаритними розрахунками проведеними раніше $H_{\text{колони min}} = d_1 \cdot 0,5 = 3,34 \cdot 0,5 = 1,67$ (м).

Для визначення довжини ходу актуатора можна описати умовний трикутник дві сторони якого будуть сформовані відстанню від осі трекера до точки кріплення корпусу актуатора AC і відстані від осі трекера до точки кріплення штоку актуатора на похильному столі AB , та залишатимуться незмінними незалежно від того, в якому положенні знаходиться похильний стіл трекера і відповідно, таким чином довжина третьої сторони сформованого трикутника BC в момент максимального нахилу панелі і буде мінімальним допустимим ходом актуатора (рис 2.20).



Рисунок 2.20 – 3D модель трекерної системи при максимальному нахилі панелі

Оскільки в даному випадку діаметр нижнього кріпильного кільця, а відповідно і кріпильної рами залишаються незмінними, то і довжина ходу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
54

актуатора залишиться однаковою для різних кутів відбиваючою поверхні світло-розподілювача.

Кріплення для штока актуатора було мною розміщено на відстані 450 мм від осі кріпильної платформи тому $AB = 450$ мм горизонтальна відстань від осі A до точки кріплення актуатора C також 450 мм вимірювши відстань між цими точками можна отримати $AC = 470$ мм і $BC_{max} = 660$ мм у складеному положенні відстань від кріплення актуатора до кріплення на його штокові $BC_{min} = 120$ мм.

Віднявши ці значення:

$$BC_{max} - BC_{min} = 660 - 120 = 540 \text{ мм,}$$

отримуємо мінімальний хід актуатора $L_{актуатора min} = 540$ мм.

2.4 Розробка схеми підключення світло-розподілювача до мережі

Найбільшої популярності і поширеності, на сьогоднішній день, отримали 12-вольт системи з прямим перетворенням в 220 В змінної напруги. Базова схема такої батареї із додаванням до неї світло-розподілювачем складається з [17]:

- світлорозподілювач – який відбиває світло із більшої площі на сонячну панель тим самим збільшуючи її освітленість;
- сонячної батареї – що сприймають та перетворюють сонячне випромінювання;
- блок акумуляторних батарей (АКБ) – що накопичують вироблену електро-енергію;
- контролера – який стежить за рівнем заряду та направляє струм у потрібний ланцюг;
- інвертор – перетворює постійну напругу сонячних панелей на змінний струм 220 В.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
55

