

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет комп'ютерних систем і автоматики  
(повне найменування інституту)  
Кафедра метрології та промислової автоматики  
(повна назва кафедри)

## **Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній ступень)

на тему Система контролю електричних параметрів сонячних панелей

Виконав: студент 2 курсу, групи КІВТ-18  
спеціальності 152 – Метрологія та  
інформаційно-вимірювальна техніка  
(освітня програма: комп'ютеризовані  
інформаційно-вимірювальні технології)

(шифр і назва спеціальності)

Дишкант Б.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. ст.викл. Дудатьєв І.А

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. проф. Лисенко Г.Л

(прізвище та ініціали)

Вінниця - 2019 року

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних систем і автоматики

Кафедра метрології та промислової автоматики

Освітній ступень магістр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(освітня програма: комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології)

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МПА

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Дишкант Богдан Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система контролю електричних параметрів сонячних панелей

керівник роботи к.т.н.,ст. викл. Дудатьєв І.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” вересня 2019 року №254

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

3. Вихідні дані до роботи 1. Діапазон повороту по горизонталі установки 0-180°

2. Діапазон роботи по вертикалі 10 -90°

3. Сумарна похибка 2 %

4. ККД 64%

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд та аналіз з питання перетворення сонячної енергії.

2. Аналіз та порівняння сучасних систем стеження за рухом сонця.

3. Реалізація апаратної частини системи контролю електричних параметрів сонячних панелей.

4. Математичне представлення сонячних панелей як детермінованої лінійної системи з зосередженими параметрами.

5. Синтез загальної принципової схеми.

6. Економічна частина.

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

Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання

Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема

Додаток В (обов'язковий) Схема механічної частини трекера

Додаток Г (обов'язковий) Схема основного каналу трекера

Додаток Д (обов'язковий) Схема додаткового каналу трекера

Додаток Е (обов'язковий) Схема електрично принципова трекера

Додаток Є (обов'язковий) Алгоритм програми

Додаток Ж (обов'язковий) Лістинг програми

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н.ст. викл. Дудатьєв І.А.	02.09.2019	18.09.2019
2	к.т.н.ст. викл. Дудатьєв І.А.	18.09.2019	30.09.2019
3	к.т.н.ст. викл. Дудатьєв І.А.	30.09.2019	15.10.2019
4	к.т.н.ст. викл. Дудатьєв І.А.	15.10.2019	19.10.2019
5	к.т.н.ст. викл. Дудатьєв І.А.	19.10.2019	25.11.2019
6	к.т.н.,доц. Ратушняк О.Г.	25.11.2019	03.12.2019

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз з питання перетворення сонячної енергії.	02.09.2019 18.09.2019	
2	Аналіз та порівняння сучасних систем стеження за рухом сонця.	18.09.2019 30.09.2019	
3	Реалізація апаратної частини системи контролю електричних параметрів сонячних панелей.	30.09.2019 15.10.2019	
4	Математичне представлення сонячних панелей як детермінованої лінійної системи з зосередженими параметрами.	15.10.2019 19.10.2019	
5	Синтез загальної принципової схеми.	19.10.2019 25.11.2019	
6	Економічна частина.	25.11.2019 03.12.2019	

Студент \_\_\_\_\_ Дишкант Б.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ к.т.н.ст.викл. Дудатьєв І.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ З ПИТАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ .....	12
1.1 Сонячна енергетика .....	12
1.2 Будова фотоелемента.....	13
1.3 Принцип дії сонячного елемента .....	16
1.4 Перелік елементів з яких складається сонячна панель.....	17
1.5 Види сонячних батарей .....	18
1.6 Види сонячних електростанцій.....	24
1.7 Принцип роботи сонячної установки .....	29
1.8 Фактори, що впливають на ефективність сонячних батарей .....	32
1.9 Висновок .....	33
2 АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ЗА РУХОМ СОНЦЯ .....	34
2.1 Пасивні трекери .....	34
2.2 Активні трекери .....	36
2.2.1 Сонячна панель на основі мікропроцесора та електрооптичного сенсор.....	37
2.2.2. Допоміжна двохстороня сонячна панель в сонячній батареї.....	46
2.3 Висновки .....	51
3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	52
3.1 Вибір (обґрунтування) комплексу технічних засобів .....	56
3.2 Оцінка ефективності пропонованої системи.....	59
3.3 Висноки .....	60
4 МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ ЯК ДЕТЕРМІНОВАНОЇ ЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	61
4.1 Загальні відомості про сонячні трекери .....	61

4.2	Математична модель сонячного випромінювання.....	64
4.3	Математичний розрахунок ефективності сонячних трекерів.....	66
4.4	Висновки .....	70
5	СИНТЕЗ ЗАГАЛЬНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИ ПАНЕЛЕЙ .....	71
5.1	Порівняння структурних схем .....	71
5.2	Рівняння перетворення .....	75
5.3	Аналіз та розробка схеми з'єднання основних блоків системи .....	78
5.4	Програмна реалізація.....	83
5.5	Аналіз та оцінення похибок вимірювань.....	83
5.6	Висновки .....	85
6	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	86
6.1	Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	86
6.2	Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи .....	93
6.3	Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	100
6.4	Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	101
6.5	Висновки до економічного розділу .....	103
	ВИСНОВКИ .....	105
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	106
	ДОДАТКИ .....	111
	Додаток А(обов'язковий) Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу .....	113
	Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу .....	113
	Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема .....	115
	Додаток В(обов'язковий) Схема механічної частини трекера .....	116
	Додаток Г(обов'язковий) Перелік елементів.....	117
	Додаток Д (обов'язковий) Схема основного каналу трекера.....	118
	Додаток Е (обов'язковий) Перелік елементів .....	119

Додаток Є (обов'язковий) Схема додаткового каналу трекера.....	120
Додаток Ж (обов'язковий) Перелік елементів .....	121
Додаток З (обов'язковий) Схема електрично принципова .....	122
Додаток И (обов'язковий) Перелік елементів.....	123
Додаток І (обов'язковий) Алгоритм роботи програми.....	124
Додаток ІІ (обов'язковий) Лістинг програми.....	125

## ВСТУП

**Актуальність.** Дана тем є актуальна тим що з часом зростає все більший розвиток відновлювальної енергетики яка має велике значення для людства. Так як горючі корисні копалини, які використовують основою виробництва енергії, забруднюють навколишнє середовища та мають негативний вплив на наше здоров'я, а також мають обмежені запаси, які з часом закінчуються.

Сонце є центром сонячної системи а також, невичерпне джерело енергії, потенціал якого людству ще належить гідно оцінити. Сонячна енергія є однією з тих альтернатив, ігнорування яких у недалекому майбутньому зумовить настання катастрофічних наслідків для людства. Сонячна енергетика – це є прогресивний метод отримання різного виду енергії, використовуючи сонячне випромінювання.

Встановлення сонячних панелей на рухомі треки , які повертаються за сонцем, дає змогу значно підвищити ефективність використання сонячної енергії.

**Об'єктом дослідження** є процес перетворення сонячної енергії у електричну шляхом використання сонячних панелей.

**Предметом дослідження** є методи та засоби перетворення сонячної енергії у електричну шляхом використання сонячних панелей.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності перетворення сонячної енергії у електричну шляхом зменшення втрат протягом дня та розробки засобів стеження за рухом сонця.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

– здійснити аналіз існуючих джерел відновлювальної енергії, виділити способи, методи, підходи перетворення сонячної енергії у електричну, визначивши найбільш перспективні для подальших досліджень.

– здійснити аналіз існуючих засобів перетворення сонячної енергії у електричну, визначивши найбільш перспективні для подальших досліджень та реалізації.

