

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

### Розробка системи позиціонування сонячних батарей

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


Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
4 курсу групи ЕТ-20-1

  
Підпис

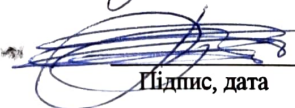
Мартинюк Д.І.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

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

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Тимошук О.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

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

11 06 2024 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

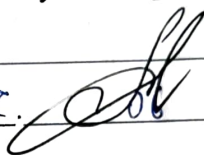
Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

  
12. \_\_\_\_\_ 2024

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**Мартинюк Давид Іванович**

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка системи позиціонування сонячних батарей**  
керівник роботи **Скиба М.Є., д.т.н., проф.**

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру МАЕЕС

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики систем позиціонування-аналогів та сонячних панелей.**

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

1 **Огляд та аналіз технічних джерел щодо альтернативної електроенергетики та систем позиціонування геліоустановок**

2 **Розробка системи позиціонування сонячних батарей**

3 **Розрахунки, що підтверджують працездатність системи позиціонування сонячних батарей**

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

Аркуш 1, 2. **Конструкції геліотрекерів. Док. оглядовий (A1).** Аркуш 3.

**Система позиціонування сонячних панелей. Схема структурна комбінована (A3) + Система позиціонування сонячних панелей. Схема**

**електрична принципова (A3) + Система позиціонування сонячних**

**панелей. Схема кінематична (A2).** Аркуш 4 **Система позиціонування**

**сонячних панелей.. Вид загальний (A1).**



# АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Мартинюк Давид Іванович**

2. Тема бакалаврської роботи  
**Розробка системи позиціонування сонячних батарей**

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 4 арк., сторінок записки 63

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

**1 Огляд та аналіз технічних джерел щодо альтернативної електроенергетики та систем позиціонування геліоустановок**

**2 Розробка системи позиціонування сонячних батарей**

**3 Розрахунки, що підтверджують працездатність системи позиціонування сонячних батарей**

**Висновки**

**Перелік джерел посилання**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Підпис студента МДз

" 17 " 06 2024 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 11 від " 25 " 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно 1А  
Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар АБ

" 25 " 06 2024 р.

# ЗМІСТ

стор.

6

Вступ

8

1 Огляд та аналіз технічних джерел щодо альтернативної електроенергетики та систем позиціонування геліоустановок

8

1.1 Сонячна електроенергетика: установки та технології

22

1.2 Сонячні елементи та принципи їх роботи

27

1.3 Існуючі аналоги систем позиціонування

30

1.4 Види систем стеження

32

1.5 Висновки до першого розділу

33

2 Розробка системи позиціонування сонячних батарей

33

2.1 Розробка структурної схеми системи позиціонування

34

2.2 Модуль фіксації світлового потоку

36

2.3 Розробка кінематичної схеми механізму повороту

37

2.4 Розробка конструкції механізму повороту сонячної панелі

38

2.5 Вибір електроприводів

41

2.6 Розробка схеми електричної принципової

43

2.7 Вибір сонячних елементів

44

2.8 Висновки до другого розділу

45

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність системи позиціонування сонячних батарей

45

3.1 Залежність потужності сонячної батареї від куту падіння променів

45

3.2 Розробка фізичної та математичної моделі азимутально - екліптичної системи позиціонування за Сонцем

52

**БРМА24.00.00.000 ПЗ**

№	Арк.	Над.докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
1	1	ТМартинюк	<i>[Signature]</i>		Розробка системи позиціонування сонячних батарей	б	4	63
2	1	Скиба	<i>[Signature]</i>			ХНУ гр.ЕТ-20-1		
3	1	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>					
4	1	Поліщук	<i>[Signature]</i>					

3.3	Висновки до третього розділу	57
	Висновки	59
	Перелік джерел посилання	60
	Додатки	63

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сьогодні питання енергозбереження цікавлять як вчених, інженерів-енергетиків, практиків (проектувальників, експлуатаційників, монтажників), так і звичайних громадян. Це не дивно, адже людство знаходиться на межі енергетичної кризи. Ціни на енергетичні ресурси часто стають центральною темою інформаційних новин. З різким підвищенням цін на комунальні послуги в Україні багато людей усвідомлюють, що їхній особистий добробут та добробут суспільства в цілому залежить від цін на нафту і газ. Актуальність та значущість цієї проблеми очевидна для всіх.

На тлі зростаючої енергетичної кризи постає питання про використання альтернативних джерел енергії. Альтернативна енергетика розвивається переважно завдяки використанню трьох видів енергії: вітрової, сонячної та водної.

Застосування енергії річкових течій, морських припливів, водоспадів або рухів повітряних мас (вітрів) значною мірою залежить від географічного розташування. На тлі цього все більш актуальним і доцільним стає використання сонячної енергії. Таким чином, наразі існує проблема ефективного застосування сонячної енергії, вирішенню якої слід приділити значну увагу. Одним із способів підвищення ефективності використання сонячної енергії є застосування систем орієнтування сонячних панелей на Сонце.

Актуальність розробки системи позиціонування сонячних модулів обумовлена необхідністю підвищення ефективності сонячних електростанцій, оскільки такі системи дозволяють максимально використовувати сонячну енергію протягом дня. Завдяки автоматичному регулюванню кута нахилу та орієнтації модулів за напрямком сонця, забезпечується збільшення вироблення електроенергії, що особливо важливо в умовах зростання попиту на відновлювані джерела енергії та прагнення до енергетичної незалежності. Крім того, системи позиціонування сприяють зниженню витрат на електроенергію та

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

зменшенню викидів парникових газів, що робить їх важливим елементом у боротьбі зі змінами клімату.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи позиціонування сонячних модулів. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні завдання:

- здійснити огляд та аналіз існуючих теоретичних положень, експериментальних даних та конструкцій систем позиціонування фотомодулів;
- розробити механізм позиціонування сонячних фотомодулів;
- розробити математичну модель залежності кутів положення сонячних фотомодулів від кута падіння сонячних променів на площину панелі.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОУСТАНОВОК

## 1.1 Сонячна електроенергетика: установки та технології

Сонячну енергію можна перетворювати на електричну двома основними способами: фотоелектричним і термодинамічним. При термодинамічному методі електричну енергію отримують за допомогою традиційних схем у теплових установках, де теплота згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання. Принципова схема отримання електричної енергії на сонячній тепловій електростанції представлена на рис. 1.1. Існує три типи сонячних теплових електростанцій:

- параболічного (лоткового) типу: у фокусі параболо-циліндричних концентраторів розташовані вакуумні приймачі - трубки з теплоносієм.
- баштового типу: з центральним приймачем - парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал - геліостатів.
- тарільчатого типу: у фокусі параболічного тарільчатого дзеркала розміщується приймач сонячної енергії з робочою рідиною.

Електростанції баштового типу включають п'ять основних елементів:

- оптична система;
- автоматична система керування дзеркалами та станцією в цілому;
- парогенератор;
- башта і система перетворення енергії, яка включає теплообмінники;
- акумулятори енергії;
- турбогенератори.

Принципова схема сонячної електростанції баштового типу наведена на рис.

1.2 . Оскільки в такій електростанції використовується пряме сонячне

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

випромінювання, концентруючі геліостати повинні мати систему слідкування за Сонцем, і кожен з геліостатів має орієнтуватися в просторі індивідуально.

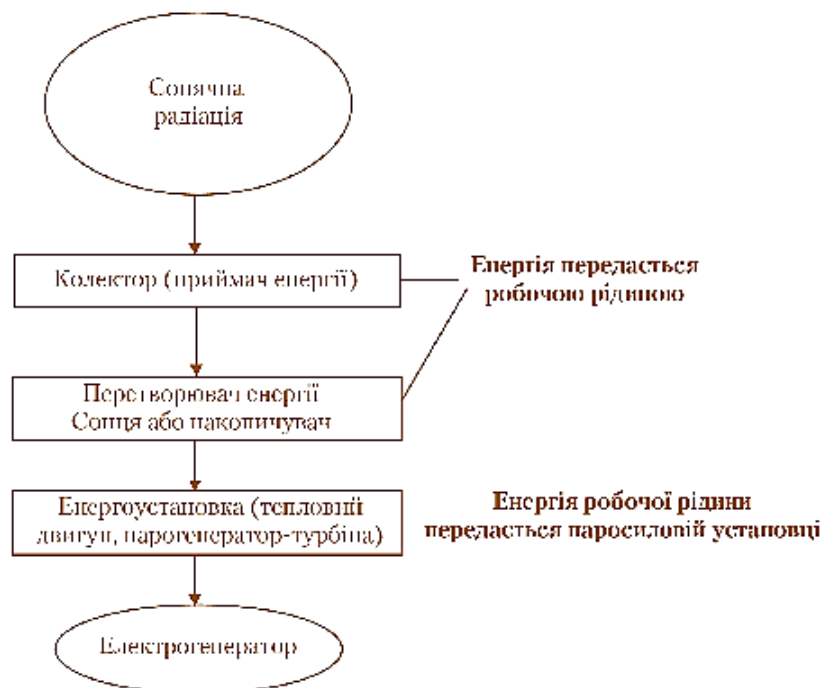


Рисунок 1.1 – Принципова блок-схема сонячної теплової електростанції

Температура, яку можна досягти на вершині башти за допомогою дзеркальних концентраторів, складає від 300 до 1500 °С. Потужність одного модуля не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зменшенням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів до вершини башти.

Світова практика експлуатації станцій баштового типу підтвердила їх технічну можливість та працездатність. Основний недолік таких установок - значна площа, яку вони займають. Наприклад, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт потрібна площа 200 га.

Перший запуск сучасної сонячної електростанції баштового типу відбувся 30 березня 2007 року в районі Санлукар-ла-Майор неподалік від Севільї (Іспанія). Вражаюча бетонна башта висотою 115 м і 624 дзеркала геліостатів, що займають площу по 120 м<sup>2</sup> кожне, забезпечують парою паротурбінну установку

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

потужністю 11 МВт. Цієї потужності достатньо для постачання електроенергією 6000 будівель, що дозволяє заощадити 18000 тон вуглеводневих викидів на рік

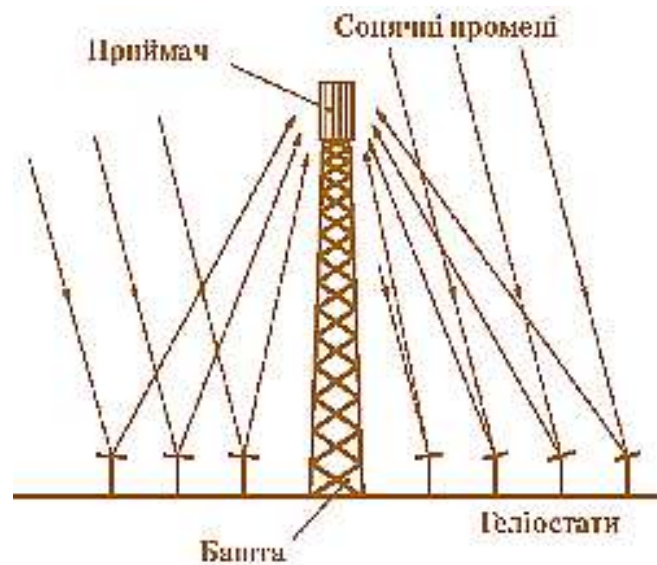


Рисунок 1.2 – Схема електричної станції баштового типу

Демонстраційна сонячна термодинамічна електростанція "Solar Two" (рис. 1.3) працювала з 1981 по 1999 роки в пустелі Мохаве (Каліфорнія, США). Її потужність становила 10 МВт. Сонячну башту цієї станції оточували 1926 геліостатів із загальною площею 83000 м<sup>2</sup>.



Рисунок 1.3 – Сонячна термодинамічна електрична станція «Solar Two»

Цікаво, що в даному випадку сонячне світло нагрівало не воду, а проміжний теплоносіє у вигляді розплавленої суміші натрію та калію. Від цієї

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

суміші закипала вода, що забезпечувала паром турбіни. У 1999 році вчені переобладнали цю станцію на гігантський детектор черенковського випромінювання для вивчення впливу космічних променів на атмосферу.



Рисунок 1.4 – Сонячна електрична станція PS1 в Севільї (Іспанія),  
(фото «Solucar»)

Світло від сотень великих дзеркал стає настільки яскравим, що викликає свічення пилу та вологи в повітрі, завдяки чому промені стають видимими, обрамляючи красиву білу башту. На передньому плані, поряд з дзеркалами, розташовані фотоелектричні панелі з концентраторами сонячних променів. Дзеркала спрямовані на сонячну башту.

Поруч з цією станцією було побудовано ще одну подібну станцію PS2, яка відрізняється більшою потужністю. На ній встановлено приблизно 1255 дзеркал. Розрахункова потужність цієї електростанції становить близько 20 МВт. Запуск другої станції зменшив викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу на 54000 тонн на рік і забезпечив електроенергією близько 18000 будинків. До 2020 року різні сонячні установки, що будуть встановлені на майданчику в Санлукар-ла-Майор, матимуть загальну електричну потужність 300 МВт. Це буде достатньо для задоволення потреб у електроенергії міста розміром із Севільєю.

У сонячних електростанціях параболічного типу (рис.1.5) використовуються параболічні дзеркала (лотки), які концентрують сонячну

енергію на приймальних трубках, розташованих у фокусі конструкції, що містять рідкий тепловий носій. Рідина нагрівається приблизно до 400 °С і проходить через ряд теплообмінників. Завдяки цьому виробляється перегріта пара, яка приводить у дію звичайний турбогенератор для вироблення електроенергії [2].