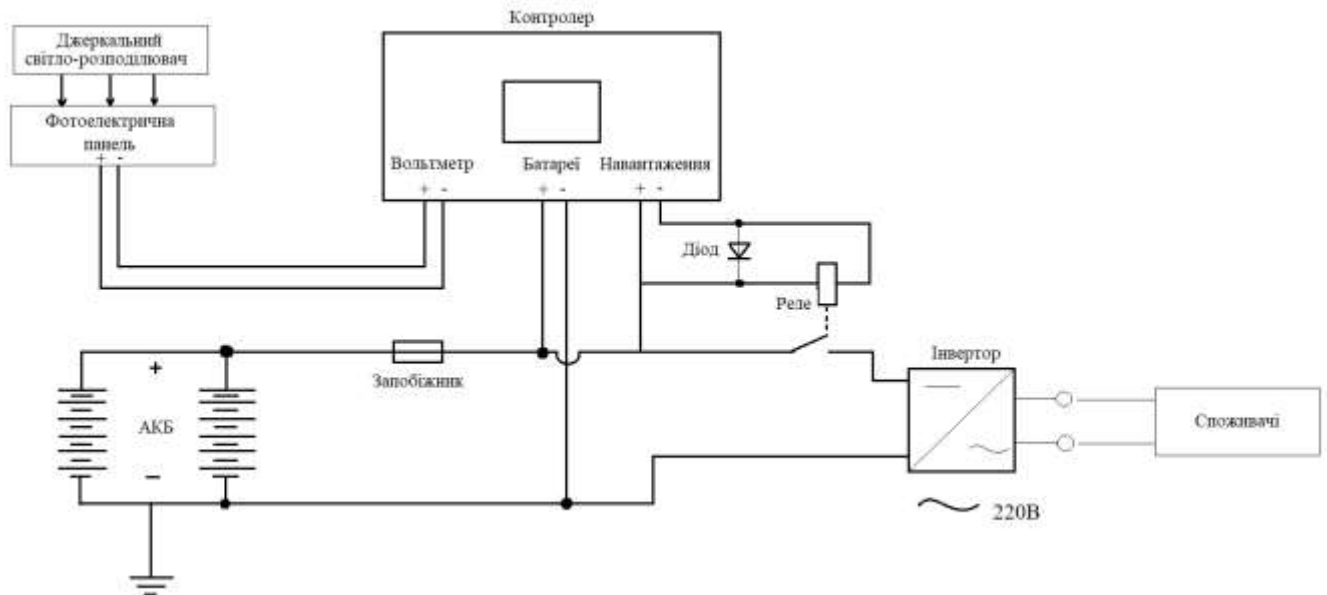


Рисунок 2.21 - Структурна схема підключення сонячних панелей

Робота АКБ відбувається наступним чином: у світлий час доби, коли акумулятор здійснює зарядку від сонячної батареї, контролер стежить за напругою на клеммах акумулятора, і як тільки воно досягає верхньої межі, процес зарядки робота з прийому енергії припиняється і струм перенаправляється до навантаження [17]

У темний час доби сонячна панель не здійснює роботу, а харчування всіх складових системи здійснюється виключно за рахунок попередньо зарядженого акумулятора. Як тільки, напруга на клеммах акумулятора досягло нижньої межі - контролер виробляє відключення роботи схеми. [17]

Додатковими функціями, які контролер здійснює для захисту елементів реалізованої схеми, є: коротке замикання і гроза.

Існує два типи контролерів – ШІМ (широко імпульсна модуляція) і МРРТ (Maximum power point tracker - спостереження за точкою максимальної потужності). Різниця між ними полягає в способі зарядки елементів електроживлення і величині втрат напруги. Блоки МРРТ більш сучасні та економічні. Акумулятори застосовуються різні: свинцево-кислотні, гелеві та інші [17].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Висновки до розділу

У цьому розділі була: продемонстрована технологія роботи дзеркального світло розподільвача, розроблена схема для розрахунку габаритів і кутів конструкції в залежності від необхідного кута падіння відбитих світлових променів на панель та площі самої сонячної панелі, були вираженні формули і розраховані габарити конструкції для трьох варіантів кута нахилу відбиваючої поверхні конструкції в залежності від необхідного кута падіння відбитого світла, розрахована площа відбиваючої поверхні конструкції, відкинута варіант із нахилом відбиваючої поверхні 65° і більше через занадто великі габарити, проведені розрахунки для визначення розмірів заготовки для виготовлення тарілки світло-розподільвача, визначена шляхом вимірювання довжина ходу актуатора. Була розроблена схема електрична структурна, яка показує роботу конструкції в поєднанні із сонячною електростанцією.

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції світло розподілювача

3.1 Розрахунок рами для поворотної системи світло-розподілювача та сонячних панелей

Під час розробки будь якої конструкції необхідно провести розрахунки, які б показали її працездатність як у спокійних так і у більш жорстких умовах. Для конструкції світлорозподілювач необхідно провести розрахунки для: осьових навантажень конструкції та провести розрахунки вітрових навантажень.

Перш за все необхідно розрахувати максимальне вітрове навантаження на конструкцію світло-розподілювача. Для цього необхідно записати вихідні данні, для розрахунку візьмемо максимальну швидкість вітру зафіксовану у Києві 25 м/с 20 березня 1881 року [18], середньо річну швидкість вітру по Україні 6 м/с [19] та розглянемо площу конструкції із двох сторін в залежності від напрямку вітру S_1 та S_2 (рис 3.1).



Рисунок 3.1 Напрями вітру при яких конструкція знаходиться під найбільшим навантаженням

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
58

Вихідні данні: Швидкість вітру максимальна (штормова) 25 м/с, середньорічна швидкість вітру 6 м/с Площа при нахилі відбиваючої поверхні світло-розподілювача $\gamma_1=55^\circ$ $S_1=6,2$ м² та $S_2=1,837$ м², при $\gamma_1=60^\circ$ $S_1=8,76$ м² та $S_2=3,64$ м².