– вдосконалити перетворення сонячної енергії у електричну, додавши систему слідкування за рухом сонця залежно від кута падіння світла.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає у наступному:

Як відомо, для отримання максимальної потужності від сонячних панелей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. Тому запропоновано модифіковану систему стеження за сонцем, особливістю даної системи є те що було розроблено програмне забезпечення яке управляє рухом трекера по азимутальних і зенітних кутах. А також було встановлено на трекер фотоприймачі які управляють двигунами і рухаються за сонцем. В результаті підвищується ефективність використання сонячної енергії протягом дня, а також підвищується коефіцієнт корисної дії сонячної панелі.

**Практичне значення результатів роботи.** Створені моделі, алгоритми, програмні засоби можуть бути використані для подальшого підвищення ефективності шляхом розробки нових методів та засобів у галузі використання альтернативних джерел енергії.

**Апробація результатів роботи.** Були представлені на XLVII науково-технічні конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики 2018 р. Тема доповіді “Актуальність задачі підвищення ККД сонячних панелей”. А також на XLVIII Науково-технічній конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики 2019 р. Тема доповіді «Модифікована система стеження за сонцем». Та на п'ятій Міжнародні наукові конференції ВКДТС – 2019. Тема доповіді «Метод підвищення ККД сонячних панелей».

**Джерела розробки:**

1. Положення про магістерську кваліфікаційну роботу // Романюк О.Н., Лисенко Г.Л., Обертюк Р.Р., Видмиш А.А., Громова Л.П. – ВНТУ, Вінниця, – 2010. 16с.



2. Будько В.І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії: Підручник/ В.І. Будько - Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2000р.

3. Харченко В. В. Система слеження за сонцем / В. В. Харченко, Б. А. Никитин, П. В. Тихонов, Г. Н. Узаков // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2017.

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ З ПИТАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

## 1.1 Сонячна енергетика

Стрімкий розвиток суспільства, науки та техніки, який спостерігається протягом останніх десятиліть, зумовив величезний попит на енергоресурси. Вся сфера життя зосереджена на використанні електрики і з кожним днем людство все більше потребує її. Зростання необхідності в електроенергії при ресурсних і екологічних обмеженнях стає вже критичним фактором подальшого розвитку суспільних сфер життєдіяльності нашої економіки. На даному етапі розвитку енергетики все більш значуще місце посідає відновлювана, яка в подальшому взагалі може витіснити традиційну.

Питання електроефективності для України є особливо актуальним, оскільки споживання енергетичних ресурсів у нашій країні зорієнтовано на традиційні невідновлювані джерела енергії, до того ж Україна імпортує близько 50% електроенергії за високими цінами, що є дуже не вигідним для економіки. Тому аналіз сучасного стану та проблемних аспектів розвитку альтернативної енергетики в Україні є актуальною темою дослідження.

Сонячна енергетика (геліоенергетика – альтернативна назва) заснована на перетворенні прямого сонячного випромінювання на теплову та електричну енергію. Наразі нас цікавить сонячна фотоенергетика, що використовує пряме перетворення сонячної радіації в електричну енергію за допомогою фотоелементів. За встановленою потужністю сонячні перетворювачі можуть мати від декількох сотень Ват (встановлених на даху будинку) до понад 100 МВт (промислові електростанції). Основними перевагами сонячної енергії порівняно з традиційними невідновлюваними джерелами є: доступність і невичерпність джерела; повна безпека для навколишнього середовища; ефективне використання як прямого, так і розсіяного сонячного випромінювання; можливість створення установок

практично будь-якої потужності; досить великий термін служби установок (до 50 років). Основними недоліками сонячної енергії є: використання великих площ землі під електростанції; залежність потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов; висока ціна сонячних фотоелементів, що містять отруйні речовини, такі як свинець, кадмій, галій, миш'як тощо[1].

Потенціал сонячної енергії в нашій країні є достатньо високим для широкого впровадження сонячних модулів практично на всій її території. Виходячи з цього ми розуміємо що є великий потенціал для розробки сонячних систем. Тому в наступних пунктах буде детально описано будову та роботу сонячної установки.

## 1.2 Будова фотоелемента

На рисунку 1.1 показано, що верхній шар р-n переходу, який має надлишок електронів, з'єднаний з металевими пластинами, які виконують роль позитивного електрода, пропускаючи світло і додаючи елементу додаткову жорсткість.

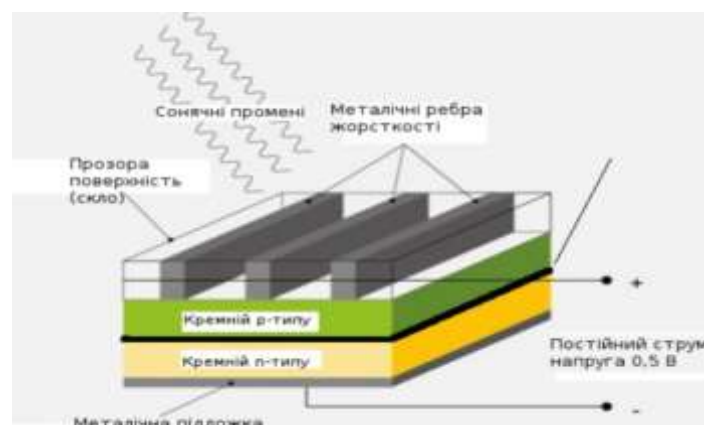


Рисунок 1.1 – Будова фотоелемента

Будова найпростішого фотоелементу. Береться звичайний напівпровідник – дві пластини, приєднані одна до одної. Вони вироблені з кремнію з додаванням в кожен з них певних домішок, завдяки яким отримуються елементи з потрібними властивостями: перша пластина має надлишок валентних електронів, друга ж, навпаки, їх недовік. У підсумку, в напівпровіднику є шар негативно заряджений і шар позитивно заряджений, тобто шари «n» і «p».

Нижній шар в конструкції сонячної батареї має нестачу електронів, до нього приклеєна суцільна металева пластина, що виконує функцію негативного електрода.

ККД залежить від технології, за якою виконаний p-n перехід. Найбільш вживаними та такими, що мають найбільший відсоток ККД, продовжують бути сонячні батареї, виготовлені на основі монокристалу або полікристалу кремнію. Причому другі через відносну дешевизну стають дедалі поширенішими.

До якого типу конструкції сонячна батарея відноситься можна визначити неозброєним оком. Монокристалічні мають виключно чорно-сірий колір, а моделі на основі полікристалу кремнію виділяють синю поверхню. Полікристалічні сонячні батареї, що виготовляються методом лиття, виявилися дешевшими у виробництві. Проте і в полі, і в монокристалічних пластин є один недолік - конструкції сонячних батарей на їх основі не мають гнучкості, яка в деяких випадках не завадить[2].

Матеріали для ефективних сонячних панелей повинні бути узгоджені з характеристиками спектру освітлення. Низька концентрація сонячної енергії передбачає покриття фотогальванічними елементами значних площ, а отже виготовлення достатньої кількості кремнію для таких елементів. Для продукування сонячних фотоперетворювачів використовують й інші напівпровідники, проте в масовому виробництві відносно дешевий кремній з його практично невичерпними запасами сировини не має і в найближчій перспективі не матиме конкурентів.

Фотоелементи виготовляють з різноманітних напівпровідникових матеріалів. В даний час використовується для фотоелектричних сонячних елементів такі матеріали: монокристалічний кремній, полікристалічний кремній, аморфний кремній, телурид кадмію, арсенід галію, сульфат кадмію і ін. Процес виготовлення фотоелемента близький до процесів виготовлення інших напівпровідників.