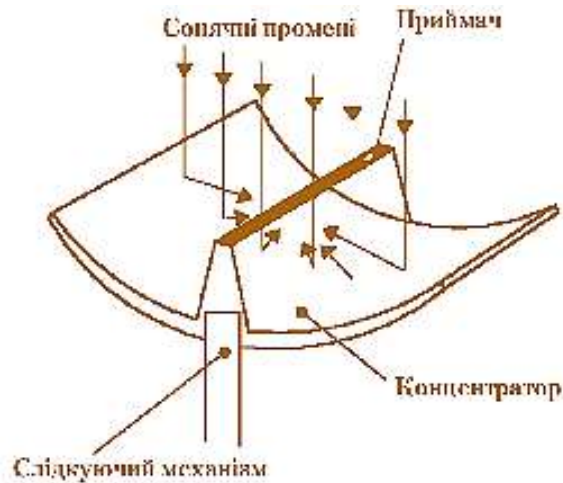


Рисунок 1.5 – Схема сонячної електричної станції параболічного типу

Станції параболічного типу стають дедалі популярнішими завдяки простішій системі слідкування за Сонцем та меншій вазі конструкції. Питома вартість таких станцій близька до питомої вартості атомних електростанцій.

В установках тарілчастого типу (рис.1.6 та рис.1.7) використовуються параболічні тарілчасті дзеркала, схожі за формою на супутникові тарілки. Вони фокусують сонячну енергію на приймачі, розташованому в фокусі кожної тарілки. Рідина в приймачі нагрівається до 1000 °С, і її енергія використовується для вироблення електроенергії в двигуні Стірлінга або в установці, що працює за циклом Брайтона. Установки оснащені системою слідкування за Сонцем. Через відхилення від ідеальної форми внаслідок ефекту аберації та інших конструктивних факторів, максимальний діаметр тарілок не перевищує 20 м, а потужність становить 60 - 75 кВт. Питома вартість сонячної електростанції тарілчастого типу може бути меншою, ніж у електростанцій баштового та параболічного типів [2].

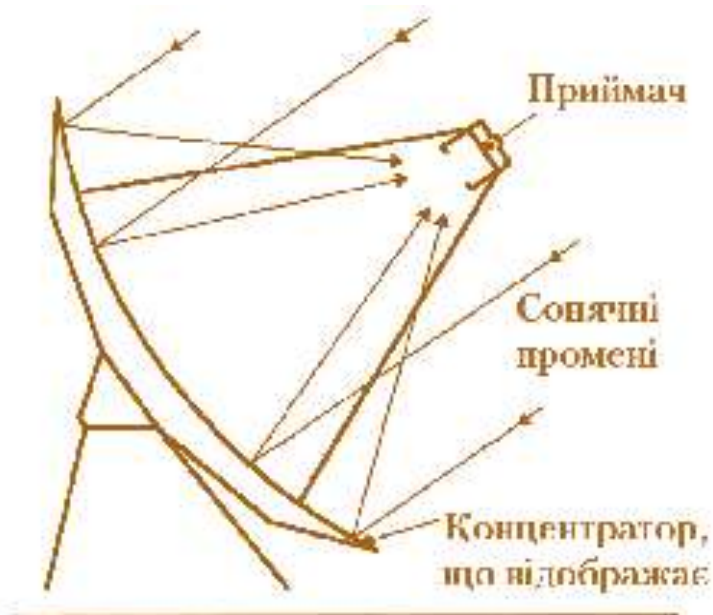


Рисунок 1.6 – Схема сонячної установки тарілчастого типу

Додатково до цього, завдяки модульному проектуванню, такі системи є оптимальним варіантом для задоволення потреб в електроенергії як для автономних споживачів (у кіловатному діапазоні), так і для гібридних (у мегаватному), з'єднаних з електричними мережами комунальних підприємств.

Висока оптична ефективність та малі початкові витрати роблять системи дзеркал та двигунів найбільш ефективними серед усіх геліо технологій [33].



Рисунок 1.7 – Установка тарілчастого типу

На рис. 1.8 наведено сонячну електричну станцію, що застосовує установки параболічного типу.



Рисунок 1.8 – Вигляд на станцію PS1 з висоти пташиного польоту.

На задньому плані видно майданчик, який готували під PS2 (фото «Solucar»). На сонячній електростанції компанії «Solucar» в Санлукар-ла-Майор випробовують різні технології. Прикладом можуть бути параболічні концентратори з двигунами Стірлінга і довгі параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала з трубками для нагрівання теплового носія (рис.1.9).



Рисунок 1.9 – Довгі параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала «Solucar» з трубками для розігрівання теплового носія

Сонячні електростанції найбільш ефективні в регіонах з високим рівнем сонячної радіації та малою хмарністю. Їхній коефіцієнт корисної дії може досягати 20%, а потужність - 100 МВт.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
14

Сонячна фотоенергетика передбачає пряме перетворення сонячної радіації в електроенергію. Принцип роботи фотоелектричного перетворювача базується на використанні внутрішнього фото ефекту в напівпровідниках та ефекту розділення фотогенерованих носіїв зарядів (електронів і дірок) електронно-дірковим переходом або потенційним бар'єром типу метал – діелектрик – напівпровідник (детальніше описано в п.1.2 цього розділу).

Фото ефект виникає, коли фотон (світловий промінь) потрапляє на елемент, складений з двох матеріалів з різним типом електропровідності (дірковою або електронною). Падаючи на цей матеріал, фотон вибиває електрон, створюючи вільний негативний заряд та «дірку». У результаті порушується рівновага так званого р-п переходу, і в колі виникає електричний струм. Будову кремнієвого фотоелемента показано на рис.1.10 [1].

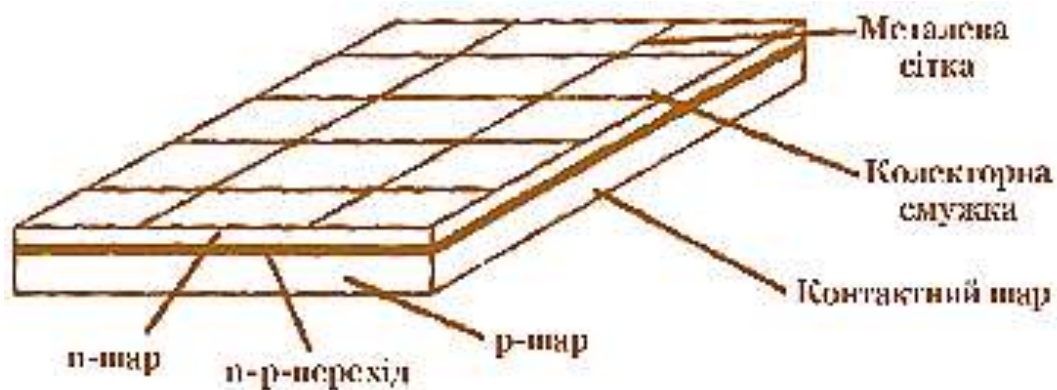


Рисунок 1.10 – Схема кремнієвого фотоелементу

Чутливість фотоелемента залежить від довжини хвилі світла, що падає і прозорості верхнього шару самого елемента. В ясну погоду кремнієві елементи виробляють електричний струм приблизно силою 25 мА при напрузі 0,5 В на 1 см<sup>2</sup> площі елемента, тобто 12 – 13 мВт/см<sup>2</sup>. Теоретична ефективність кремнієвих елементів складає біля 28 %, а практична – від 14 до 20 %.

При послідовно-паралельних з'єднаннях сонячні елементи утворюють сонячну (фотоелектричну) батарею (рис.1.11).



Рисунок 1.11 – Фотоелектричні панелі

Потужність серійно виготовлених сонячних батарей варіюється в діапазоні від 50 до 200 Вт. На рис. 1.12 (аркуш [БРМА24.00.00.000 ДО1]) показано фотоелектричні батареї, встановлені на маяку на острові Зміїний (Україна). На сонячних фотоелектричних станціях ці батареї використовуються для створення фотоелектричних генераторів.



Рисунок 1.12 – Фотоелектрична система енергопостачання комплексу на о.Зміїний потужністю 10 кВт

На рис.1.13 показано блок-схему сонячної фотоелектричної станції. Термін служби цієї станції становить 20 - 30 років, а експлуатаційні витрати є мінімальними [2].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
16



Рисунок 1.13 – Блок-схема сонячної фотоелектричної станції

Недоліком плоских фотоелектричних елементів для отримання електричної енергії є їх висока вартість (до 5 доларів США за один Вт) та значні площі, необхідні для розміщення фотоелектричної станції. Останнім часом модульний тип фотоелектричних перетворювачів стає все більш популярним, оскільки він дозволяє створювати установки різної потужності, що робить їх дуже перспективними (рис. 1.14) [2].



Рисунок 1.14 – Модульні фото електричні перетворювачі

Одним із шляхів вдосконалення фотоенергетики є створення концентруючих фотоелементів. Система концентрації сонячної енергії

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

складається з концентраторів та системи стеження за положенням Сонця, оскільки концентруючі фотоелементи сприймають тільки пряме сонячне випромінювання.

Сьогодні для створення концентруючих сонячних елементів використовують кремній. Наприклад, на основі кремнію в Австралії створені елементи зі ступенем концентрації  $k=11$  і коефіцієнтом корисної дії 20% [1].

Для підвищення ефективності фотоелектричного перетворення сонячної енергії використовують арсенід галію, фотоелектричні втрати якого при високих температурах значно нижчі, ніж у кремнію.

На основі арсеніду галію створено дво- та трикаскадні елементи з високою ефективністю роботи при ступені концентрації 1000 і більше. Вже існують лабораторні зразки сонячних елементів площею  $0,5 \text{ см}^2$  з  $k=500$  і коефіцієнтом корисної дії 40% [3].

Прогнози спеціалістів у галузі фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання вказують на те, що найбільш перспективними будуть концентратори з  $k=1000$ , які працюватимуть з багатокаскадними арсеніду галієвими сонячними елементами нового покоління.

Одним із ефективних способів використання фотоелементів є фотоелектричний транспорт. Багато компаній створюють електромобілі на сонячних фотоелементах. У 1980 році був побудований перший сонячний літак "Солар Челленджер", який міг пролетіти до 160 км [2].

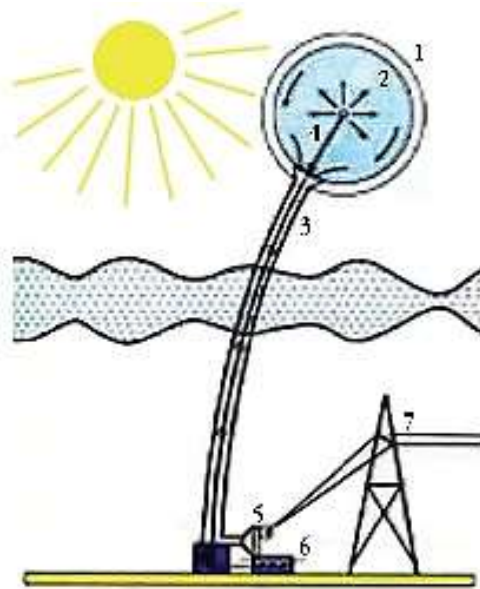
Суттєвим недоліком існуючих сонячних енергоустановок є нерівномірність їхньої роботи, що пов'язано зі зміною потоку сонячного випромінювання, який досягає поверхні Землі, через погодні умови, зміну пори року та час доби.

Сонячні аеростатні електричні станції можуть стати одним з можливих нових напрямків, які дозволять більш ефективно використовувати сонячну енергію. Основним елементом сонячних аеростатних електричних станцій є аеростат. Він може бути піднятий на кілька кілометрів над поверхнею Землі,

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

тобто вище хмар, що забезпечить безперервне використання сонячної енергії протягом дня (рис. 1.15, 1.16) (аркуш [БРМА24.00.00.000 ДО2]).

Принципова схема роботи сонячної аеростатної електричної станції (САЕС) з паровою турбіною полягає в тому, що поверхня аеростата поглинає сонячне випромінювання, нагріваючи водяну пару, яка знаходиться всередині (рис. 1.15). Оболонка аеростата виготовлена з двох шарів. Сонячні промені проходять через зовнішній прозорий шар і нагрівають внутрішній шар оболонки, який має спеціальне покриття. Це покриття поглинає сонячне випромінювання. Водяна пара всередині оболонки нагрівається до 100-150°C завдяки тепловому потоку, що проникає через оболонку. Прошарок газу (повітря) між шарами діє як тепловий ізолятор, зменшуючи втрати тепла в атмосферу.



1 – прозора оболонка; 2 – поглинаюча оболонка; 3 – паровий провід; 4 – трубопровід з водяними помпами; 5 – парова турбіна із генератором;  
6 – конденсатор; 7 – лінія електропередач

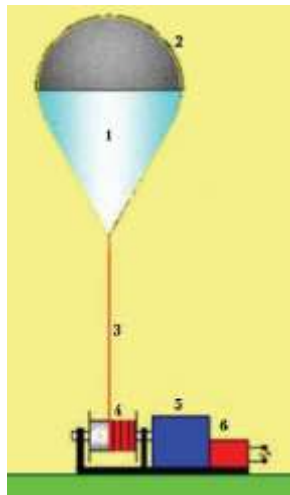
Рисунок 1.15 – Схема сонячної аеростатної електричної станції:

Тиск пари практично дорівнює тиску навколишнього зовнішнього повітря. Водяна пара подається довгим паропроводом на парову турбіну, де конденсується у конденсаторі. Вода з конденсатора знову подається насосами у

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

внутрішню частину оболонки аеростата, де випаровується при контакті з перегрітою парою. Коефіцієнт корисної дії такої установки може досягати 25%. Завдяки запасу водяної пари у внутрішній частині аеростата, установка може працювати і вночі. При діаметрі аеростата 150 м і розміщенні на висоті 5 км, потужність установки може становити 2 МВт [2].