Для розрахунку вітрового навантаження можна використовувати базову формулу [20].

$$F_0 = 0,61 \cdot \frac{V^2}{9,8} \quad (3.1)$$

де:

- F_0 – сила вітру в кг/м²;
- 0,61 – 1/2 щільності повітря кг/м³ (у нормальних умовах);
- V – швидкість вітру, в м/с.

$$F_0 \text{ max} = 0,61 \cdot \frac{25^2}{9,8} \approx 39 \text{ кг/м}^2.$$

$$F_0 = 0,61 \cdot \frac{6^2}{9,8} \approx 2,2 \text{ кг/м}^2.$$

Отриману силу вітрового тиску перераховуємо на площу конструкції [20].

$$F = S \cdot F_0, \quad (3.2)$$

де - S – площа конструкції.

При куті нахилу відбиваючої поверхні світло-розподілювача $\gamma_1=55^\circ$

$$F_1 \text{ max} = 6.2 \cdot 39 \approx 242 \text{ кг}.$$

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$F_1 = 6.2 \cdot 2.2 \approx 14 \text{ кг.}$$

$$F_2 \text{ max} = 1.837 \cdot 39 \approx 72 \text{ кг.}$$

$$F_2 = 1.837 \cdot 2.2 \approx 4.1 \text{ кг.}$$

При куті нахилу відбиваючої поверхні світло-розподільвача $\gamma_I = 60^\circ$

$$F_1 \text{ max} = 8.76 \cdot 39 \approx 342 \text{ кг.}$$

$$F_1 = 8.76 \cdot 2.2 \approx 20 \text{ кг.}$$

$$F_2 \text{ max} = 3.64 \cdot 39 \approx 141 \text{ кг.}$$

$$F_2 = 3.64 \cdot 7.5 \approx 8.1 \text{ кг.}$$

Таким чином видно які вітрові навантаження діятимуть на конструкцію при штормі і при звичайному середньорічному вітрові.

Далі потрібно визначити осьові навантаження на конструкцію, для цього спочатку необхідно визначити загальну вагу конструкції;

Відома середня вага однієї сонячної панелі [21] $m_{панелі} = 30$ кілограм. Згідно DIN 2395 [22] вага метра сталюї квадратної профільної трубки 20x20x2 мм із якої імовірно може бути виготовлений каркас конструкції становить $m_{профіль} = 1,225$ кг/м, також відома вага АБС пластику [23] із якого імовірно може бути виготовлена тарілка світло-розподільвача $m_{пластик} = 1,05$ г/см³. Для виготовлення каркасу і тарілки світло-розподільвача необхідно при куті відбиваючої поверхні $\gamma_I = 55^\circ$ необхідно 23,35м профільної труби і пластина АБС пластику 5050x3100x2 мм при куті відбиваючої поверхні $\gamma_I = 60^\circ$ необхідно 27,8 м профільної труби і пластина АБС пластику 6800x3400x2 мм.

Об'єм прямокутного паралелепіпеда дорівнює добутку довжини, ширини і висоти [24] відповідно вага конструкції m в залежності від кута відбиваючої поверхні світло-розподільвача γ_I .

при $\gamma_I = 55^\circ$

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$m_{\text{каркас}} = 1,225 \cdot 23,35 = 28,6 \text{ кг.}$$

$$V_{\text{пласт}} = 5050 \cdot 3100 \cdot 2 = 3131 \cdot 10^4 = 31310 \text{ см}^3.$$

$$m_{\text{пласт}} = 31310 \cdot 1,05 = 32875,5 \approx 33 \text{ кг.}$$

$$m = 28,6 + 33 + 30 = 91,6 \text{ кг.}$$

Вага конструкції світлорозподільвача разом із сонячною панеллю становить 91,6 кілограма.

При $\gamma_I = 60^\circ$

$$m_{\text{каркас}} = 1,225 \cdot 27,8 = 34 \text{ кг.}$$

$$V_{\text{пласт}} = 6800 \cdot 3400 \cdot 2 = 4624 \cdot 10^4 = 46240 \text{ см}^3.$$

$$m_{\text{пласт}} = 46240 \cdot 1,05 = 48552 \approx 49 \text{ кг.}$$

$$m = 34 + 49 + 30 = 113 \text{ кг.}$$

Вага конструкції світло-розподільвача разом із сонячною панеллю становить 113 кілограм.