Чистий кремній у виробництві пластин для сонячних елементів майже не використовується. Найчастіше в якості домішок для виготовлення пластини, що виробляє позитивний заряд, використовується бор, а для негативно заряджених пластин миш'як. Крім них при виробництві сонячних елементів все частіше використовуються такі компоненти, як арсенід, галій, мідь, кадмій, телурид, селен та інші. Завдяки ним сонячні елементи стають менш чутливими до перепадів оточуючих температур.

У космічних апаратах використовуються також багатоперехідні сонячні елементи або гетерофотоелементи. Такий елемент складається з декількох р-п переходів (AlGaAs-GaAs), кожен з яких вловлює світло певного спектру. Такі сонячні елементи досягають найвищої ефективності – 35 %. Велика складність виготовлення таких пристроїв робить їх малопоширеними.

Більшість сонячних батарей можуть накопичувати енергію, представляючи собою так звані системи. Враховуючи, що фотоелектричні елементи виробляють електричний струм тільки при прямому впливі сонячних променів або світла, вночі або в похмурий день вони стають практично безкорисними. З системами на сонячних батареях все по-іншому. Вони обладнані акумулятором, здатним накопичувати електричний струм вдень, коли сонячна батарея його виробляє, а вночі накопичений заряд може віддаватись споживачам .

Для підвищення ефективності перетворення світла також використовують концентрувальну оптику.

У наш час ведуться дослідження по створенню гнучких плівкових сонячних елементів, а також напівпровідникових фарб, використанню органічних напівпровідників.

### 1.3 Принцип дії сонячного елемента

Принцип роботи сучасних фотоелементів базується на напівпровідниковому р-п переході. При поглинанні фотона в області, яка прилягає до р-п переходу, створюється пара носіїв заряду: електрон і дірка. Одна із цих часток є неосновним зарядом і з великою ймовірністю проникає крізь перехід. В результаті створені завдяки поглинанню енергії фотона заряди розділяються в просторі й не можуть рекомбінувати. Як наслідок порушується рівновага густини зарядів. При під'єднанні елемента до зовнішнього навантаження у колі протікає струм. Принцип роботи фотоелемента показано на рисунку 1.2.

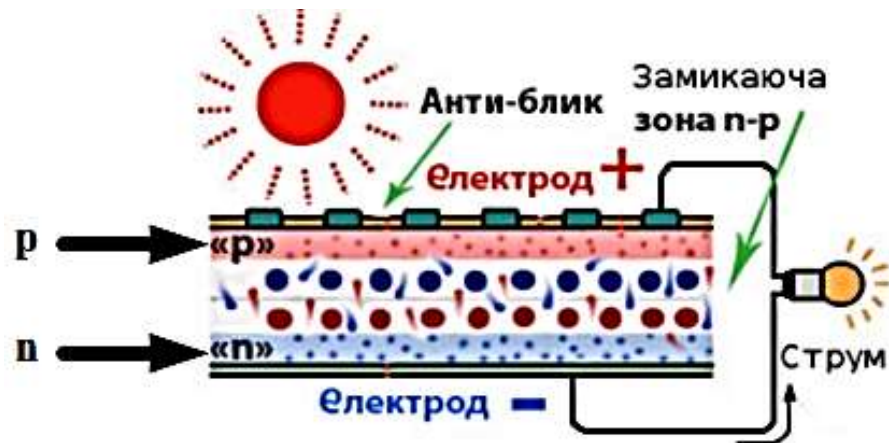


Рисунок 1.2 – Принцип роботи сонячного елемента

На самій межі дотику певних пластин є зона замикаючого шару. Цей шар протидіє переходу надлишкових електронів з шару «п» у шар «р», де даних 17 електронів не вистачає (місця з відсутніми електронами називають

дірками). Якщо підключити до подібного напівпровідника зовнішнє джерело живлення («+» до «р» і «-» до «п»), то зовнішнє електричне поле змусить електрони подолати замикаючу зону і через провідник потече струм.

Щось подібне відбувається і при дії сонячного випромінювання на сонячний елемент. Коли фотон світла влітає в шари «п» і «р», він передає свою енергію електронам (що знаходяться на зовнішній оболонці атомів), котрі вивільнюються, а на їх місці з'являється дірка. Електрони з отриманою енергією вільно долають замикаючий шар напівпровідника і переходять з шару «р» в шар «п», а дірки, навпаки, переходять з шару «п» у шар «р».

Цьому переходу електронів їх області «р» в область «п» і дірок з області «п» у область «р», також сприяють електричні поля позитивних зарядів, що знаходиться в зоні «п» провідника і негативних - в зоні «р», які ніби втягують в себе, одні - електрони, інші - дірки. У підсумку, шар «п» набуває додаткового негативного заряду, а «р» - позитивного. Результатом цього явища буде поява в напівпровіднику різниці потенціалів (напруги) між двома пластинами близької до 0.5 В.

Сила електричного струму, який може генерувати сонячний елемент, змінюється пропорційно кількості захоплених поверхнею фотоелемента фотонів. Цей показник, у свою чергу, також залежить від безлічі додаткових чинників: інтенсивності світлового випромінювання, площі, що має фотоелемент, часу експлуатації, ККД пристрою, що залежить від температури (при її підвищенні, провідність фотоелемента значно падає) [3].

Але як додаткове джерело електроенергії сонячні елементи (батареї) прекрасно можуть використовуватися в тих місцях, де потрібні невеликі потужності і немає можливості підключитися до міської електромагістралі. При поєднанні роботи сонячного елемента і електричного акумулятора, виходить повністю автономна система електропостачання.

#### **1.4 Перелік елементів з яких складається сонячна панель**

Сонячна батарея складається із окремих сонячних елементів, які з'єднуються послідовно і паралельно для того, щоб збільшити вихідні параметри (струм, напруга і потужність). При послідовному з'єднанні елементів збільшується вихідна напруга, при паралельному – вихідний струм. Для того, щоб збільшити і струм і напруга комбінують два цих способу з'єднання. Крім того, при такому способі з'єднання вихід з ладу одного з сонячних елементів не призводить до виходу з ладу всього ланцюжка, тобто підвищує надійність роботи всієї батареї. Таким чином, сонячна батарея складається з паралельно-послідовно з'єднаних сонячних елементів. Величина максимально можливого струму, що віддається батареєю прямо пропорційна кількості паралельно включених, а е. р. с. послідовно включених сонячних елементів. Так комбінуючи типи з'єднання збирають батарею з необхідними параметрами.

Сонячні елементи батареї шунтуються діодами. Діоди оберігають від виходу з ладу частини батареї, які з якоїсь причини виявилися затемненими, тобто якщо в якийсь момент часу світло на них не потрапляє. Батарея при цьому тимчасово генерує на 25% меншу вихідну потужність, ніж при нормальному освітленні сонцем всієї поверхні батареї. При відсутності діодів ці сонячні елементи будуть перегріватися і виходити з ладу, так як вони на час затемнення перетворюються в споживачів струму (аккумулятори розряджаються через сонячні елементи), а при використанні діодів, вони шунтуються і струм через них не йде. Діоди повинні бути низькоомними, щоб зменшити на них падіння напруги. Для цих цілей більшість використовують діоди Шотткі [4].

### **1.5 Види сонячних батарей**

На рисунку 1.3, показана класифікація сонячних панелей.