Такі сонячні аеростатні електричні станції можуть бути розташовані на кількох сотнях метрів над поверхнею Землі або над поверхнею моря з силовою установкою на платформах з якорем. Аеростат також кріпиться до платформ. При розміщенні аеростата на висоті 5-7 км забезпечується робота САЕС незалежно від погодних умов. Силова парова турбінна установка може розташовуватися на Землі або в люльці аеростата з передачею електричної енергії по кабелю на Землю. На сьогодні існує досвід використання таких сонячних аеростатних електричних станцій у Тайвані.



- 1 – оболонка балона аеростату; 2 – тонко плівкові сонячні елементи;  
 3 – канат з електрокабелем; 4 – барабан; 5 – електромотор - редуктор;  
 6 – інвертор

Рисунок 1.16 – Аеростатна сонячна електрична станція

Аеростатні сонячні електричні станції можуть бути розташовані в межах міста. Перша промислово-дослідна САЕС "Чорна перлина", введена в експлуатацію в 2003 році, складається з приймача сонячної енергії у вигляді

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

декількох шарів гнучких сферичних оболонок. Значною перевагою цієї конструкції є те, що пара, що нагнітається компресором в розділений на відсіки простір між прозорою і поглинаючою оболонками, завдяки автоматичній системі клапанів циркулює тільки на освітленій стороні. Така станція потужністю 5 МВт займає площу 0,3 км<sup>2</sup>. В іншій САЕС "Чорний місяць", введений в дію у 2005 році, центр оболонки діаметром 300 м знаходився на висоті 450 м, що дозволило значно скоротити використовувану площу. На основі позитивного досвіду експлуатації цих станцій Тайвань планує їх широке будівництво.

Іншим можливим напрямком використання сонячної енергії у ХХІ столітті є створення орбітальних електричних станцій із сонячними батареями. Такі батареї акумулюють енергію Сонця і перетворюють її в мікрохвильове або лазерне випромінювання, яке спрямовується до Землі. На Землі це випромінювання сприймається спеціальними антенами і перетворюється на електроенергію.

Сонячні елементи зазвичай використовуються як перетворювачі сонячної енергії в електричну і з'єднуються разом, утворюючи сонячні батареї. В космосі, де немає атмосфери, хмар і зміни дня та ночі, на одиницю площі потрапляє сонячної енергії в десять разів більше, ніж на земній поверхні. Дослідницькі роботи щодо сонячних орбітальних електричних станцій почалися в 70-х роках ХХ століття в Америці, Радянському Союзі та інших країнах.

Наразі роботи над створенням таких станцій проводяться в Росії, США, Японії та інших країнах із застосуванням новітніх науково-технічних досягнень у фотоелектричній енергетиці, робототехніці та електроніці. При цьому потребують вирішення такі технічні питання, як:

- зниження маси орбітальних електричних станцій;
- зниження витрат на виведення обладнання в космос.

Японія планує до 2030 року зібрати на орбіті на висоті 36 тисяч кілометрів сонячну електричну станцію, яка буде передавати електричну енергію на Землю

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

у вигляді мікрохвильового променя, прийом якого буде здійснюватися наземною антеною. Важливим досягненням є також отримання вченими з Японського космічного агентства елементів, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в лазерний пучок з коефіцієнтом корисної дії 42%.

Для реалізації таких складних і вартісних проєктів, як створення сонячних орбітальних електричних станцій, важливим фактором є міжнародне співробітництво.



Рисунок 1.17 – Сонячні батареї Міжнародної космічної станції

## 1.2 Сонячні елементи та принципи їх роботи

Найпростіша конструкція сонячного елемента (СЕ), пристрою для перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію, зображена на рис. 1.18. На невеликій глибині від поверхні кремнієвої пластини сформований р-п перехід з тонким металевим контактом [3].

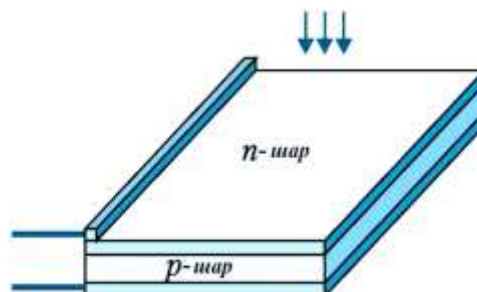


Рисунок 1.18 – Конструкція сонячного елемента [1]

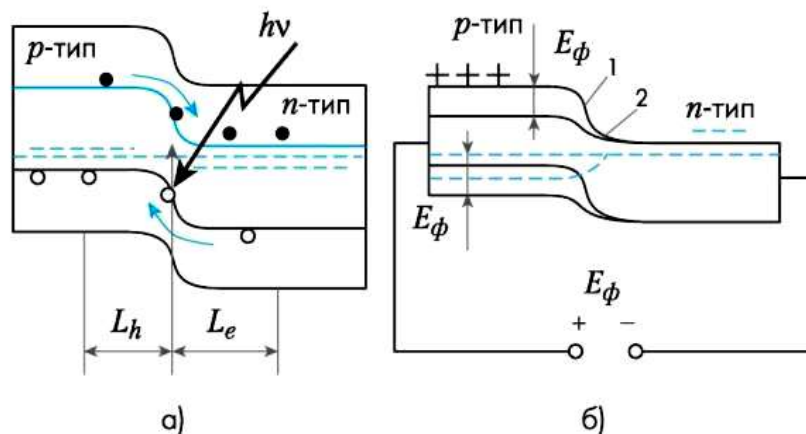
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
22

На зворотний бік пластини нанесено суцільний металевий контакт. Коли СЕ освітлюється, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Електрони, що генеруються в р-шарі та поблизу р-n переходу, підходять до р-n переходу і виникаючим у ньому електричним полем переміщуються в n-область. Аналогічно, надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в р-шар (рис.1.19, а). У результаті n-шар набуває додаткового від'ємного заряду.

На невеликій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформовано р-n перехід з тонким металевим контактом. На зворотний бік пластини нанесено суцільний металевий контакт. Коли сонячний елемент освітлюється, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Електрони, що генеруються в р-шарі поблизу р-n переходу, підходять до р-n переходу і електричним полем виносяться в n-область. Аналогічно, надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в р-шар (рис.1.19, а). В результаті n-шар набуває додаткового негативного заряду, а р-шар - позитивного. Знижується первісна контактна різниця потенціалів між р і n-шарами напівпровідника, і в зовнішньому ланцюзі з'являється напруга (рис.1.19, б). Від'ємному полюсу джерела струму відповідає n-шар, а р-шар - додатньому.



а - в початковий момент освітлення; б - зміна зонної моделі під дією постійного освітлення і виникнення фото електрорушійної сили [4]

Рисунок 1.19 – Зонна модель розімкнутого р-n переходу:

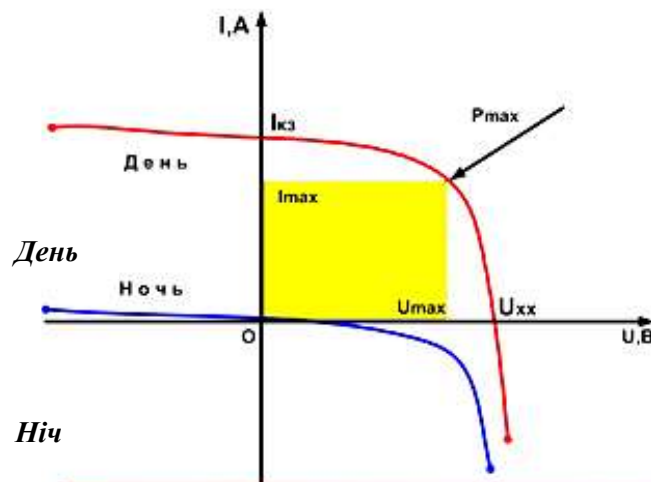
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Величину встановленої фото електрорушійної сили при освітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності можна описати рівнянням вольт-амперної характеристики (ВАХ) [5]:

$$U = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1 \quad (1.1)$$

де  $I$  - загальний струм;  
 $k$  - стала Больцмана;  
 $I_s$  - струм насичення;  
 $T$  - абсолютна температура;  
 $I_{ph}$  - фотострум;  
 $q$  - заряд електрона.

На рисунку 1.20 наведена типова вольт-амперна характеристика. На ній зображені стандартні ВАХ для елемента сонячної батареї у денний та нічний час. Жовтим прямокутником виділено зону вихідної потужності сонячного модуля, при цьому  $P_{max}$  є точкою максимальної потужності [5].



$I_{кз}$  - струм короткого замикання,  $U_{хх}$  - напруга холостого ходу,

$I_{max}$  та  $U_{max}$  - точка оптимальних струму та напруги

Рисунок 1.20 – Типова ВАХ сонячного елемента в денний та нічний час

Для ефективної роботи сонячних елементів необхідно дотримуватися кількох умов:

- оптичний коефіцієнт поглинання активного шару напівпровідника має бути достатньо великим, щоб забезпечити поглинання значної частини енергії сонячного світла в межах самої товщини шару;
- електрони та дірки, що генеруються при освітленні, повинні ефективно збиратися на контактних електродах з обох сторін активного шару;
- повний опір, включений послідовно з сонячним елементом (за винятком опору навантаження), повинен бути малим, щоб зменшити втрати потужності (теплові втрати);
- сонячний елемент повинен мати значну висоту бар'єру в напівпровідниковому переході;
- структура тонкої плівки повинна бути однорідною по всій активній зоні сонячного елемента, щоб уникнути замикання і впливу опорів шунтування на характеристики.

Виробництво структур на основі монокристалічного кремнію, які відповідають таким вимогам, є технологічно складним і дорогим процесом. Тому вчені звернули увагу на матеріали, такі як сплави на основі аморфного кремнію (a-Si: H), арсенід галію та полікристалічні напівпровідники.

Сонячні елементи можна класифікувати за кількома ознаками: інтенсивність збору світла; товщина; хімічний склад; кристалічна структура шарів; кількість з'єднаних на одній підкладці елементів тощо.

За інтенсивністю збору світла сонячні елементи поділяються на: одиничні; концентраційні.

Одиничні сонячні елементи не мають спеціальних приладів для збору світла й поглинають тільки ту кількість світлового потоку, яка падає на їхню поверхню.

Концентраційні сонячні елементи оснащені спеціальним світло збиральним устаткуванням (лінзи або дзеркала), яке дозволяє збільшувати щільність світлового потоку на поверхні елементів у кілька разів. Зазвичай такі елементи виготовляються з дорогих світлопоглинальних матеріалів з

найкращими показниками фотовольтаїчного перетворення світла. У позначенні концентраційних сонячних елементів обов'язково вказується коефіцієнт збору світла, що вимірюється в сонцях (suns). Коефіцієнт збору показує, у скільки разів збільшується щільність потоку, що падає на сонячний модуль, після його оптичного збору системами, що концентрують.

За кристалічним складом поглинаючого матеріалу сонячні модулі поділяються на: монокристалічні, полікристалічні, мультикристалічні, мікрокристалічні, нанокристалічні.

Монокристалічні сонячні елементи мають поглинач у вигляді цільного кристала напівпровідникової речовини. Мульти кристалічні, полікристалічні, мікрокристалічні та нано кристалічні сонячні елементи використовують як поглинаючий матеріал суміш напівпровідникових кристалітів з різною орієнтацією, структурою та формою. Тип сонячного елемента визначається розміром кристалітів: від 1 до 100 мм – мульти кристалічна речовина, від 1 до 1000 мкм – полікристалічна, менше 1 мкм – мікрокристалічна, менше 1 нм – нано кристалічна .

Залежно від товщини світло поглинаючого матеріалу сонячні елементи поділяються на: тонкоплівкові, товстоплівкові.

Тонкоплівкові сонячні елементи мають товщину кілька мікрометрів, тоді як товстоплівкові – десятки або сотні мікрометрів.

За складом поглинаючого матеріалу сонячні елементи поділяються на: кремнієві, на основі АІВVI (в основному CdTe), на основі АІІВV напівпровідників, на основі АІВІІСVI2 напівпровідників, змішані.

Зазвичай для підвищення коефіцієнта корисної дії та зручності конструкції сонячних модулів досягається поглинання світла в одному з його шарів, який називають поглинаючим шаром (поглиначем). Інший напівпровідник використовується лише для створення потенційного бар'єру та збирання генерованих світлом носіїв заряду [9].

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Існуючі аналоги систем позиціонування

Системи позиціонування (трекери) можна поділити на два основних типи [10]: з орієнтацією по двом осям (Dual Axis); з орієнтацією по одній осі (One Axis або Single Axis).

Одновісні трекери мають одну ступінь свободи – вісь обертання, яка зазвичай встановлюється в напрямі меридіана. Існує кілька поширених реалізацій цього типу систем. До них належать: полярно орієнтовані трекери (PSAT) горизонтальні трекери (HSAT); нахилені трекери (TSAT).