У спокійну безвітряну погоду навантаження на вісь і у конструкції рівна її вазі. Із урахуванням вітрових навантажень при най екстремальніших умовах для України, а саме при штормовому вітру і його напрямку який би відповідав напрямку S_I навантаження на конструкцію;

Із кутом відбиваючої поверхні $\gamma_I = 55^\circ$

$$F_{\text{max}} = 91,6 + 242 \approx 334 = 3295 \text{ Н.}$$

Із кутом відбиваючої поверхні $\gamma_I = 60^\circ$

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\max} = 113 + 342 \approx 455 = 4262 \text{ Н.}$$

Звідси видно що вся конструкція і її окремі елементи повинна бути спроможна витримати в залежності від кута відбиваючої поверхні навантаження 3295 і 4262 Ньютонів відповідно.

3.2 Розрахунок системи кріплення світло-розподільвача та сонячних панелей

Далі проведемо розрахунки навантаження для елементів конструкції світлорозподільвача;

- 1) навантаження на болти що з'єднують світло-розподільвач із сонячною панеллю і основною конструкцією
- 2) навантаження на з'єднувальні деталі вісі трека
- 3) навантаження на опорну колону на поворотний механізм

Із проведених раніше розрахунків відоме навантаження що діє на конструкцію при екстремальних умовах із кутом відбиваючої поверхні $\gamma_1=55^\circ$ $F = 3295 \text{ Н}$ і конструкцію із кутом відбиваючої поверхні $\gamma_1=60^\circ$ $F = 455 4262 \text{ Н}$.

Коефіцієнт міцності для всіх сталей $k = 1.5$ [24].

Із умов міцності:[25]

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{дет}} \cdot \quad (3.2)$$

Приймаємо, що всі не стандартні деталі виготовлені із сталі Ст.3, міцність якої $\sigma_{\text{Ст}} = 160 \text{ МПа}$.

Згідно цих умов можна виразити формулу:

$$\sigma_{\max} = \frac{F \cdot k}{i}, \quad (3.3)$$

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

де:

- σ_{\max} – максимальне навантаження, яке повинна витримувати одна деталь;
- F – загальне навантаження на конструкцію;
- i – кількість місць до яких прикладено зусилля;
- k – коефіцієнт запасу міцності.

Розрахунок навантаження на болти, що з'єднують світлорозподільвач із сонячною панеллю і основною конструкцією (рис 3.2).

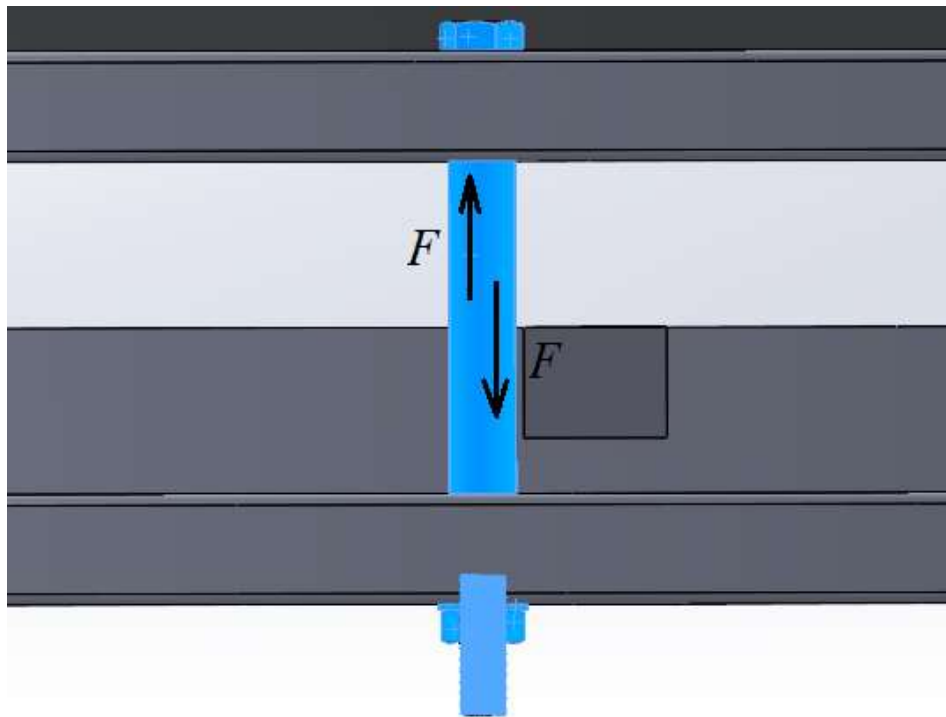


Рисунок 3.2 - З'єднувальний болт

У конструкції використовуються 6 болтів М8 із класом міцності 5.8 або 500 Н/мм^2 із цього навантаження на один болт із урахуванням коефіцієнта міцності в залежності від кута відбиваючої поверхні конструкції.