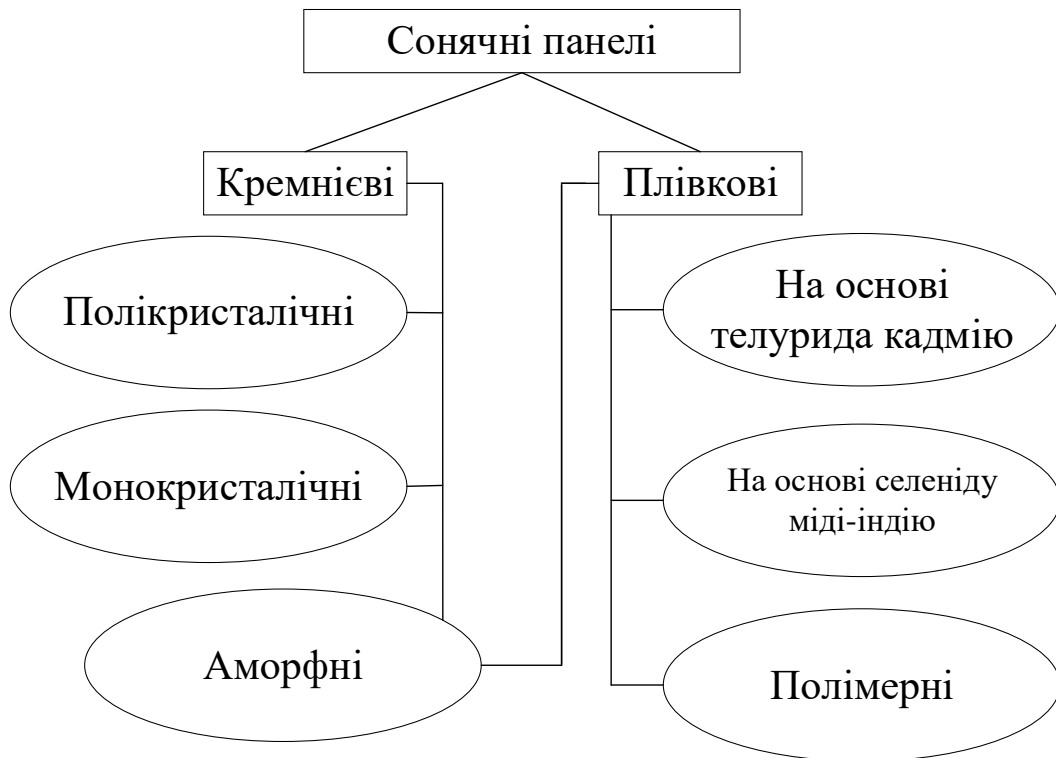


Рисунок 1.3 – Класифікація сонячних панелей

#### Тонкоплівкові сонячні батареї

Тонкоплівкові батареї складаються з натягнутих плівок, які легко можна встановити в будь-яке зручне місце. Не бояться пилу й можуть працювати навіть у несприятливих умовах. У хмарну погоду їх ефективність знижується на 20%. Недорогі, але вимагають великої площі для установки.



Рисунок 1.4 – Тонкоплівкова сонячна батарея.

### Монокристалічні батареї.

Даний вид батарей виготовляється з великої кількості індивідуальних гнізд, які заливаються силіконом. Завдяки такій гідроізоляції вони ефективно застосовуються в судноплавстві. Також їх можна встановлювати на покрівлях. Природно, сонячна сторона даху буде більш ефективно працювати, але якщо з якихось причин не можна вс тановити батареї на південній стороні їх можна перемістити на більш затінений скат. При цьому потрібно пам'ятати про те, що розсіяне світло менш ефективно.

### Сонячні панелі з телуриду кадмію



Рисунок 1.5 – Сонячна панель з телуриду кадмію

Виготовляються на основі плівкової технології. Напівпровідникову плівку наносять тонким шаром у кілька сотень мікрметрів. Ефективність елементів з телуриду кадмію невелика, ККД близько 11%. Проте, в порівнянні з кремнієвими панелями, ват потужності цих батарей обходиться на кілька десятків відсотків дешевше.

### Полімерна сонячна батарея



Рисунок 1.6 – Полімерна сонячна панель

#### Особливості полімерної сонячної батареї

**Дешевизна.** Ціна на полімерні сонячні батареї приблизно в два рази дешевше, ніж на кристалічні варіанти. Це робить енергію сонця значно доступнішою для пересічної людини.

**Зручність.** Полімерні сонячні панелі можна легко гнути, різати ножем чи клеїти на будь-які поверхні. Це дозволяє використовувати такі установки в будь-яких похідних умовах, підвищити їх мобільність і навіть заряджати пристрої на ходу.

**Екологічне виробництво.** Виготовлення полімерних панелей повністю безпечне для навколишнього середовища. По дослідження вчених викиди від виготовлення таких установок на 3/4 менше ніж від кремнієвих варіантів.

Не надто високий коефіцієнт корисної дії. Поки що максимум, чого вдалося досягти вченим – 5-6%. Це менше ніж у кремнієвих аналогів. Але прогрес не стоїть на місці і полімерні сонячні батареї постійно розвиваються, що дозволяє стверджувати про створення в найближчому майбутньому моделей потужніших за кремнієві аналоги.

Панель з селеніду міді-індію

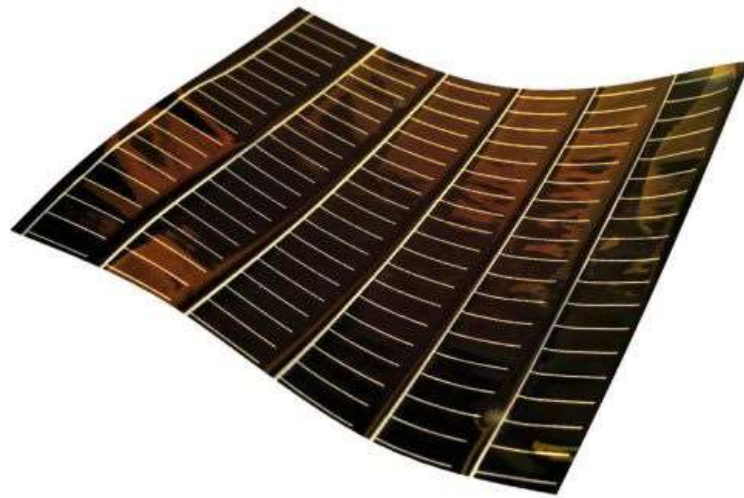


Рисунок 1.7 – Панель з селеніду міді-індію

Одна назва говорить про те, що виробники для створення фоточутливої пластини використовують такі матеріали: Селенід, Мідь, Індій.

Деякі з компаній замінюють невелику кількість елементів індію галієм. Причиною такого підходу є часте застосування його у виробництві плоских моніторів. Галій має кілька схожі властивості. Однак ККД панелі з таким елементом стає менше.

Сонячна батарея на основі селеніду міді-індію здатна перетворити 15-20% падаючого на неї сонячного випромінювання в електричну енергію. Як видно, по ККД цей вид мало чим відстає від монокристаллической кремнієвої батареї з потужністю 100, 150 або 200 В [5]



Рисунок 1.8 – Монокристалічна сонячна панель.

Монокристалічні батареї мають відносно невелику масу, компактні в розмірах. Їх відрізняє гнучкість, мала вага, компактність, надійність і довговічність. Прості в монтажі, залежать від прямих сонячних променів. При цьому навіть легка хмарність може привести до припинення вироблення енергії.[6]

#### Полікристалічні сонячні батареї

Від монокристалічних відрізняються тим, що в гніздах перебувають кристали, спрямовані в різні сторони. Це дозволяє вловлювати розсіяне світло й менше залежати від прямого освітлення.