Вісь обертання для горизонтальних трекерів (HSAT) розташована горизонтально відносно Землі (рис. 1.18). Горизонтальний вал, встановлений на підшипниках, може бути спільним для кількох панелей, що знижує загальну вартість установки. Це обладнання є досить простим і гнучким у налаштуванні. Зазвичай горизонтальні трекери мають модулі, орієнтовані паралельно осі обертання, яка проходить по лінії північ - південь [10].



Рисунок 1.18 – Сонячні панелі, встановлені на HSAT

Усі геліотрекери з осями обертання, розташованими між горизонтальною та вертикальною, класифікуються як нахилені (рис. 1.19). Кути для нахилених трекерів часто обмежуються залежно від кінцевої висоти або сили вітру. Також враховують ефект затінення та оптимальне використання земельних площ [10].



Рисунок 1.19 – Нахилені геліотрекери

Встановлення сонячних панелей на полярно - орієнтовані треки подібна до способу монтажу опорної структури телескопу. Нахилена вісь співставляється із полярною зіркою. Тому цей тип трекерів має ще назву полярно - орієтовані (PSAT). У такому типі трекерів, кут нахилу дорівнює широті місцевості. Таким чином вісь обертання трекера співпадає із земною віссю обертання [11].

Системи позиціонування за двома осями мають два ступені свободи, які діють як вісі обертання. Ці осі, як правило, перпендикулярні одна до одної. Вісь, яку зафіксовано відносно Землі розглядають як основну.

Існує кілька поширених трекерів такого типу. Вони класифікуються за орієнтацією їх основних осей стосовно Землі. Поширеними є конструкції, що приведені в технічній літературі [12, 13]: трекер з нахиленими вісями обертання (TTDAT - tip-tilt dual axis trackers) (рис.1.20); азимутально - екліптичний трекер (azimuth-altitude dual axis trackers – AADAT) (рис.1.21).

Нахилений двох вісний трекер має нахилену панель, яка змонтована на верхній частині стовпа (рис.1.20). Як правило рух зі сходу на захід здійснюється обертанням панелі навколо вершини стовпа.

У верхній частині обертового підшипника розташований Т- або Н-подібний механізм, який забезпечує вертикальне обертання панелей і слугує основними точками кріплення для панелі. Інші подібні TTDAT трекери мають

горизонтальну основну вісь і залежну ортогональну вісь, тоді як вертикальна азимутальна вісь залишається фіксованою.



Рисунок 1.20 – Геліотрекер з похилими осями обертання

Зазвичай такі трекери слід розташовувати на достатній відстані один від одного, щоб уникнути взаємного затінення, особливо коли Сонце знаходиться низько над горизонтом. Нахилені трекери можуть компенсувати це, нахилиючись ближче до горизонтальної площини, щоб мінімізувати затінення і таким чином максимізувати загальну вироблену потужність [12].

Багато осей обертання нахилених двохвісних трекерів, зазвичай, орієнтуються або вздовж північного меридіана, або по лінії широти зі сходу на захід. Азимутально-екліптичний двохвісний трекер має вертикальну до Землі головну вісь (вісь азимута). Допоміжна вісь, також відома як вісь екліптики або схиляння, зазвичай розташована перпендикулярно до головної осі. Замість обертання панелі навколо верхньої частини стовпа, системи AADAT можуть використовувати велике кільце, встановлене на Землі з кількома роликами (рис.1.21).

Головною перевагою такої системи є рівномірний розподіл ваги панелей на ролики, на відміну від точкового навантаження на полюс у системах TTDAT. Це дає змогу системі AADAT обертати значно більшу кількість панелей. На відміну від системи TTDAT, системи AADAT не можна розміщувати ближче

одна до одної, ніж діаметр кільця, що може знизити щільність розташування таких систем, особливо з урахуванням можливого затінення від панелей.



Рисунок 1.21 – Азимутально - екліптичний геліо трекер

Таким чином, двохвісні трекери забезпечують оптимальні енергетичні показники завдяки здатності рухатися за Сонцем по вертикалі та горизонталі. Незалежно від положення Сонця на небосхилі, такі трекери розташовують площину панелі перпендикулярно до сонячних променів.

#### 1.4 Види систем стеження

Як силові установки в системах позиціонування можуть застосовуватися електричні двигуни: з редукторами, сервоприводами, мотор-редукторами, актуаторами.

Існують такі способи стеження за Сонцем [14]: пасивне наведення (основане на програмуванні алгоритму управління механізмом повороту сонячних батарей); ручне наведення на Сонце; активне наведення (основане на безпосередньому сприйманні положення Сонця).

Ручне наведення здійснюється оператором з пульта керування. Програма обчислення або датчики положення Сонця сигналізують про необхідний поворот панелей, відповідно оператор дає команди на виконавчі механізми, які і

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

повертають панелі чи дзеркала. Використовується на великих об'єктах з комбінованими геліоустановками [14].

Цей спосіб є найменш прийнятним, оскільки: має найменшу точність, безпосередньо залежить від роботи оператора, вимагає постійного обслуговування.

Проте, його перевагою є простота реалізації.

Пасивний спосіб.

Система стеження за Сонцем по азимуту і куту заснована на розрахунково-постійних характеристиках, що відповідають географічному місцю встановлення сонячних батарей, і забезпечує необхідну швидкість обертання в азимутальному і вертикальному напрямках протягом дня з урахуванням пори року. Для реалізації цього методу потрібно визначити постійні початкові величини, які будуть основою для розрахунків виконавчих механізмів, що працюють у системі стеження за Сонцем. Потрібно створити на основі розрахунків програму керування сонячними батареями.

Недоліками такого пристрою є необхідність введення поправок на сезонну висоту схилу Сонця та складність програмування. Програма є прийнятною лише для одного географічного розташування сонячних панелей [14].

Найбільш досконалими є активні системи позиціонування.

У системах з активним способом стеження застосовують світлочутливі датчики, які безпосередньо підключені до силового каскаду управління двигунами. Найбільшого поширення набули системи стеження, що базуються на принципі розузгодження сигналів.

Наразі можна припустити, що комп'ютерне керування буде поступово витіснятися, поступаючи місцем керуванню від датчиків розузгодження для всіх типів енергетичних геліоустановок, що забезпечують високу точність, широкий кут захоплення та високу надійність [14].

## 1.5 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналітичного огляду можна зробити такі висновки:

- проаналізовано сонячну енергетику в цілому та оцінено перспективи її розвитку в майбутньому;
- розглянуто основні типи конструкцій систем позиціонування за однією та двома осями;
- серед розглянутих способів стеження за сонцем виділено активний метод, який забезпечує високу точність, широкий кут захоплення та високу надійність;
- аналіз переваг та недоліків існуючих систем позиціонування показав, що найдоцільнішою є розробка азимутально-екліптичного трекера, що має активну систему позиціонування сонячних панелей [14].

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

### 2.1 Розробка структурної схеми системи позиціонування

Згідно огляду існуючих технологічних рішень аналізу та теоретичних положень було розроблено структурну схему автоматизованої системи позиціонування (рис. 2.1) (аркуш [БРМА24.00.00.000С1]).

Розробка структурної схеми здійснювалася з розрахунку роботи азимутально-екліптичного механізму та геліотрекера. Механізм буде рухатися в двох площинах – вертикальній і горизонтальній, одночасно. Тому, відповідно, це повинно бути враховано і має бути передбачено системою управління приводами механізму. Також було визначено зворотній зв'язок, що, власне, ґрунтується на кутах азимуту та екліптики (підняття) Сонця.

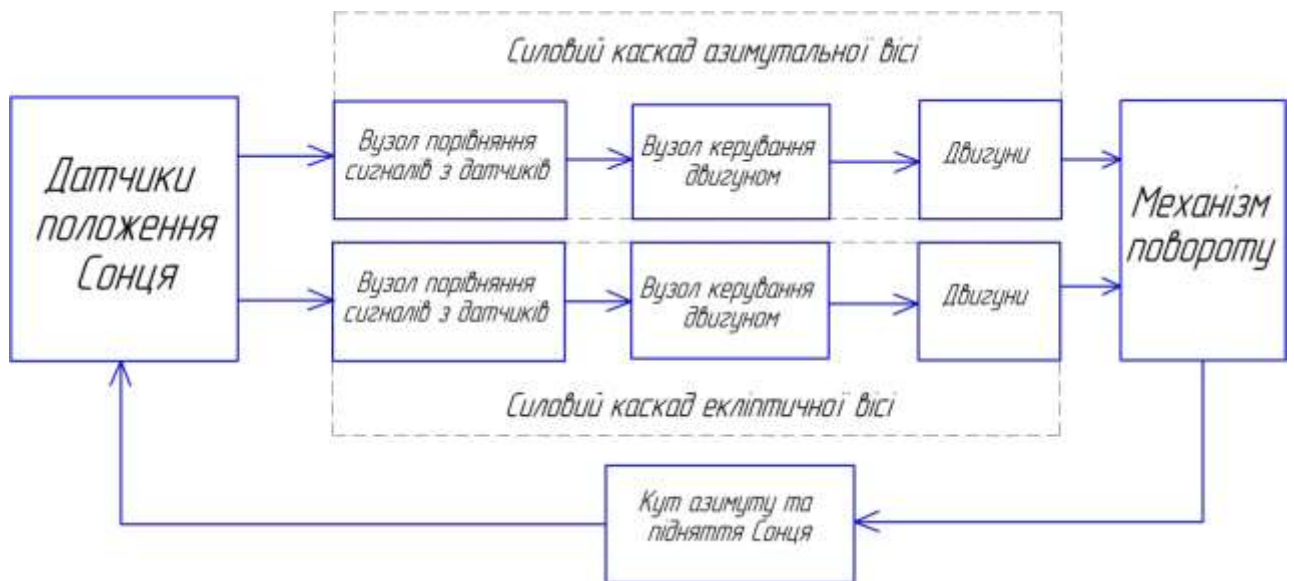


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи позиціонування

Датчики фіксують положення Сонця за допомогою двох вісей – вертикальної і горизонтальної. Сигнали з датчиків надходять на вузли порівняння, де відбувається порівняння положення панелі і Сонця по горизонталі і вертикалі. Результатом порівняння є сигнали, що надходять на

вузли управління двигунами механізму повороту по висоті та азимуту. Механізм повертається, до тих пір, поки не буде балансу, що означає зорієнтоване положення панелі до Сонця.

## 2.2 Модуль фіксації світлового потоку

В цій бакалаврській роботі розроблено модуль фіксації світлового потоку, що базується на принципі розузгодження сигналів датчиків [19, 20]

Цей принцип передбачає фіксацію світлового потоку і його зміщення за рахунок балансної схеми, що побудована на двох фоточутливих датчиках. При будь-якій зміні освітлення двох фотодатчиків – будуть змінюватися і параметри самої схеми, що веде до зміни, у нашому випадку, напруги в плечах балансної схеми. В основі даних схем часто застосовуються тригери Шмідта чи компаратори напруг для порівняння напруги у плечах балансної схеми.

В якості світлочутливих елементів застосовуються фоторезистори R1 та R2. На рис. 2.2 представлено схему датчика для фіксації руху Сонця. Її робота заснована на принципі компарування напруг із використанням операційних підсилювачів DA1 та DA2. Виходи з операційних підсилювачів від'єднуються у відповідне плече повного моста управління двигуном. При однаковому світловому потоці на обох фоторезисторах – схема збалансована і на виходах операційних підсилювачах сигнали управління відсутні. При руху Сонця освітленість фоторезисторів змінюється, що, в свою чергу, призводить до появи сигналів управління на виході компаратора.

Система закріплюється в площині сонячної панелі. Фото резистори розміщені по краях панелі установки 1 (рис.2.3), що забезпечує потрібну орієнтацію сонячного модуля відносно положення Сонця і, тим самим, створює максимальну можливу концентрацію світлового потоку у центрі сонячного модуля.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

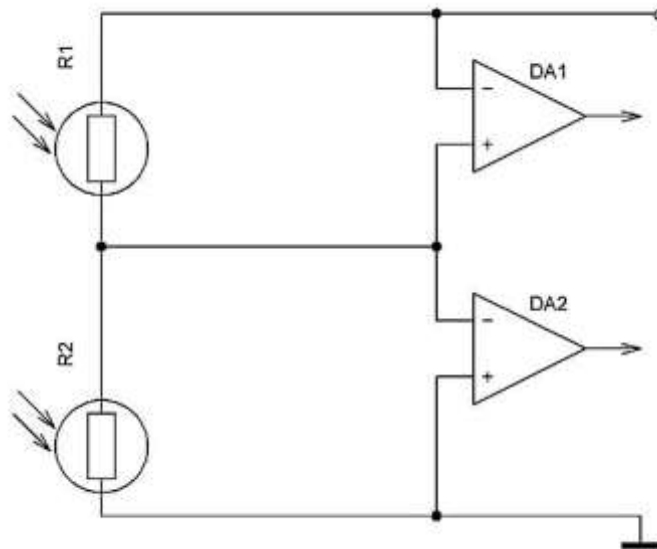
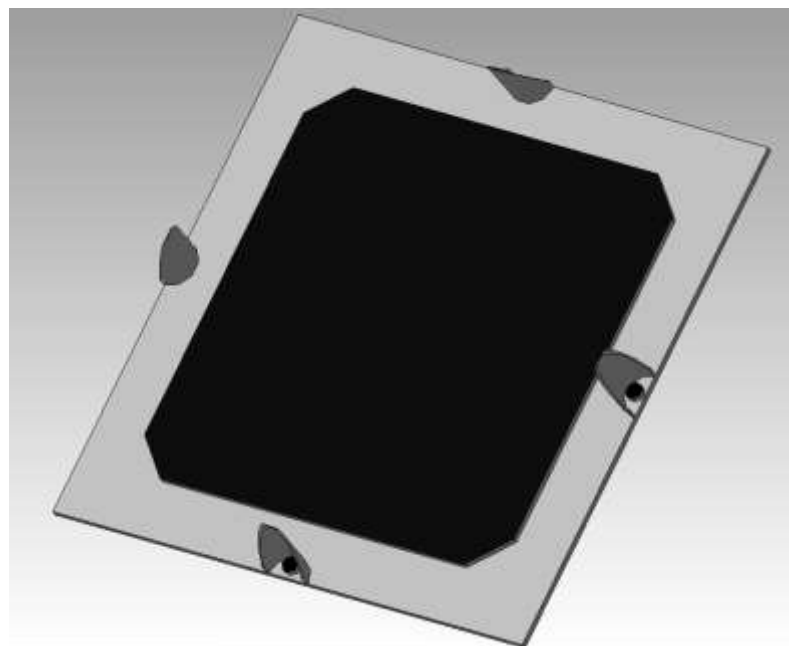


Рисунок 2.2 – Схема датчика фіксації руху Сонця



1 – панель установки сонячної панелі та елементів системи фіксації; 2 – фоторезистор (4 штуки); 3 – світлова заслонка (4 штуки); 4 – сонячний модуль.