Площа поперечного перерізу болта М8 $S = 3,14 \cdot 4^2 = 50,24 \text{ мм}^2$.

Відповідно, максимальне навантаження

$$\sigma_{det} = 50,24 \cdot 500 = 25120 \text{ Н.}$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
63

номером деталей 2-5, та розрахунок на розрив болтів основного кріплення під номером деталі 7.

Деформація зсуву відбувається при зміщенні двох паралельних перерізів стрижня. При цьому виді деформації виникають дотичні напруження – τ . Умовою міцності при цьому буде вираз [26]:

$$\tau = \frac{F}{A_{зр}} \leq \tau_{зр}, \quad (3.4)$$

де:

- $\tau_{зр}$ – допустиме дотичне навантаження при розрахунках на зріз;

- $A_{зр} = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа зрізу

Граничне значення напруження [26]:

$$\tau_{зр} = 0.75 \cdot \sigma, \quad (3.5)$$

де σ – граничне напруження на розтяг і стиск матеріалу для сталі Ст.3 160 МПа або 160 Н/мм² [27].

$$\tau_{зр} = 0,75 \cdot 160 = 120 \text{ МПа.}$$

Розрахунок кріпильного пальця під номером деталі 1 (рис 3.3).

Є три точки кріплення між віссю та похильним столом трека, кожне із яких сполучене пальцем із сталі Ст.3 товщиною 10 мм, на кожному із яких по дві пластини із сторони однієї деталі, товщина пластин 3 мм. На них може діяти максимальне навантаження в залежності від конструкції, на конструкцію із нахилом відбиваючої поверхні $\gamma_1=55^\circ$ навантаження силою $F=3295$ Н, а конструкцію із нахилом $\gamma_1=60^\circ$ навантаження $F=4262$ Н.

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок міцності кріпильних пальців на зріз

Навантаження діє у шести місцях $i=6$, кожне місце зрізається силою $F/6$ тобто дотичні напруження при цьому для:

$$\gamma_1 = 55^\circ$$

$$\tau = \frac{F}{i \cdot A} = \frac{3295}{6 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4}} \approx 7 \text{ МПа.}$$

$$7 < 120.$$

$$\gamma_1 = 60^\circ$$

$$\tau = \frac{F}{i \cdot A} = \frac{4262}{6 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4}} \approx 9,1 \text{ МПа.}$$

$$9,1 < 120.$$

Як видно із розрахунків умови міцності повністю виконуються.

Розрахунок кріплень під номерами деталей 2-5 (рис 3.3).

У таврових з'єднаннях із попередньою підготовкою кромки напруження в швах визначають так, як і для суцільних деталей [28] оскільки вони виготовленні із одного матеріалу сталь Ст.3 то і розраховуватись будуть по формулі згідно умов міцності.

Розрахунок кріплення під номером 2.

Площа поперечного перерізу кріплення - $S_2 = 27,84 \text{ мм}^2$ зусилля застосовується в шістьох місцях $i=6$.

Звідси міцність деталі:

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{det} = 50,24 \cdot 500 = 25120 \text{ Н.}$$

Навантаження при куті відбиваючої поверхні $\gamma_I = 55^\circ$.

$$\sigma_{max} = \frac{3295 \cdot 1,5}{6} \approx 824 \text{ Н,}$$

$\sigma_{max} < \sigma_{det}$ - умови міцності виконуються.

Навантаження при куті відбиваючої поверхні $\gamma_I = 60^\circ$.

$$\sigma_{max} = \frac{4262 \cdot 1,5}{6} \approx 1066 \text{ Н,}$$

$\sigma_{max} < \sigma_{det}$ - умови міцності виконуються.

Розрахунок кріплення під номером 3.

Площа поперечного перерізу у кріплення – $S_3 = 30 \text{ мм}^2$ зусилля в застосовується шістьох місцях $i = 6$.

Звідси міцність деталі:

$$\sigma_{det} = 30 \cdot 160 = 4800 \text{ Н.}$$

Навантаження при куті відбиваючої поверхні $\gamma_I = 55^\circ$.

$$\sigma_{max} = \frac{3295 \cdot 1,5}{6} \approx 824 \text{ Н,}$$

$\sigma_{max} < \sigma_{det}$ - умови міцності виконуються.