Рисунок 1.9 – Полікристалічна сонячна панель.

Вони випускаються у вигляді панелей шляхетного синього кольору.

При цьому вони трохи дешевші, ніж монокристалічні моделі. Їх успішно використовують для освітлення будинків, адміністративних будинків і навіть вулиць[7].

## 1.6 Види сонячних електростанцій

Потік сонячного проміння на Землю, який отримує енергію завдяки термоядерному синтезу в глибині Сонця – джерело більшості видів відновлюваної енергії.

Сонячна енергія може бути перетворена в електричну двома основними шляхами: термодинамічним і фотоелектричним.

При термодинамічному методі електричну енергію за рахунок використання сонячної енергії можна отримати використанням традиційних схем в теплових установках, в яких теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання.

Існують сонячні теплоелектростанції трьох типів:

- баштового типу з центральним приймачем
- парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал
- геліостатів зображена на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Сонячна термодинамічна електростанція баштового типу

– параболічного (лоткового) типу, де в фокусі параболоциліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймачі-труби з теплоносієм зображена на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Довгі параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала з трубами для розігрівання теплоносія

– тарілкового типу, коли в фокусі параболічного тарілкового дзеркала розташовується приймач сонячної енергії з робочою рідиною зображена на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Сонячна установка тарілкового типу

Станції баштового типу (рисунок 1.10) складаються з п'яти основних елементів: оптичної системи, автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератора, башти і системи перетворення енергії, яка включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори. Оскільки у такій електростанції використовується пряме сонячне випромінювання, концентруючі геліостати повинні мати систему слідкування за Сонцем, при цьому кожний з геліостатів орієнтується в просторі індивідуально. Світло від сотень великих дзеркал настільки яскраве, що викликає свічення пилу і вологи в повітрі, завдяки чому і помітні промені, оточуючі башту. Температура, яку можна отримати на вершині башти з допомогою дзеркальних концентраторів, складає  $300\text{--}1500^{\circ}\text{C}$ . В одному модулі можна отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину башти. Світова практика експлуатації станцій баштового типу довела їх технічну можливість і працездатність. Основним недоліком таких установок є значна площа, яку вони займають. Так, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна площа 200 га.

У сонячних електростанціях параболічного типу (рисунок 1.11) використовуються параболічні дзеркала (лотки), що концентрують сонячну енергію на приймальних трубках, які розташовані в фокусі конструкції і вміщують в собі рідинний теплоносій. Ця рідина нагрівається приблизно до  $400^{\circ}\text{C}$  і прокачується через ряд теплообмінників, при цьому виробляється перегріта пара, яка приводить в дію звичайний турбогенератор для вироблення електричної енергії. Станції параболічного типу використовуються все ширше завдяки більш простій системі слідкування за Сонцем і меншій металоємності. Питома вартість станцій параболічного типу близька до питомої вартості АЕС.

В установках тарілкового типу (рисунок 1.12) використовуються параболічні тарілкові дзеркала (схожі за формою на супутникову тарілку), які



фіксують сонячну енергію на приймачі, розташованому в фокусі кожної тарілки. Рідина в приймачі нагрівається до  $1000^{\circ}\text{C}$  і її енергія 10 використовується для вироблення електричної енергії в двигуні Стирлінга або в установці, що працює за циклом Брайтона. Установки мають систему слідування за Сонцем. Внаслідок ефекту аберації при відхиленні від ідеальної форми та інших конструктивних факторів максимальний діаметр тарілок не перевищує 20 м при потужності до 60–75 кВт. Питома вартість сонячної електростанції тарілкового типу може бути меншою, ніж електростанцій баштового і параболічного типів[8].

Сонячна фотоенергетика являє собою пряме перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Принцип дії фотоелектричного перетворювача базується на використанні внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках і ефекту ділення фотогенерованих носіїв зарядів (електронів і дірок) електронно-дірковим переходом або потенційним бар'єром типу метал-діелектрик-напівпровідник. Фотоелемент зображений на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Монокристалічний сонячний елемент

Фотоефект має місце, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент з двох матеріалів з різним типом електричної провідності (дірочної або електронної). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з його середовища, утворюючи вільний негативний заряд і «дірку». У результаті рівновага так званого р-n-переходу порушується і в колі виникає електричний струм[9].

При послідовно-паралельних з'єднаннях сонячні елементи утворюють сонячну (фотоелектричну) батарею. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, складає 50–300 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для створення фотоелектричних генераторів. Термін ефективної роботи таких станцій становить 20–30 років, а експлуатаційні витрати мінімальні.

Недоліком плоских фотоелементів для отримання електричної енергії є їх висока вартість (близько 0.75 у.о. / Вт) і значні площі, необхідні для розміщення фотоелектростанції.

Сонячні аеростатні електростанції можуть стати одним з можливих нових напрямків, які дозволять більш ефективно використовувати сонячну енергію. Основний елемент сонячних аеростатних електростанцій – аеростат – може бути виведеним на декілька кілометрів над поверхнею Землі, вище хмар, що забезпечить безперервне використання сонячної енергії на протязі дня.

Принципова схема роботи сонячної аеростатної електростанції (САЕС) з паровою турбіною полягає в поглинанні поверхнею аеростата сонячного випромінювання і нагрівання в результаті водяної пари, що знаходиться всередині. При цьому оболонка аеростата виконується двошаровою. Сонячні промені, проходячи через зовнішній прозорий шар, нагрівають внутрішній шар оболонки з нанесеним покриттям, яке поглинає сонячне випромінювання. Водяна пара, що знаходиться всередині оболонки, нагрівається тепловим потоком, який потрапляє через оболонку, до 100–150°C. Прощарок газу (повітря) між шарами, виконуючи роль теплоізоляції,

зменшує втрати теплоти в атмосферу. Тиск пари практично дорівнює тиску зовнішнього повітря. Водяна пара гнучким паропроводом подається на парову турбіну, потім конденсується в конденсаторі, вода з конденсатора знову подається помпами у внутрішню частину оболонки, де випарюється при контакті з перегрітою водяною парою. Ефективність такої установки може складати 25%, причому завдяки запасу водяної пари у внутрішній частині аеростата установка може працювати і вночі. При діаметрі аеростата 150 м і розміщенні на висоті 5 км установка може мати потужність 2 МВт [10].

Такі САЕС можуть розташовуватися в декілька сотень метрів над поверхнею Землі або над поверхнею моря із силовою установкою на платформах з якорем, до платформ також кріпиться аеростат. При розташуванні аеростата на висоті 5–7 км забезпечується робота САЕС незалежно від погодних умов. При цьому силова паротурбінна установка може розташовуватися на землі або в люльці аеростата з передачею електроенергії по кабелю на землю. На сьогодні існує досвід використання таких САЕС на Тайвані.

### 1.7 Принцип роботи сонячної установки

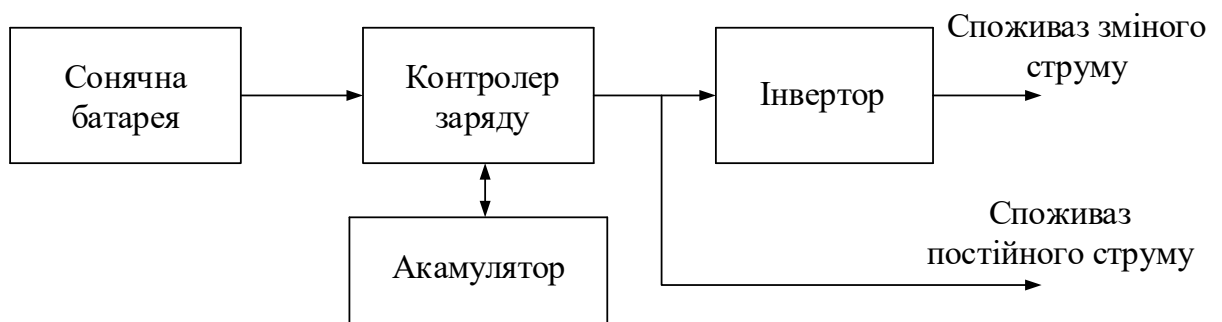


Рисунок 1.14 – Структурна схема принципу роботи сонячної установки

Сонячна система енергопостачання складається з таких елементів:

- сонячної батареї (фотоелектричного сонячного модуля);
- контролера заряду;
- акумуляторів;
- інвертора.