Рисунок 2.3 – Сонячний модуль з елементами системи фіксації світлового потоку:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Постійне орієнтування сонячної панелі на Сонце призведе до безперервного споживання електроенергії двигуном, що є неефективним. Тому, щоб знизити споживання енергії двигуном, систему можна налаштувати на спрацьовування через певні проміжки часу, регулюючи кути розузгодження.

Був проведений розрахунок впливу кута розузгодження сигналів на роботу системи, з визначенням її ефективності та споживання енергії залежно від кута зміщення або кроку системи.

Для дослідження кроку позиціонування використовується світлова заслінка 3 (рис. 3.3). Висота та ширина заслінки впливають на мінімальний кут неузгодженості. Регулюючи ці параметри, можна налаштувати необхідний кут, який забезпечить оптимальний крок роботи системи.

### 2.3 Розробка кінематичної схеми механізму повороту

Розробка кінематичної схеми проводилася на основі аналізу технічного завдання, розробленої математичної моделі та структурної схеми.

При розробці кінематичної схеми передбачалося, що рух механізму має здійснюватися по двох осях незалежно одна від одної. Таким чином, очевидним рішенням було використання двох приводів: один для руху в горизонтальній площині по куту азимуту, інший – у вертикальній площині по куту екліптики.

На рис. 2.4 (аркуш [БРМА24.00.00.000K2]) зображено кінематичну схему механізму повороту сонячних панелей, де позначено:

- 1 – сервоприводи;
- 2 – кронштейни поворотного механізму;
- 3 – електродвигун постійного струму сервопривода;
- 4 – багатоступінчастий циліндричний прямозубий редуктор сервопривода.

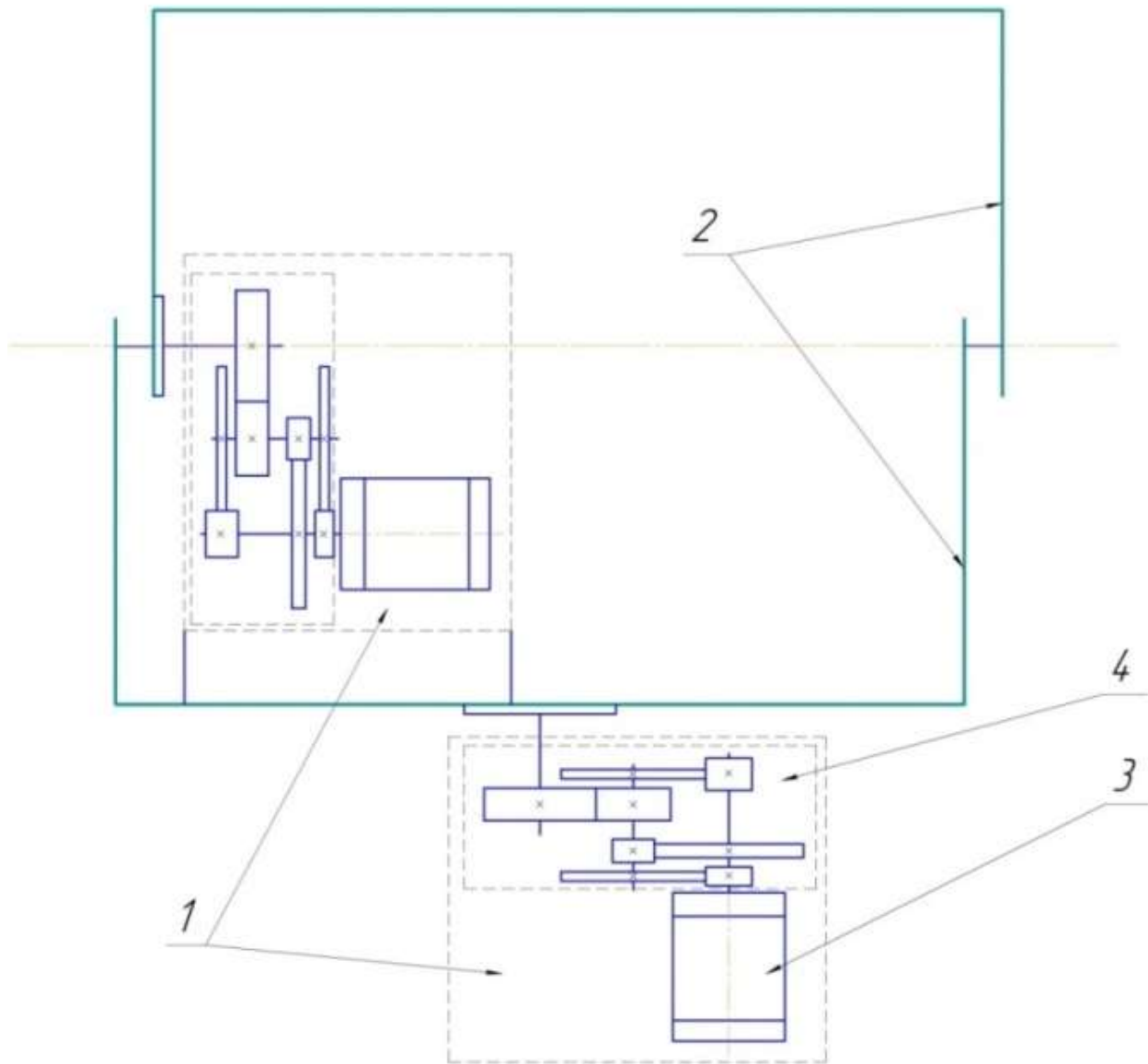


Рисунок 3.4 – Схема кінематична поворотного механізму

#### 2.4 Розробка конструкції механізму повороту сонячної панелі

Розробка конструкції механізму повороту сонячної панелі проводилася на основі аналізу технічного завдання та кінематичної схеми.

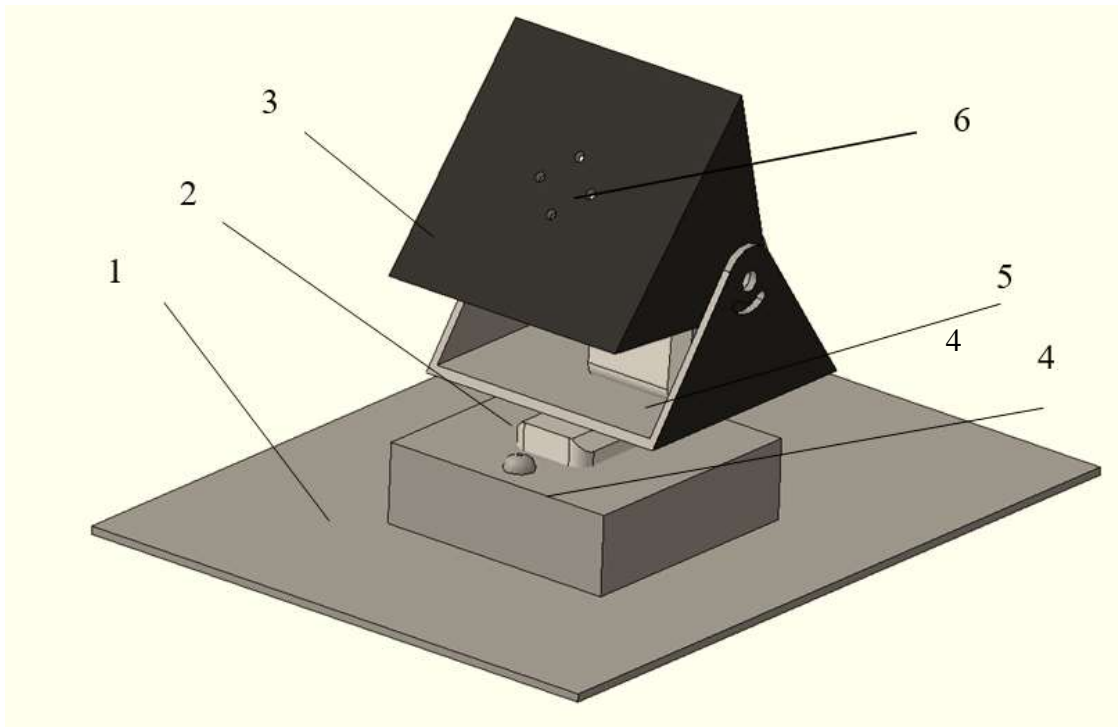
Для вибраної азимутально-екліптичної системи позиціонування було розроблено механізм повороту.

Схема механізму повороту сонячної панелі зображена на рис. 2.5.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
37



1 – станина; 2 – кронштейн азимутального руху; 3 – кронштейн екліптичного руху; 4 – сервопривод азимутального кронштейна; 5 – сервопривод екліптичного кронштейна; 6 – отвори закріплення фотомодуля з сонячними елементами і датчиками фіксації світлового потоку

Рисунок 2.5 – Загальний вигляд механізму повороту сонячних панелей:

Сервопривод 4 з кронштейном 2 провертає сонячну панель у горизонтальній площині, рухаючись у азимутальному напрямку руху Сонця. Сервопривод 5 з кронштейном 3 провертає сонячний модуль у вертикальній площині, рухаючись у екліптичному напрямку руху Сонця.

На основі механізму повороту була розроблена система позиціонування сонячної панелі, що приведена на аркуші [БРМА24.00.00.000В3].

## 2.5 Вибір електроприводів

Основними вимогами для роботи системи були: функціонування на малих швидкостях, низька інерційність, легкий пуск, точність і простота регулювання.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

З усіх відомих електродвигунів найкраще відповідає цим вимогам двигун постійного струму. Проте залишалися нерозв'язаними питання інерційності та легкості пуску. Додатково проблемою було забезпечення збереження крутного моменту при малих швидкостях. Це питання вирішується використанням редуктора. Проте використання в даному механізмі і системі в цілому двигуна постійного струму і редуктора як окремих компонентів було б досить громіздким і економічно недоцільним. Тому як приводний механізм було вибрано сервопривод, який складається з двигуна постійного струму та редуктора в одному корпусі.

Схематична будова сервоприводу в розрізі показана на рис. 2.6. У більшості випадків він складається з таких складових [22]: – двигун постійного струму; – потенціометр (використовується для зворотного зв'язку); – багатоступінчастий редуктор; – друкована плата з керуючою електронікою.

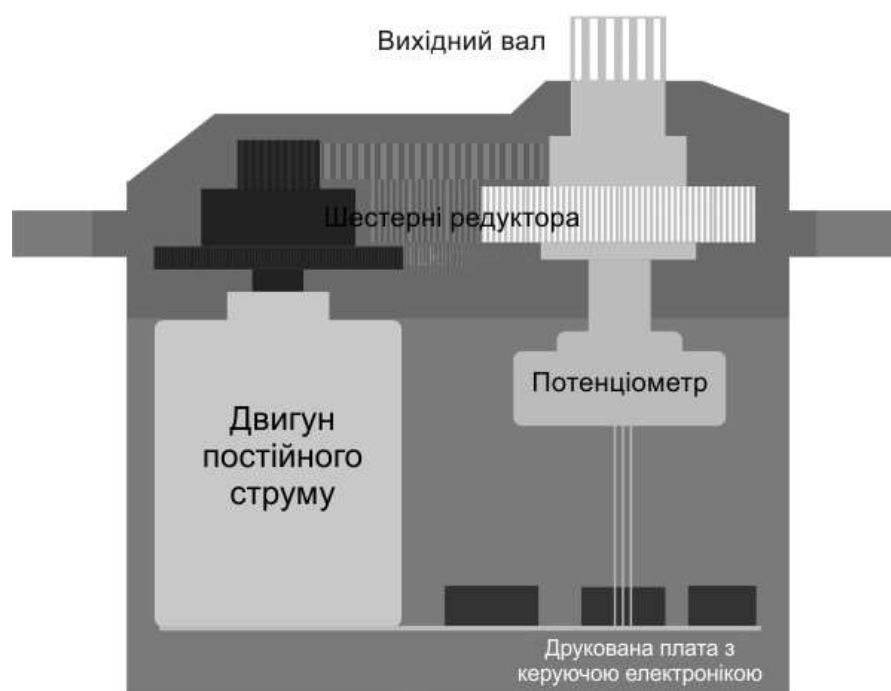


Рисунок 2.6 – Будова сервопривода постійного струму

Вибір сервоприводів було проведено за потрібним розрахунковим крутним моментом. Схема для розрахунку механізму наведена на рис.2.7.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані для розрахунку серво приводів:

- азимутального руху, маса конструкції з врахуванням вітрових потоків прийнята  $m_1=1,2$ кг, відстань до точки навантаження на валу  $l_1=0,01$  м;
- екліптичного руху, маса конструкції з урахуванням вітрових потоків прийнята  $m_2=0,8$  кг, відстань від вісі обертання до лінії сили тяжіння  $l_2=0,035$  м.