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Навантаження при куті відбиваючої поверхні $\gamma_1 = 60^\circ$.

$$\sigma_{\max} = \frac{4262 \cdot 1,5}{6} \approx 1066 \text{ Н},$$

$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{дет}}$ - умови міцності виконуються.

Розрахунок кріплень під номером 4 і 5.

На обидва кріплення діє одне навантаження що відповідно застосовується у чотирьох місцях звідси для них $i = 4$.

Незважаючи на різну форму площа поперечного перерізу обох кріплень рівні – $S_{4,5} = 225 \text{ мм}^2$.

Звідси границя міцності деталі:

$$\sigma_{\text{дет}} = 225 \cdot 160 = 36000 \text{ Н}.$$

Навантаження при куті відбиваючої поверхні $\gamma_1 = 55^\circ$.

$$\sigma_{\max} = \frac{3295 \cdot 1,5}{4} \approx 1236 \text{ Н},$$

$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{дет}}$ - умови міцності виконуються

Навантаження при куті відбиваючої поверхні $\gamma_1 = 60^\circ$.

$$\sigma_{\max} = \frac{4262 \cdot 1,5}{4} \approx 1599 \text{ Н},$$

$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{дет}}$ - умови міцності виконуються.

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок на міцність кріпильного болта під номером деталі 6 і пальця додаткового кріплення під номером деталі 7 (рис 3.3).

На деталі 6 і 7 діє одне навантаження що застосовується у 10 місцях $i=10$.

Деталь номер 6 кріпильний болт 5.8 M10 для нього проводимо розрахунок на розрив згідно умов міцності.

Площа поперечного перерізу болта M10 $S_{болт} = 3,14 \cdot 5^2 = 78,5 \text{ мм}^2$.

Відповідно його границя міцності:

$$\sigma_{дет} = 78,5 \cdot 500 = 39250 \text{ Н.}$$

Навантаження на один болт для конструкції із кутом нахилу відбиваючої поверхні світло-розподільвача γ_I :

$$\gamma_I = 55^\circ$$

$$\sigma_{max} = \frac{3295 \cdot 1,5}{10} \approx 495 \text{ Н,}$$

$\sigma_{max} < \sigma_{дет}$ - умови міцності виконуються.

$$\gamma_I = 60^\circ$$

$$\sigma_{max} = \frac{4262 \cdot 1,5}{10} \approx 640 \text{ Н,}$$

$\sigma_{max} < \sigma_{дет}$ - умови міцності виконуються.

Розрахунок міцності деталі під номером 7, що представляє собою палець із різьбою виточений у суцільному валу що використовується як додаткове кріплення осі трекера, сталь Ст.3 діаметр пальця 10 мм, проводиться розрахунок на зріз.

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Навантаження діє у 10 місцях $i=10$, кожне місце зрізається силою $F/10$ тобто дотичні напруження при цьому для конструкції із кутом нахилу відбиваючої поверхні γ_I :

$$\gamma_I = 55^\circ$$

$$\tau = \frac{F}{i \cdot A} = \frac{3295}{10 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4}} \approx 4,2 \text{ МПа.}$$

$$4,2 < 120.$$

Умови міцності виконуються.

$$\gamma_I = 60^\circ$$

$$\tau = \frac{F}{i \cdot A} = \frac{4262}{10 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4}} \approx 5,5 \text{ МПа.}$$

$$5,5 < 120.$$

Умови міцності виконуються.

Розрахунок навантаження на опорну колону та поворотний механізм (рис 3.4).

Знайдемо максимальне напруження на колону σ_{\max} в залежності від кута нахилу відбиваючої поверхні світло розподільвача γ_I .

Згинальний момент що діє на опору конструкції, оскільки очевидно що небезпечним перерізом буде місце кріплення опорної колони розраховується за формулою [26].

$$M_{\max} = F \cdot l \quad (3.6)$$

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де:

- l – довжина поперної колони;
- F – сила що діє на конструкцію в кгс.