Тут пояснюється, як працює сонячна система енергопостачання. Сонячний модуль - це сукупність поєднаних між собою сонячних елементів, тобто напівпровідникових пристроїв, які перетворюють світлову енергію сонця в електричну. До складу фотоелектричного сонячного модуля входять оброблені моно-кремнієві пластини, вкриті спеціальною сполукою, що витримує будь-які несприятливі погодні умови (град, високі та низькі температури, перепади температур тощо). Розміщуються модулі на дахах будинків, офісів, гаражів або будь-яких інших поверхнях. Можливе використання модулів замість покрівлі будинку або разом з нею.

Контролер заряду - пристрій, призначений для управління режимами заряджання та розряджання акумуляторних батарей. Контролер заряду відіграє важливу роль в експлуатації системи; регулює заряд акумуляторів (що сприяє збільшенню терміну експлуатації об'єкта).

Акумулятор слугує для зберігання заздалегідь накопиченої енергії; акумуляторні батареї розраховані на досить велику кількість циклів заряджання-розряджання. Сьогодні гарантійний термін роботи акумуляторних батарей, що використовуються у сонячній енергетиці, становить від 5 до 10-12 років. Спеціальні акумулятори закритого типу (гелеві), які не потребують обслуговування, мають термін експлуатації до 15 років, що значно спрощує процес обслуговування установки. Принцип дії інвертора - пристрій, що перетворює постійний струм напругою 12 В у змінний струм напругою 220 В. Саме інвертор дає змогу жити електроенергією різні види електронної апаратури, комп'ютери, факсимільні апарати, аудіоапаратуру та інші види електрообладнання, а також прилади освітлення[11]. Для того, щоб сьогодні людство змогло задовольнити свої

потреби в енергоресурсах, щороку потрібно близько 10 млрд т у. п. (теплота згорання у. п. - 7000 ккал/кг). Якщо енергію, що надходить на нашу планету із Сонця за рік, перевести в умовне паливо, то ця цифра дорівнюватиме близько 100 трлн т, а це у 10 000 разів більше, ніж потрібно людству.

Вважається, що на Землі є запаси 6 трлн т різних вуглеводнів. Якщо це так, то їх енергію Сонце віддає планеті всього за три тижні. А резерви Сонця настільки величезні, що світити так само яскраво воно зможе ще близько 5 млрд років. Земні зелені рослини і морські водорості акумулюють приблизно 34 % енергії, що надходить від Сонця. Залишок витрачається - на підтримку комфортного для життя мікроклімату в глибинах океану і на поверхні Землі. І якби людина змогла узяти для свого внутрішнього вжитку хоч би 1 % (тобто 1 трлн т у. п. на рік), то це б вирішило багато проблем на тривалий термін. На сьогодні є теоретичні розробки способів акумуляції потрібної енергії.

До середини 70-х років ХХ ст. ККД сонячних елементів наблизився до 10 % і майже на два десятиліття залишався на цій межі. Для космічних кораблів цього цілком вистачало, а для наземного використання виробництво досить дорогих сонячних батарей порівняно зі спалюванням дешевої нафти виглядало нераціональним. Як наслідок, більшість розробок нових технологій у сфері сонячної енергетики були згорнуті, а фінансування тих, що залишилися, значно скоротилося. І лише з початку 1990-х років людство усвідомило необхідність їх поновлення.

На сьогодні рекордом ефективності сонячних батарей є 42,8 %. Такого вражаючого результату вдалося досягти завдяки комбінованій батареї на основі кристалічного кремнію на відкритій місцевості з природним сонячним світлом (не у лабораторії). У масових фотоелектричних панелях ККД становить приблизно 10-25 %. У межах програми "Сонячні батареї надзвичайно високої ефективності" науково-дослідного агентства Пентагона (БАКРА) створена нова панель сонячної батареї з ефективністю перетворення енергії Сонця у 50 % [12].

## 1.8 Фактори, що впливають на ефективність сонячних батарей

Коефіцієнт корисної дії залежить не тільки від застосовуваного матеріалу і технології, але й від цілого комплексу зовнішніх умов:

- Інтенсивності світлового потоку. В свою чергу цей показник пов'язаний з географічними координатами розташованої батареї, зокрема з широтою.

- Кута нахи лу конструкції. В ідеалі слід встановити сонячні батареї, змінюють його, виходячи з градієнта падіння променів. Така система коштує дорожче, але вона дозволяє акумулювати значну кількість електрики (до 40-60 %) і менше залежати від сезону і часу доби.

- Температури навколишнього середовища. Нагрівання погано впливає на фотоефект, вентилязовані батареї мають дуже високий ККД. Як не парадоксально, але в ясну морозну погоду вони виробляють більше енергії, ніж у спеку (хоча загальний кумулятивний ефект знижується із-за короткого світлового дня).

- Пори року. На практиці ККД сонячних панелей взимку зменшується в 2-8 разів, але це не пов'язано з випаданням снігу, на темній поверхні він швидко тоне, крім того фотоперетворювачі відмінно сприймають розсіяне світло.

- Запиленості. Чим чистіше зовнішня частина сонячних батарей, тим більша кількість фотонів буде перетворено, тому для підвищення ККД робочі поверхні рекомендується протирати як мінімум раз на два роки.

- Тіні. Не секрет, що коефіцієнт корисної дії сонячних батарей в похмуру погоду значно знижується, в туманних і дощових районах їх немає сенсу ставити, то ж відноситься і до затінених ділянок. Панелі небажано монтувати в тіні високих дерев або сусідніх будинків, при виборі місця розташування пріоритет віддається південній стороні [13].

## **1.9 Висновок**

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто будову фотоелемента, а також було показано принцип роботи. Було представлено різновид сонячних панелей, що дало нам змогу зрозуміти яка буде більш ефективна при установці на дану систему стеження. Також ми розглянули які фактори впливають на ефективність роботи сонячної панелі. Ознайомилися з різновидами сонячних електростанцій. Дана інформація буде використовуватися в подальших розділах для підвищення ефективності роботи системи контролю електричних параметрів сонячних панелей.

## 2 АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ЗА РУХОМ СОНЦЯ

Наявність сонячного трекера не є головним чинником для роботи сонячної панелі, але без нього продуктивність знижується вразі. Хоча сонячні системи стеження можуть збільшити приріст енергії фотоелектричних панелей, при їх установці необхідно враховувати деякі недоліки, такі як вартість, надійність, енергоспоживання, технічне обслуговування та продуктивність.

Всі системи стеження володіють наступними характеристиками характеристик:

- Один або два рухомих двигуна.
- Світлочутливих пристрій.
- Автономне або допоміжне живлення.
- Постійний або покроковий рух.