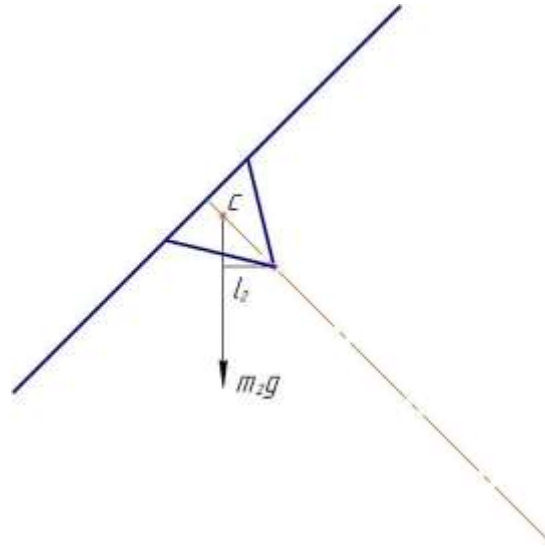


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема потрібного крутного моменту для екліптичного сервопривода

Крутний момент для сервопривода азимутального руху визначається із формули:

$$M_1 = m_1 \cdot l_1 \cdot g = 1.2 \cdot 0.01 \cdot 9.8 = 0.1176 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad 2.1)$$

Крутний момент для сервопривода екліптичного руху визначається із наступного виразу:

$$M_2 = m_2 \cdot l_2 \cdot g = 0.8 \cdot 0.035 \cdot 9.8 = 0.2744 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad 2.2)$$

Для двох випадків вибрано сервопривод Futaba з наступними паспортними даними [23]:

- редуктор;
- розміри: 40.7x19.7x42.9 мм;
- маса: 40 г;
- швидкість: 60 град/0.16сек(6 В);
- крутний момент на вихідному валу: 0,4 Н·м (при напрузі живлення 6В);
- робоча напруга :4.8-6,2 В.

## 2.6 Розробка схеми електричної принципової

Схема принципова електрична побудована на основі структурної схеми системи позиціонування (рис.2.8) (аркуш [БРМА24.00.00.000Е3]).

В якості елементної бази було використано операційні підсилювачі та дискретні напівпровідникові елементи, фоторезистори.

Вся електрична схема автоматизованої системи позиціонування складається з каналу управління сервоприводом по азимуту та каналу управління сервоприводу по висоті.

Операційні підсилювачі увімкнені по схемі компаратора напруги, його робота налаштовується за допомогою потенціометрів R2, R3.

Фоторезистори підключені до відповідних входів операційних підсилювачів для реєстрації світлового потоку. Якщо панель розташована перпендикулярно до Сонця, вхідні вимірювальні мости залишаються збалансованими. Поки освітленість на фоторезисторах однакова, на виходах операційних підсилювачів сигнал відсутній. При русі Сонця освітленість фоторезисторів змінюється, на виходах вхідних вимірювальних мостів з'являються сигнали розбалансу, що призводять до спрацювання компараторів на ОП. Ці сигнали надходять на відповідні ключові транзистори вихідного

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

силового моста, подаючи напругу живлення на обмотки двигуна, який приводиться в рух і повертає сонячну панель. Як тільки панель встановиться в перпендикулярне положення до Сонця, світлові потоки на фоторезисторах вирівнюються, компаратори переходять у вихідний стан, транзисторні ключі закриваються, і обмотки двигуна відключаються від живлення. Рух системи припиняється.

9-15V 6V

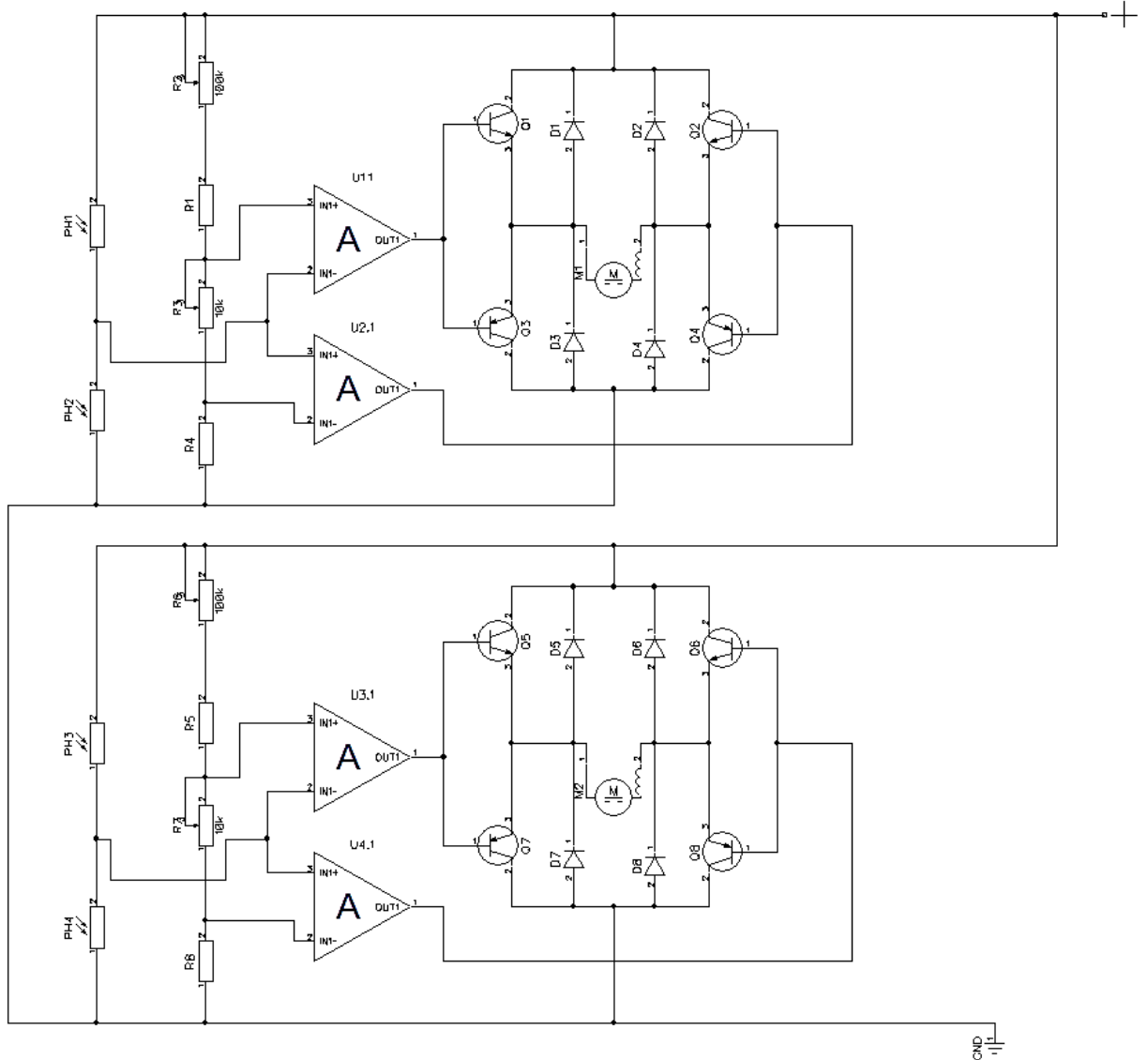


Рисунок 2.8 – Схема принципова електрична системи позиціонування по одній осі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
42

Робота пристрою буде періодично повторюватися протягом усього світлового дня.

Наприкінці світлового дня система зупиняється і переходить у режим очікування. З настанням світанку датчики реагують на появу світла, що призводить до розвороту і повернення системи у бік сходу Сонця.

У схемі використані такі компоненти:

- фоторезистори РН1-РН4 ФР1-3 100к;
- потенціометри R2, R6 СПЗ-4АМ 100кОМ;
- резистори R1, R5 типу С2-23-0,125 – 15к Ом 10%;
- резистори R4, R8 типу С2-23-0,125 – 47к Ом 10%;
- діоди типу 1N5402 (8 штук);
- потенціометри R3, R7 СПЗ-4АМ 20кОМ;
- операційні підсилювачі U1.1-U4.1 типу LM324;
- транзистори Q3, Q4, Q7, Q8 типу ТІР42С;
- транзистори Q1, Q2, Q5, Q6 типу ТІР41С;
- електродвигуни M1, M2 сервоприводи Futaba S8003.

## 2.7 Вибір сонячних елементів

В якості фотоелектричних елементів було вибрано сонячні елементи монокристалічного типу, що мають наступні параметри:

- максимальна потужність – 1,6 Вт;
- максимальний струм – 0,28 А;
- максимальна напруга живлення – 6 В;
- струм короткого замикання – 4,4 А;
- ККД – 17%;
- розміри – 150x86 мм;
- товщина – 2 мм.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

## 2.8 Висновки до другого розділу

В цьому розділі проведено розробку системи позиціонування сонячних батарей. Здійснено розробку структурної та кінематичної схем системи позиціонування сонячної панелі. Проведено проєктування конструкції механізму повороту фотомодуля. Здійснено розробку електричної принципової схеми.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

#### 3.1 Залежність потужності сонячної батареї від куту падіння променів

Основним чинником, що обмежує широке застосування сонячної енергетики на практиці, є вартість самих енергетичних установок.

Зниження вартості виробництва електроенергії такими системами можливе двома способами:

- за рахунок зниження вартості сонячних панелей;
- підвищення коефіцієнту корисної дії сонячних модулів.

Реалізація першого способу можлива таким чином [15]:

- здешевленням виробництва продукції із застосуванням цехів автоматизованого виробництва з найменшим використанням людської праці;
- здешевленням кремнію шляхом заміни монокристалу кремнію на полікристал чи мультикристал кремнію;

Підвищення ККД сонячних елементів є можливим за рахунок наступного:

- використання тандемної установки, багат шарових фотоприймачів на гетеро переходах;
- застосування концентраторів сонячного випромінювання;
- використання двох сторонніх фотоелектричних перетворювачів (ФЕП);
- введення системи слідування за Сонцем

Останньому варіанту слід приділити значну увагу, оскільки він дозволяє значно підвищити ефективність використання сонячної енергії будь-якими сонячними установками. Навіть при ефективній стаціонарній установці сонячних батарей втрата у виробленій потужності досягає 50% у порівнянні з безперервною системою орієнтування на Сонце . [12].

Сонячне світло складається з двох компонентів: "прямого променя", який несе близько 90% сонячної енергії, та "дифузного сонячного світла", яке містить

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

решту енергії. Дифузна частина може бути блакитним небом у ясний день і збільшується пропорційно в похмурі дні. Оскільки більшість енергії міститься в прямому промені світла, максимальне його поглинання досягається при прямому куті падіння на сонячний модуль.

Залежність отримуваної потужності від кута падіння променів визначається наступним чином.

Розглянемо три основні складові, що впливають на сумарну кількість сонячної радіації:

- залежність площі падіння променів на сонячну панель від кута нахилу батареї;
- залежність коефіцієнта віддзеркалення променів від їхнього кута падіння на сонячну панель;
- фонове випромінювання.

В бакалаврській роботі розглянемо більш детально дію саме першого фактора.

З цією метою було визначено залежність площі падіння променів від кута нахилу сонячного модуля (рис.3.1).

На рис. 3.1, а сонячна панель розміщена перпендикулярно напрямку сонячних променів (кут між нормаллю сонячного модуля  $n_1$  та сонячними променями  $\alpha_1=0$ ), площа падіння променів  $S_1$  максимальна. На рис.3.1, б сонячний модуль розташований під кутом  $\alpha_2$  до Землі, відповідно з правилами тригонометрії кут між нормаллю сонячноїпанелі і сонячними променями теж рівний  $\alpha_2$ .

Площу падіння сонячних променів в другому випадку можна визначати за виразом:

$$S_2 = S_1 \cdot \cos(\alpha_2), \quad (3.1)$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

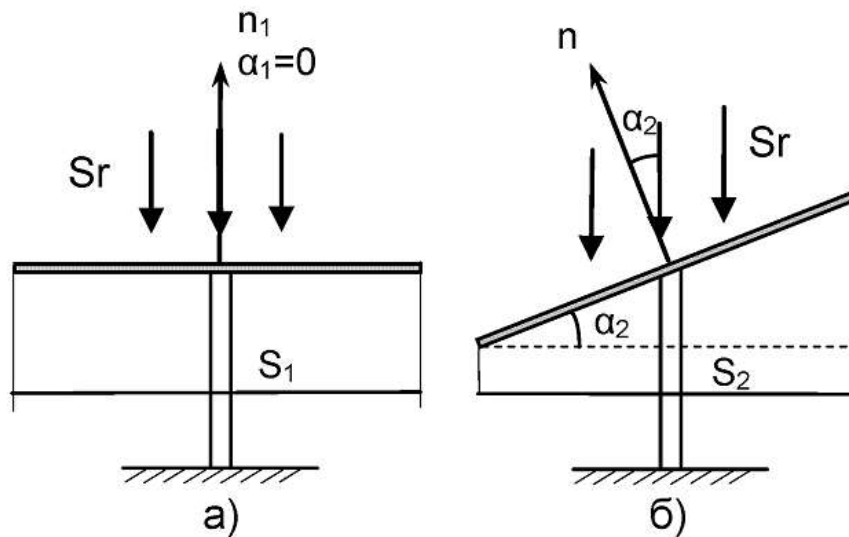


Рисунок 3.1 – Площа падіння променів в залежності від нахилу сонячного модуля

або у відсотковому відношенні від максимального значення виходячи з формули:

$$S_{\%} = 100\% \cdot \cos(\alpha_2), \quad (3.2)$$

де  $\alpha_2$  – кут між лінією падіння променів і нормаллю сонячного фотомодуля.