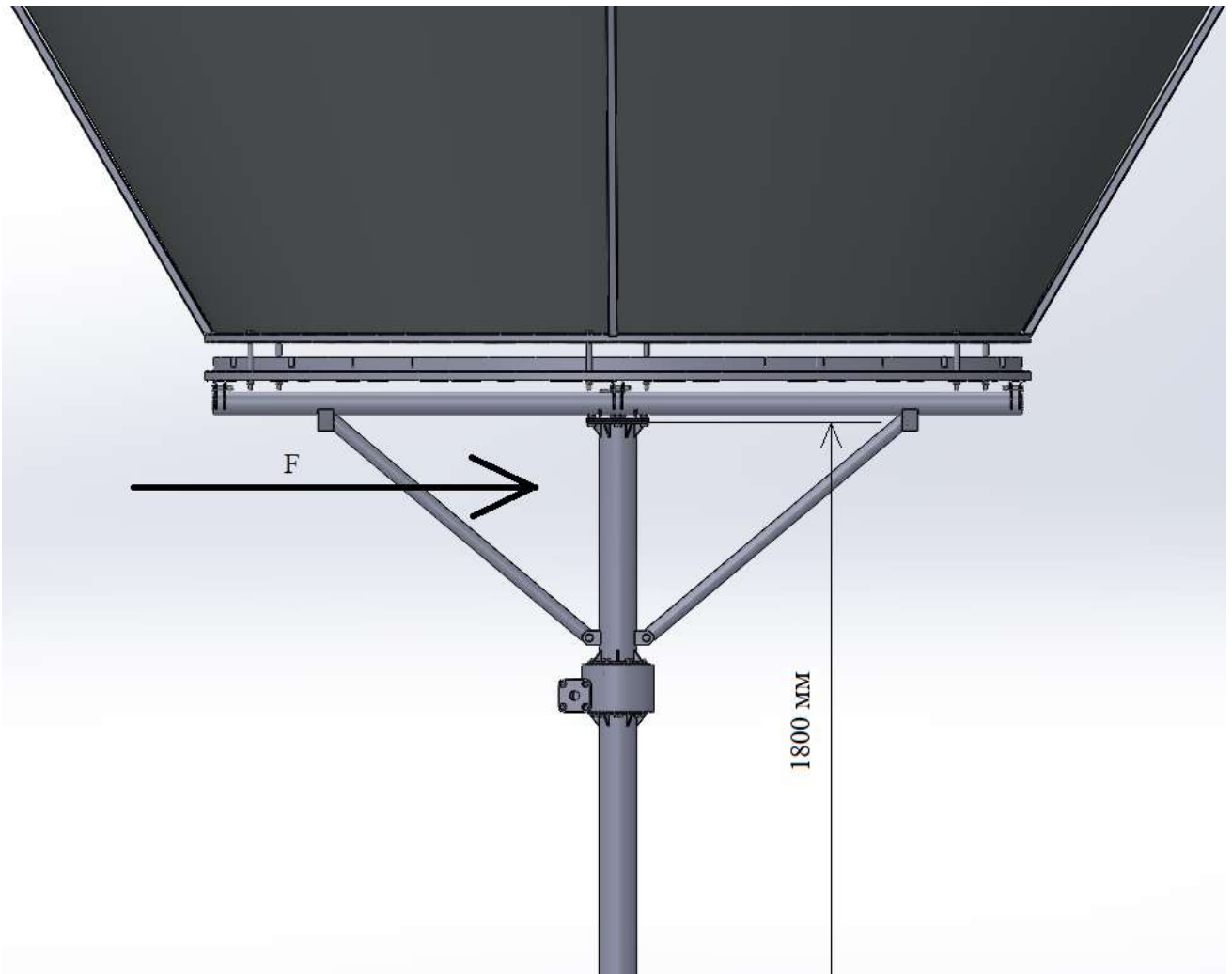


Рисунок 3.4 – 3D модель опорної колони трекера

Основна умова міцності при дослідженні на згин. [26]

$$W \geq \frac{M \max}{\sigma}. \quad (3.7)$$

де:

- σ – допустиме напруження (160МПа для сталі);
- W – момент опору перерізу. [26]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 23. 00 00 000 ПЗ

Арк.
71

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \cdot (l - \alpha). \quad (3.8)$$

$$\alpha = \frac{d}{D}, \quad (3.9)$$

де:

- D – зовнішній діаметр труби;

- d – внутрішній діаметр труби.