Деякі системи які відслідковують траєкторію сонця були обстежені і оцінені, на яких були фіксовані сонячні панелі, сонячні концентратори, телескопи або інші сонячні системи які знаходяться перпендикулярно сонячному променю. Ідеальна система дозволила би сонячні панелі точно вказуватися на сонці, компенсуючи як зміни кута висоти сонця (на протязі дня), так і широтне зміщення джерела випромінювання(під час сезонних змін) і зміни кута азимута. Системи контролю Сонця зазвичай поділяються на дві категорії: пасивні (механічні) та активні (електричні) трекери[14].

### 2.1 Пасивні трекери

Пасивні системи стеження за рухом сонця [15]засновані на тепловому розширенні речовини (часто це є фреон) та на сплавах з запам'ятовуванням форми. Переважно дані системи складається з однієї пари двигунів, що



працюють один на проти одного, які при однаковому освітленні зрівноважені. При диференціальному освітленні виконавчих механізмів, неврівноважені сили використовуються для орієнтації засобу в тому напрямку, де буде найкраще освітлення виконавчих механізмів. Пасивні сонячні системи порівняно з активними системами є менш складні, але вони мають здатність працювати з низькою ефективністю. При дослідженні було зрозуміло, що пасивні трекери з точки зору ефективності можна порівнювати з електричними системами. Але пасивні трекери є дорогі, і вони ще не набули широкого поширення серед споживачів в світі[15].

Кліффорд Едварт Беррі [16]представив пасивний сонячний трекер по моделі комп'ютера. Він підкреслив що, деформації які викликані зростаючими металами, були незначними , а відповідні сили були врази більші. Пасивна сонячна система відслідковування включає в себе дві біметалічні смуги яка одна з них є виготовлена з алюмінію а інша з сталі, розміщена на дерев'яній рамі, симетрично по обидві сторони від центральної горизонтальної вісі. Біметалічні смуги заштриховані так, що смуга віддалена від сонця, поглинає сонячне випромінювання, в той час як інша смуга залишається заштрихованою подібною конструкції, показаної на рис. 2.1.

Для того щоб запобігти коливання, до сонцезахисного трекеру підключена система демпфірування.

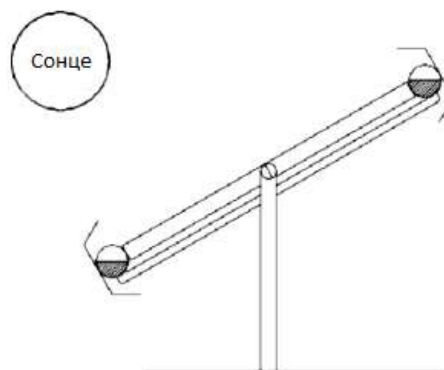


Рисунок 2.1 – Пасивний сонячний трекер, що використовує дві подібні циліндричні трубки, вставлені за допомогою парціального тиску.

Ним було порівняно комп'ютерну модель та результати проведених експериментів за деформаціями біметалічної смуги теплового випромінювання (в мм) і часу, необхідного сонячного трекера для переорієнтації з W-E. Комп'ютерна модель і та дані отримані з експерименту показали результати, дуже подібні між собою. Розроблений сонячний трекер мав потенціал для підвищення ККД сонячних панелей до 23%[16].

Владислав Поулєк [17] розробив і та представив одновісну пасивну систему стеження на основі двигунів зі сплаву з пам'яттю форми. Двигун з легкістю може деформуватися навіть при температурі нижче  $70\text{ C}^\circ$  та може працювати як тепловий двигун. Також він може повернутися до своєї почткової форми при нагріванні вище температури перетворення. Був зроблений висновок, що ефективність цих двигунів становить майже 2% і приблизно на два порядки вище, ніж у біметалевих двигунах[17].

## 2.2 Активні трекери

Основні активні [18] системи стеження можуть бути поділені на мікропроцесорні і електрооптичні сенсори, керовані персональним компютером, та запрограмовані на дату і час. Електрооптичні сонячні системи стеження зазвичай складаються, з однієї пари паралельно підключених фоторезисторів та фотоелектричних фотоелементів, які при освітленості обох елементів електрично збалансовані так, що надходить сигнал управління на провідний двигун. У допоміжному біфасіальному сонячному елементі, сонячний елемент сприймає і направляє систему в потрібне положення, на основі дати і часу, персональний компютер обчислює положення сонця щодо дати і часу за допомогою алгоритмів та утворюється сигнали для управління системою стеження[18].

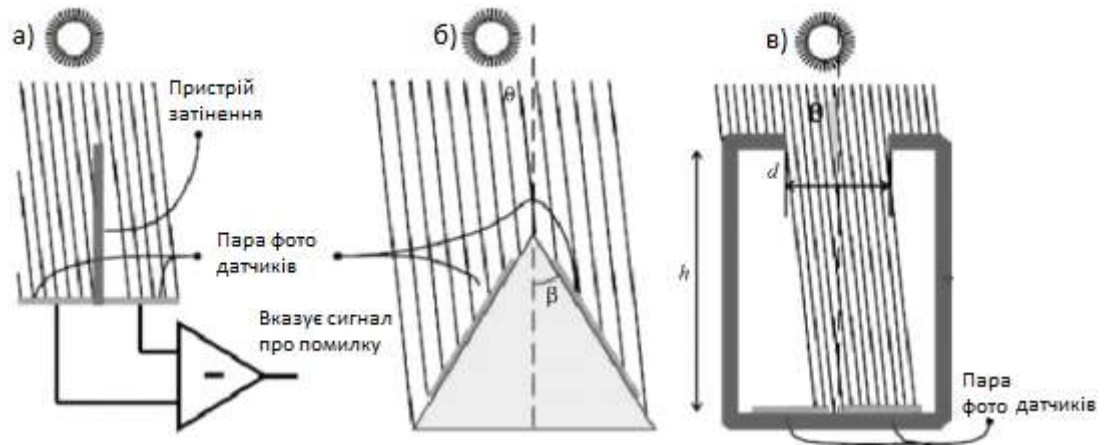


Рисунок 2.2 – Принцип балансу затінку: а) сенсори, що вказують на сонце; б) нахилене кріплення фотосенсорів; в) точне положення сонця за допомогою коліматора[19].

### 2.2.1 Сонячна панель на основі мікропроцесора та електрооптичного сенсор

В представленому типі при освітленні електрооптичних сенсорів створюється диференційний керуючий сигнал рис.2.2а, який приводить в дію двигун та орієнтування пристрою в тому напрямку, та де освітлення електрооптичних сенсорів стає однаковим і збалансованим. Крім того, фотодіоди повинні бути встановлені на похилих площинах для підвищення чутливості фотоструму, як відображено на рис. 2.2б, та зазвичай в цілях концентратора РV, затінюють засіб представлено у вигляді колімуючої трубки, яка з потраплянням дифузного випромінювання сонця в сенсор і маскування точного вимірювання положення сонця рис. 2.2 в [19].

Такі системи, з якісною точністю, призначені як правило для концентраторів сонячних систем.

Шкурідін В.А.[20] спроектував двовісну систему PLC . Принцип роботи заключається на математичному визначенні положення поверхні, яка визначається двома кутами: зенітним і азимутним кутом. Використовувалися

два двигуни для відслідковування: один для шарніра, що обертається навколо горизонтальної осі, а другий для того щоб обертався навколо вертикальної осі. Денне світло поділене на чотири інтервали, і під час кожного з інтервалів сонячна енергія яка потрапляє та швидкість двигуна визначалися, та програмувались в програмному контролері. Було передбачено що живлення двигунів (системи управління) буде перевищувати 3% енергії, зекономленої даною системою стеження. На рис. 2.3 показано порівняння енергії між системою стеження та фіксованою панеллю. В кінцевому результаті в було зроблено висновок, що при застосуванні двох вісного трекера можна збільшити ККД до 41,34% порівняно з фіксованою.