З формули (3.1) випливає, що при зменшенні кута падіння променів на сонячний фотомодуль ефективна площа зменшується.

Крім площі сприймання падіння променів, слід врахувати відображення променів від поверхні панелі.

Кількість відбитого випромінювання залежить від:

- властивостей поверхні, на яку впали промені,
- кута падіння променів на поверхню панелі.

Також необхідно враховувати вплив фонового випромінювання, яке не залежить від кута падіння променів. В середньому воно становить 20 відсотків від загального випромінювання [28].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Для визначення впливу вищезазначених факторів на кількість сонячної радіації, що попала на поверхню панелі, використаємо формули Френеля для відбиття хвиль, поляризованих перпендикулярно і паралельно площині падіння променя Сонця [29,30]:

$$\rho(x, r) = \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - r)}{\operatorname{tg}^2(\alpha + r)}, \quad (3.3)$$

$$f(x, r) = \frac{\sin^2(\alpha - r)}{\sin^2(\alpha + r)}, \quad (3.4)$$

де  $\alpha$  – кут падіння;

$\rho$  - коефіцієнт відбиття хвилі, що поляризована в площині падіння;

$f$  - коефіцієнт відбиття хвилі, що поляризована перпендикулярно площині падіння;

$r$  – кут заломлення.

При нормальному падінні світла на речовину ( $\alpha=0$ ) формули (3.3, 3.4) будуть мати наступний вигляд [29]:

$$\rho = f = \frac{(n - n_1)^2}{(n + n_1)^2}, \quad (3.5)$$

де  $n$  - показник заломлення середовища, в яке попадає сонячний промінь,

$n_1$  – показник заломлення середовища, в якому рухається промінь.

Як випливає із формул (3.3) і (3.4), коефіцієнти залежать від двох величин – кута падіння та кута заломлення. Як відомо з фізики, відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є постійною величиною для двох середовищ, і воно називається коефіцієнтом заломлення  $n$ :

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(r)}. \quad (3.6)$$

Коефіцієнт заломлення для плівки для ламінування фотомодуля, що випробовується  $n = 1,55$ . Виразимо із формули (3.6) кут заломлення  $r$  і підставимо його у формули (3.4) та (3.5). Отримаємо рівняння залежності коефіцієнту відбиття хвилі  $p$  і  $f$  від кута падіння променів на поверхню:

$$\rho(\alpha, r) = \frac{\operatorname{tg}^2\left(\alpha - \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right)\right)}{\operatorname{tg}^2\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right)\right)}, \quad (3.7)$$

$$f(x, r) = \frac{\sin^2\left(\alpha - \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right)\right)}{\sin^2\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n}\right)\right)}. \quad (3.8)$$

Виходячи з того, що сонячне світло можна представити як суму двох лінійно поляризованих хвиль рівної інтенсивності, у яких коливання здійснюється відповідно паралельно та перпендикулярно площині падіння, знайдемо їх середнє арифметичне значення та помножимо на 100 %, щоб виразити відображену частину хвилі у % відповідно:

$$K(\alpha) = 100 \cdot \frac{p(\alpha) + f(\alpha)}{2}. \quad (3.9)$$

Підставивши формули (3.5) і (3.9) в (3.2) і, враховавши фонове випромінювання, було отримано вираз для частки потужності сонячної радіації, що дійшла до поверхні панелі:

$$W(\alpha) = 80 \cdot \cos(\alpha) \cdot (100 - K(\alpha)) + 20(1 - z) \quad (3.10)$$

Отримані теоретичним шляхом залежності були підтверджені експериментальним шляхом.

В табл. 3.1 приведено залежність втрат потужності сонячного випромінювання, що потрапляє на фотомодуль, від кута його падіння.

Таблиця 3.1 – Залежність втрат енергії від кута падіння сонячного променя

$\alpha_2$ , град	0	1	3	8	15	23,4	30	45	60	75
Втрати (%) ( $1 - \cos(\alpha_2) \cdot 100$ )	0	0,015	0,14	1	3,4	8,3	13,4	30	50	75

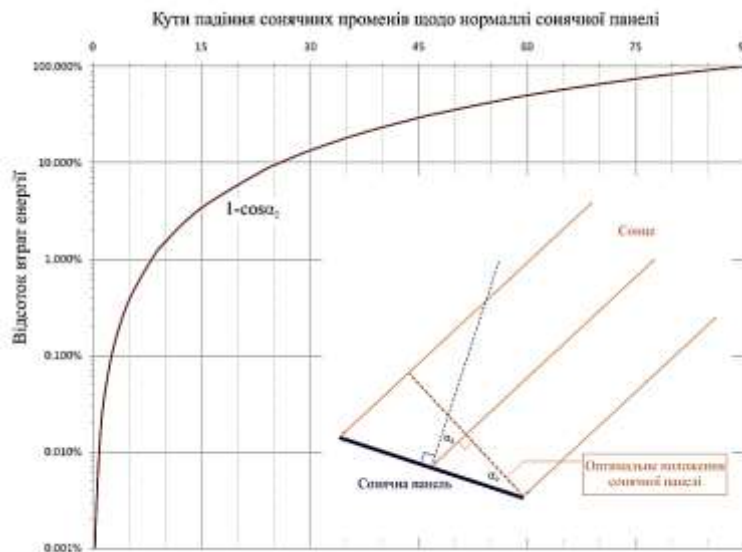


Рисунок 3.2 – Графік залежності втрат сонячної енергії від кута падіння сонячного променя

Отже, як видно на рис. 3.2, максимальна ефективність сонячної панелі досягається, коли кут падіння сонячного променя на площину сонячного модуля є перпендикулярним.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Наприклад, існуючі системи стеження за Сонцем (геліо треkerи), які мають точність позиціонування  $\pm 5^\circ$ , можуть перетворити до 99,6% енергії прямого пучка і 100% розсіяного світла.

Розглянемо причини втрат при стаціонарному закріпленні сонячної панелі. Сонце щодня проходить  $360^\circ$  зі сходу на захід, але для будь-якого фіксованого розташування видима частина становить близько  $180^\circ$  протягом світлого дня (більше навесні і влітку, менше восени і взимку). Горизонт певної місцевості може зменшити це значення до  $150^\circ$ . Сонячна панель у фіксованій орієнтації між сходом і заходом Сонця сприймає рух у  $75^\circ$  в обидві сторони, що, згідно з таблицею 3.1, призводить до втрат 75% енергії у ранкові та вечірні години. Поворот панелей на сході і заході Сонця дозволить компенсувати ці втрати.

Трекер, що обертається лише у напрямі схід - захід, відомий ще одновісний трекер [16].

Різниця між двома локальними екстремумами перебування Сонця над горизонтом складає приблизно  $46^\circ$ . Таким чином, фотомодуль, що встановлени між двома цими екстремумами, посередині ( $23^\circ$ ) буде мати втрати 8,3% (табл.3.1). Трекер, який фіксує рух Сонця для двох добових і сезонних рухів ще відомий як двох вісний трекер. Крім того, ще існують втрати, які пов'язані з сезонними змінами в тривалості дня (зростає влітку в південних чи північних широтах). Все це зменшує ефективність використання сонячних модулів [16].

Крім сезонних переміщень Сонця, безпосередньої продуктивності самих сонячних елементів та їх коефіцієнту корисної дії, ефективність фотоелектричної установки буде також залежати від спектру та інтенсивності сонячного випромінювання, яке падає, і температури на сонячному елементі. Тому для дослідження сонячних елементів необхідно ретельно дотримуватися прийнятих стандартних умов. Наземні фотоелектричні установки досліджуються при температурі навколишнього середовища  $25^\circ\text{C}$ .

Отже, ефективність фотоелектричного перетворення світла в електрострум обмежена добовими та сезонними рухами Сонця, а також

рекомбінаційними, тепловими та іншими втратами енергії в структурах сонячного елемента.

### 3.2 Розробка фізичної та математичної моделі азимутально - екліптичної системи позиціонування за Сонцем

Із пункту 3.1 випливає, що продуктивність сонячних панелей в більшій мірі залежить від їхньої орієнтації та кута нахилу по відношенню до Сонця. Для математичного описання системи позиціонування також враховується обертання Землі навколо Сонця та навколо своєї вісі. Для визначення положення сонячних модулів потрібно враховувати кутові параметри (рис.3.3) [17]:

- кут сонячного схилу  $\delta$ ;
- широта місця встановлення  $\varphi$ ;
- кут нахилу до горизонту  $\beta$ ;
- годинний кут  $\omega$ ;
- азимут  $\alpha$ .

Широта місця встановлення ( $\varphi$ ) показує, наскільки місце знаходиться північніше чи південніше від екватора, та має кут від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , що визначається від площини екватора до одного із його полюсів – північного чи південного.

Годинний кут ( $\omega$ ) переводить сонячний місцевий час в число градусів, яке проходить Сонце по небу. По визначенню, годинний кут риняється нулю опівдні. Земля обертається на  $15^\circ$  за одну годину. Вранці кут Сонця є негативним, ввечері – позитивним.

Кут нахилу Сонця ( $\delta$ ) також залежить від обертання Землі навколо нього, оскільки орбіта обертання має еліптичну форму і сама вісь обертання теж нахилена. Таким чином кут змінюється упродовж року від значення  $23.45^\circ$  до значення  $23.45^\circ$ . Кут нахилу буде рівнятися нулю двічі на рік в дні весняного і осіннього рівностояння.

Схиляння Сонця для більшконкретно вибраного дня визначається за формулою:

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), \quad (3.11)$$

де  $n$  - порядковий номер дня у році, що відраховується з 1 - го січня (для 1 січня –  $n=1$ ).

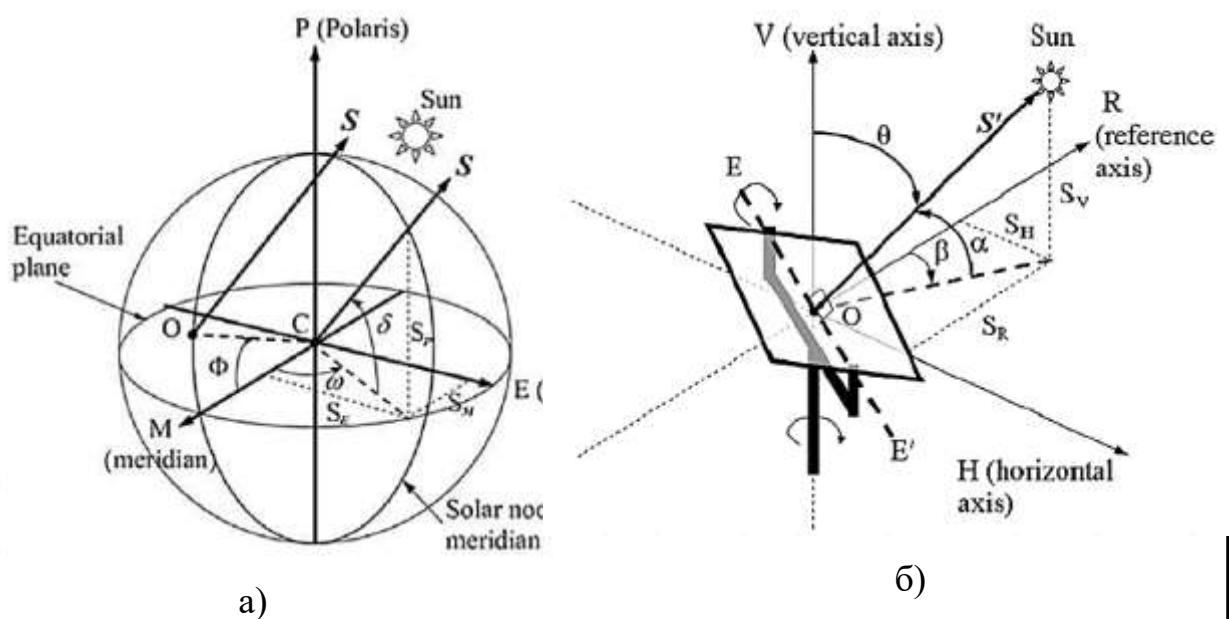


Рисунок 3.3 – Основні та додаткові кути руху Сонця (а) та розрахункові кути положення Сонця відносно сонячного фотомодуля (б)

Нахил до горизонту ( $\beta$ ) створюється між горизонтальною площиною та сонячною панеллю. Наприклад, при монтажі на похилому даху кут нахилу панелі визначається крутизною схилу даху.