Оскільки найнебезпечнішою точкою є точка перерізу в місці кріплення колони умова міцності запишеться так:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{32Fl}{\pi D^3 (l + \alpha^4)} \leq \sigma. \quad (3.10)$$

Розміри довільно підбраної сталеві труби $D = 40$ мм, $d = 35$ мм, $l = 1800$ мм.

$$\alpha = \frac{35}{40} = 0,875.$$

При $\gamma_l = 55^\circ$

$$\sigma_{\max} = \frac{32 \cdot 3295 \cdot 1800}{3,14 \cdot 40^3 \cdot (1800 + 0,875)} = 30,03 \text{ МПа.}$$

При $\gamma_l = 60^\circ$

$$\sigma_{\max} = \frac{32 \cdot 4262 \cdot 1800}{3,14 \cdot 40^3 \cdot (1800 + 0,875)} = 38,5 \text{ МПа.}$$

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72

- α_1 – кут падіння (утворений падаючим променем і перпендикуляром) 70° при $\gamma_I=55^\circ$ і 60 при $\gamma_I=60^\circ$.

Звідси додаткова освітленість сонячної панелі:

$$E_{\text{доо}} = E_{\text{відб}} + S_{\text{напрямяча}} \quad (3.13)$$

При $\gamma_I=55^\circ$

$$E_{\text{відб}} = 0,95 \cdot 1000 \cdot \cos 70 = 324 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$$

$$E_{\text{доо}} = 324 \cdot 4,03 \approx 1305 \text{ Вт}.$$

При $\gamma_I=60^\circ$

$$E_{\text{відб}} = 0,95 \cdot 1000 \cdot \cos 60 = 475 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$$

$$E_{\text{доо}} = 475 \cdot 6,59 \approx 3130 \text{ Вт}.$$

Висновки до розділу

У цьому розділі були, визначені максимальні вітрові навантаження що можуть діяти на конструкцію та їх можливі напрямки, визначена приблизна вага конструкції, визначені загальні навантаження на конструкцію. Були проведенні розрахунки міцності на розрив та зріз окремо для всіх кріпильних елементів та вказані навантаження які необхідно враховувати при підборі поворотного механізму трекера. Також були приведенні розрахунки що демонструють ефективність конструкції.

Висновки

Задачею магістерської роботи було знаходження способу використання сонячних панелей в регіонах де зазвичай їх використання є малоефективним.

Для вирішення поставленої задачі був досліджений спосіб роботи сонячних панелей, залежність їх ефективності від рівня сонячної інсоляції та кута падіння світла. Був проведений аналіз уже існуючих пристроїв вирішують схожі завдання:

- сонячний концентратор для фотоелектричних модулів який, на мою думку, є недостатньо ефективним.
- сонячний фотоелектричний модуль із концентратором який є доцільно використовувати лише в регіонах де сонце ніколи не підіймається вище певного рівня .
- плоский сонячний колектор зі складеним відбивачем який використовується для нагріву води.
- сонячний генератор тепла та електрики, що використовується як альтернатива паливу для обертання турбін генераторів.

Після чого проведенні розрахунки габаритних параметрів та розмірів і форм заготовок для виготовлення конструкції.

Були розглянуті загальні відомості про трекерні системи та приведений зразок розрахунку трекерної системи.

Проведений підбір довжини ходу актуатора, розраховані вага конструкції та навантаження що діятимуть на конструкцію при вітрові швидкістю 25 м/с, проведені дослідження на міцність всіх кріпильних елементів що приведені в 3D моделі конструкції, проведені розрахунки для визначення поведінки світлових променів і їх втрати енергії при відбиванні від дзеркальних поверхонь під різними кутами та встановлення можливого збільшення рівня освітленості приймаючої поверхні.

Недоліком донної конструкції є незначне збільшення вартості встановлення сонячної електростанції і відповідно її терміну окупності, та

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

необхідність встановлення її на трекерну систему для повноцінного функціонування.

Результатом роботи став світлорозподільвач, який може збільшити освітленість сонячної панелі більш ніж на у два рази в залежності від кута розміщення його відбиваючої поверхні.

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

27. Орієнтовні значення основних допустимих напружень на розтяг і стиск 014. www.sopromat.info. URL: <http://www.sopromat.info/orijentovni-znachennja-dopustymyh-napruzhen-na-roztjag-i-stysk-014.html> (дата звернення: 07.12.2023).

28. Розрахунок зварних з'єднань на міцність. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/3779468/page:80/> (дата звернення: 07.12.2023).

					МРМА 23. 00 00 000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		