Азимут ( $\alpha$ ) характеризує відхилення поглинаючої площини сонячного фотомодуля від південного напрямку, при орієнтуванні сонячної панелі точно на південь азимут  $\alpha=0^\circ$  (рис. 3.4).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

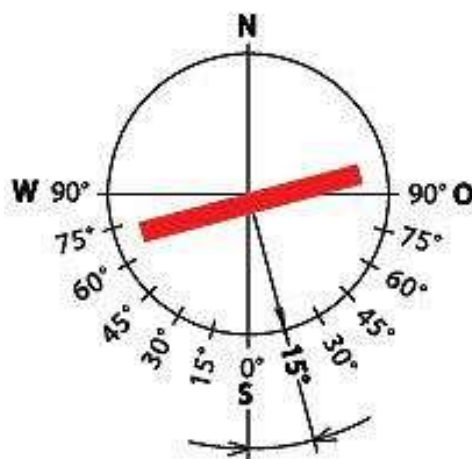


Рисунок 3.4 – Положення сонячного фотомодуля згідно кута азимуту

Кут падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню, що має певне значення азимуту  $\alpha$  та кут нахилу  $\beta$  знаходимо, застосовуючи матрицю повороту в декартовій системі координат [18]. Загальний вигляд рівняння буде наступним:

$$[S'] = [\zeta] \cdot [\lambda] \cdot [\phi] \cdot [\Phi] \cdot [S], \quad (3.12)$$

де  $\Phi$  – матриця трансформації координат щодо географічної широти;

$S'$  – вектор променів Сонця щодо центру сонячної панелі;

$S$  – вектор променів Сонця щодо центру Землі;

$\zeta, \lambda, \phi$  - матриці повороту механізму в декартовій системі координат сонячного фотомодуля (рис. 3.5) по осях зміщення (рис. 3.6).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

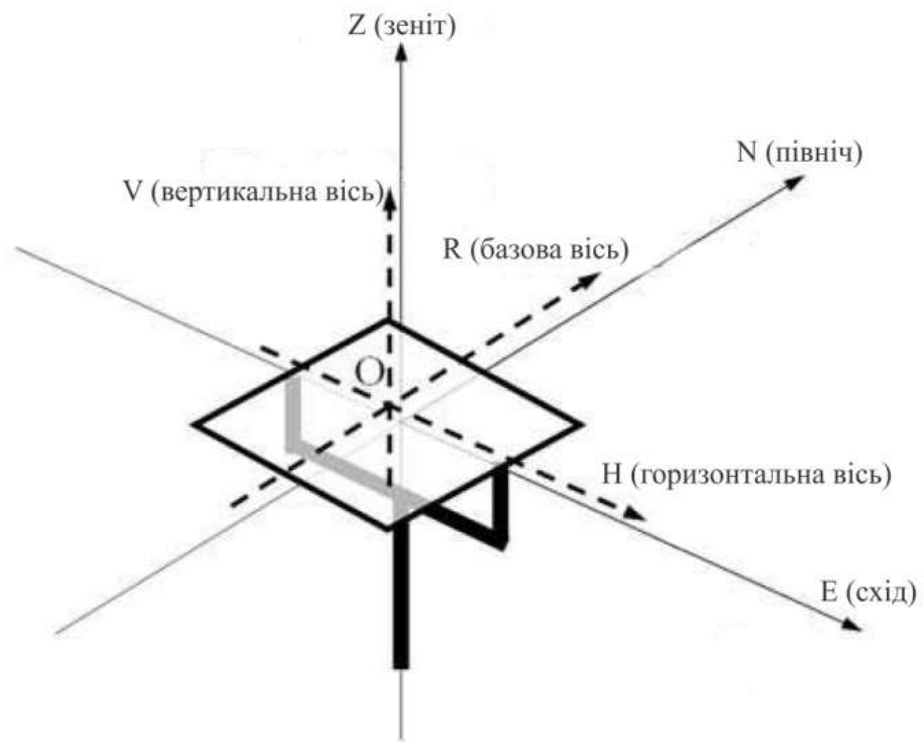


Рисунок 3.5 – Система координат сонячного фотомодуля

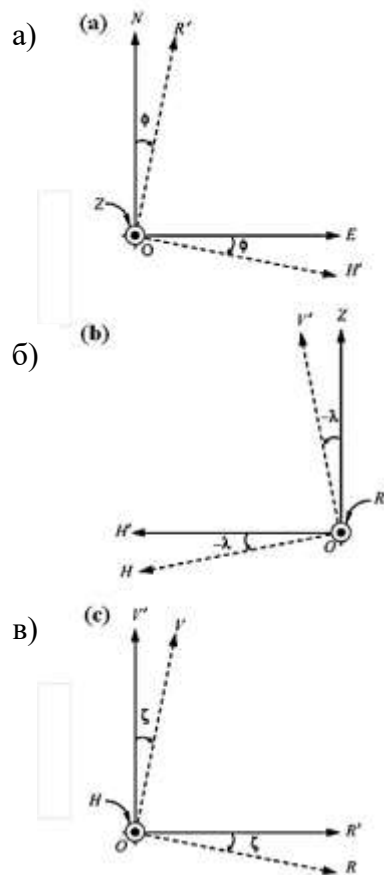


Рисунок 3.6 - Кути зміщення відносно вісей сонячної панелі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \sin \beta \\ \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} = \\
& = \begin{bmatrix} \cos \zeta \cos \lambda & -\cos \zeta \sin \lambda \cos \phi + \sin \zeta \sin \phi & \cos \zeta \sin \lambda \sin \phi + \sin \zeta \cos \phi \\ \sin \lambda & \cos \lambda \cos \phi & -\cos \lambda \sin \phi \\ -\sin \zeta \cos \lambda & \sin \zeta \sin \lambda \cos \phi + \cos \zeta \sin \phi & -\sin \zeta \sin \lambda \sin \phi + \cos \zeta \cos \phi \end{bmatrix} \times \\
& \times \begin{bmatrix} \cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \sin \Phi \sin \delta \\ -\cos \delta \sin \omega \\ -\sin \Phi \cos \delta \cos \omega + \cos \Phi \sin \delta \end{bmatrix} \quad (3.13)
\end{aligned}$$

Згідно рис.3.3 та рис.3.5 було складено матриці повороту сонячного фотомодуля для відповідних осей і підставлено у (3.2). Відповідно було отримано:

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \sin \beta \\ \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \zeta & 0 & \sin \zeta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \zeta & 0 & \cos \zeta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \lambda & -\sin \lambda & 0 \\ \sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \\
& \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \Phi & 0 & \sin \Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \Phi & 0 & \cos \Phi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \omega \\ -\cos \delta \sin \omega \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (3.16)
\end{aligned}$$

Перемноживши матриці, було отримано наступну залежність, що має вигляд.

Перетворивши рівняння 3.16 для  $\alpha$ , було отримано:

$$\alpha = \arcsin \left[ \begin{array}{l} (\cos \delta \cos \omega (\cos \zeta \cos \lambda \cos \Phi - \cos \zeta \sin \lambda \sin \phi \sin \Phi - \\ - \sin \zeta \cos \phi \sin \Phi) \\ - \cos \delta \sin \omega (\sin \zeta \sin \phi - \cos \zeta \sin \lambda \cos \phi) \\ (\sin \delta (\cos \zeta \cos \lambda \sin \Phi + \cos \zeta \sin \lambda \sin \phi \cos \Phi + \\ + \sin \zeta \cos \phi \sin \Phi) \end{array} \right] \quad (3.17)$$

Перетворивши рівняння 3.13 для  $\beta$ , було отримано:

$$\beta = \arcsin \left[ \frac{\cos \delta \cos \omega (\sin \lambda \cos \Phi + \cos \lambda \sin \phi \sin \Phi - \cos \delta \sin \omega \cos \lambda \cos \phi + + \sin \delta (\sin \lambda \sin \Phi - \cos \lambda \sin \phi \cos \Phi)}{\cos \alpha} \right] \quad (3.18)$$

Знехтувавши параметрами трансформації координат, можна прийняти, що  $\zeta = \lambda = \phi = 0$ . Тоді, відповідно спростивши формулу (3.15), було отримано рівняння руху системи в горизонтальній площині:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arcsin(\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \omega \cos \Phi) \quad (3.19)$$

Аналогічно для  $\beta$  отримано

$$\beta = \arcsin \left( - \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad (3.20)$$

### 3.3 Висновки до третього розділу

В цьому розділі проведено розрахунки, що підтверджують працездатність системи позиціонування сонячних батарей.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Отримано залежність потужності сонячної батареї від куту падіння променів. Розроблено фізичну та математичну моделі азимутально - екліптичної системи позиціонування за Сонцем.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

## ВИСНОВКИ

В першому розділі проведено огляд технологічних та технічних рішень щодо питання сонячної енергетики. Було проаналізовано методи та технологію отримання електричної енергії перетворенням сонячної. Розглянуто основні типи конструкцій систем позиціонування панелей та способи їх наведення.

Другий розділ присвячено розробці системи позиціонування сонячних батарей. Проведено розробку структурної та кінематичної схем системи позиціонування сонячної панелі. Здійснено проєктування конструкції механізму повороту фотоелектричного модуля. Проведено розробку електричної принципової схеми.

В третьому розділі проведено розрахунки, що підтверджують працездатність системи позиціонування сонячних батарей.

В результаті розрахунків було отримано залежності положення сонячного модуля від положення Сонця. За отриманими залежностями можна визначати траєкторію руху сонячного модуля. Знаючи кутові параметри руху Сонця для певної місцевості можна визначити потрібне положення сонячного модуля для даного часу і порівняти їх із дійсними значеннями, що були виміряні. Це дасть можливість визначити похибки позиціонування, а значить і ефективність сонячної панелі.

Розроблено фізичну та математичну моделі азимутально - екліптичної системи позиціонування за Сонцем.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Клименко Л.П. Системи технологій: навчальний посібник. / Клименко Л.П., Соловйов С.М., Норд Г.Л.; Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. – 600 с.
2. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/usepk>.
3. Сонячні елементи на базі напівпровідникових матеріалів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://physics-energy.karazin.ua/resources/650362e67dbf0b6c5fd43222d345b3d5.pdf>
4. Переваги та недоліки галузі сонячної енергетики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/perevagi-ta-nedoliki-galuzi-sonyachnoi-energetiki/>
5. Модель сонячної батареї в середовищі Simulink [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/161834753.pdf>.
6. Goetzberger A. Photovoltaic materials, history, status and outlook [Текст]/ Goetzberger A. // Material Science and Engineering. – 2003. – №40. – pp.1-46.
7. Green M.A. Photovoltaics: technology overview [Текст] / Green M.A. // Energy Policy. – 2000. – №28(14). – pp. 989-998.
8. Roedem, B. Thin-film PV module review: Changing contribution of PV module technologies for meeting volume and product needs [Текст]/ Roedem, B // Refo-cus. – 2000. – №7(4). – pp.34-39.
9. Kazmerski L.L. Photovoltaics: A review of cell and module technologies [Текст] / Kazmerski L.L. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 1997. – №1(1,2). – pp.71–170.
10. Solar Choice Staff: Solar trackers [Електронний ресурс] / Solar Choice Staff. Режим доступу: <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

11. Sensorless Control of a Polar-Axis Photovoltaic Tracking System [Текст] John T. Agee and Adisa A. Jimoh. //Tshwane University of Technology P. Bag X680 Pretoria 0001, South Africa.

12. Advantages of dual-axis trackers [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://arizonaenergy.org/News\\_10/News\\_Nov10/Dual-AxisTrackingGeneratesMorePower.html](http://arizonaenergy.org/News_10/News_Nov10/Dual-AxisTrackingGeneratesMorePower.html).

13. David Cooke. Single vs. Dual Axis Solar Tracking [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://altenergy\\_mag.com/emagazine/2011/04/single-vs-dual-axis-solar-tracking/1690](http://altenergy_mag.com/emagazine/2011/04/single-vs-dual-axis-solar-tracking/1690).

14. Types Of Mounting Systems [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://sedonasolartechnology.com/types-of-mounting-systems/>

15. Терміни окупності сонячних батарей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://axiomplus.com.ua/ua/news/solnechnye-paneli-dlya-zarabotka/>

16. Видимий річний рух Сонця [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://astro-ifmi.org.ua/content/view/10/3/>

17. Орієнтація та кут нахилу сонячних колекторів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.solarsoul.com.ua/2017/07/12/oriyentaciya-ta-kut-naxilu-sonyachnix-kolektoriv/>

18. Матриця\_повороту [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%83](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%83)

19. Гураль Д. О. Розробка автоматизованої системи орієнтації геліоустановки : кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю „141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка“ / Д. О. Гураль. - Тернопіль : ТНТУ, 2021. - 61 с.

20. Класифікація сервоприводів: все, що про них потрібно знати. [Електронний ресурс] Режим доступу:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

<https://modelistam.com.ua/ua/klassifikatsiya-servoprivodov-vse-chto-nih-nujno-znati-a-258/>.

21. William David Lubitz. Effect of Manual Tilt Adjustments on Incident Irradiance on Fixed and Tracking Solar Panels [Текст] / William David Lubitz // Applied Energy. – 2011. – №88. – pp. 1710-1719.

22. NPN SILICON POWER TRANSISTOR TIP41C [Електронний ресурс] . Режим доступу: <http://www.drixsemi.com/TIP41C.PDF> – Last access: 2013. – Title from the screen.

23. Backtracking [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.lauritzen.biz/static/solutions/backtracking.pdf>.

24. Борн М. Основы оптики / М.Борн, З.Вольф: пер.с англ. – М.: Наука. – 720 с.

25. NOAA Solar Calculator [Електронний ресурс]. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>.

26. Сонячна установка тарільчатого типу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://solar.pp.ua/sonyachna-ustanovka-tarilchastogo-tipu.html/>

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# Додатки

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63