Шишкіна В.С. [20] спроектувала замкнуту систему стеження за сонцем для сонячних установок потужність яких становила 1 кВт. Система відстежування була майже вся автоматична, та керована аналоговим сенсором сонця. Система стеження має дві основні рухомі частини: базова платформа, що рухається навколо вертикальної осі, та також з підвісної платформи з фотоелектричними модулями, що рухаються навколо горизонтальній осі. Перша платформа була обладувана трьома колесами, одне з цих було пов'язане з двигуном який рухається за азимутним кутом. Положення підвісної рами може змінюватися симетрично відносно горизонтальної площини, забезпечуючи розташування модулів по висоті. Якщо двигуни працювали без перерви, швидкість обертання платформ становила близько 1 об/год., це є набагато швидше, ніж це було потрібно для нормального спостереження. Безперервне обертання двигувів було задіяно для швидко пошуку сонячного світла після похмурних періодів. А при відстежуванні коли ясна погода, двигуни працювали з інтервалом 5-10 хв. [20].

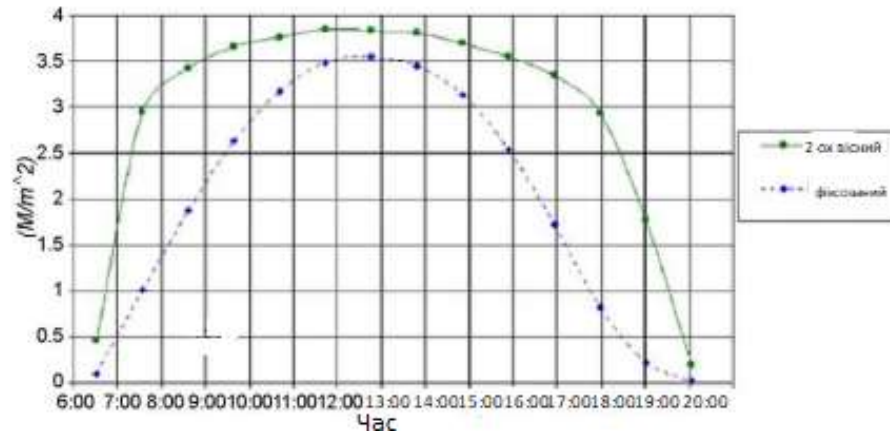


Рисунок 2.3 – Енергетичне порівняння системи відстежування та фіксованої системи.

Біон Джон [21] розробив одновісну систему стеження за сонцем для застосування в фотоелектричних систем на пластинчастих сонячних панелях та параболічними відбивачами. Потрібно щоб він був оптимально нахилений навколо однієї вісі та контролював кут азимута з іншої вісі. Вони запевнили, що цей засіб стеження на багато економить зібрану енергію і не залежить від навколишніх умов.

Вілела Дженіфер [21] запропонував, та продемонструвала двовісну систему стеження за сонцем на основі мікроконтролера. Вони застосувала світлозалежні резистори в якості сенсорів, а також двигуни постійного струму в якості виконавчих механізмів та мікроконтролер. А також, система була підключена до персонального компютера через кабель RS232 для контролю положення сонця. Кристал з частотою 4 МГц застосовувався у якості генератора тактового сигналу для мікроконтролера. Було проведено експериментальні дослідження двох панелей, одна стаціонарна, а інша рухома. Було виміряно температуру панелей з через кожну хвилину та було знято п'ятдесят даних. Цей результат підтвердив, що панель яка рухається, і яка містить сонячну систему стеження, мала більшу щільність світла, ніж стаціонарна панель [21].

Мумба Джек [22] оцінка двохвісної мікропроцесорної системи, стеження за рухом сонця. Розташовано два кінцевих вимикача для визначення тах кутових положень на сході та заході і межі переміщення панелі були пов'язані з мікропроцесором. По результатам даних було зрозуміло, доки панель була в перпендикулярному положенні до сонця, було отримано максимально енергії.

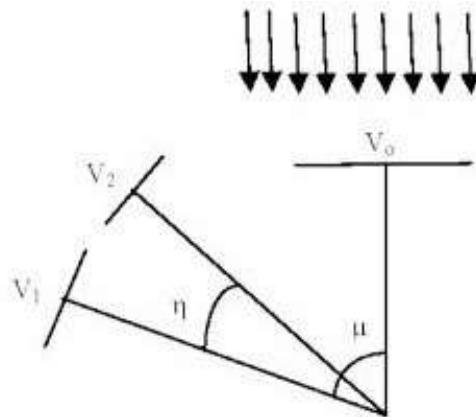


Рисунок 2.4 – Принцип Петерсона та співавт. сонячна система відстежування

Андрейцев О.К. [22] спроектував та сконструював сонячну систему стеження на основі мікроконтролера, який мав два біполярні двигути постійного струму для підтримки необхідного крутного моменту, та забезпечення двісті кроків на один оберт для обертів двох фотоелектричних панелей. Ним було проаналізовано три алгоритми стеження за сонцем. Перший алгоритм змушує фотоелектричну панель рухатися по колу в сферичних координатах з довільним радіусом, обраним користувачем, щоб знайти точку на колі для оптимальної напруги. А другий алгоритм керує фотоелектричною панеллю у вигляді квадрата, щоб знайти градієнт напруги, і використовує його, щоб вирішити, куди рухатися. Та третій алгоритм застосовується другу принцип, потрібно знайти п'ять точок, та потім за допомогою різноманітної нелінійної координати найменших квадратів визначаються широта, день року, та час дня. Далі прогнозується наступний

рух Сонця. Дві напруги від (двох сонячних панелей)  $V_1$  і  $V_2$ , які є кутом  $h$  один від одного і  $V_0$  і  $V_1$ , які є кутом один від одного.

$V_0$  - напруга яку б отримав сонячний елемент, якби він був перпендикулярний до джерела сонячного випромінювання рис.2.4

Компанія Girasolar [22] розробила та продемонструвала запрограмовану сонцезахисну систему стеження, дана система може відстежувати сонце по двох осях: азимутної та зенітної. Площа поверхні трека становила 58 м<sup>2</sup> при масі 2100 кг, здатністю обертатися по азимутній вісі з швидкістю 0,5 об / хв та по зенітній вісі з швидкістю (крок) 0,06 об / хв. Дана установка розрахована на швидкість вітру до 105 км / ч. Повідомлялося, що його ефективність підвищилася до 35%, що перевищує фіксовану установку.

Джексон Еббот [22] в Техаському університеті сконструював невеликий по розмірах сонячний трекер з застосуванням трьох пов'язаних мікроконтролерів, які є керовані роботизованою рукою. Його основними елементами були мікроконтролер PIC, двигуни постійного струму, та Н-мости, ІК-сенсор, фоторезистор та розетки постійного струму. Перший двигун постійного струму був 10 А, 12 В, з передавальним відношенням 500: другий двигун був 75 мА, 24 В, з передавальним відношенням 3000: перший, і третій двигун з 220 мА (під навантаженням), 12 В і передаточне число 1000: Також було запрограмувано три мікроконтролера, використовуючи мову програмування PIC Basic PRO. В кінчному результаті був зроблений висновок, що ефективність збільшилася на 30% [22].

Бютт Корі [23] спроектував чотири електромеханічні системи стеження за рухом сонця з відкритим контуром: двовісний, одновісний E-W та двовісний N-S трекер, для того щоб оцінити вольт-амперну характеристику і порівняти з фіксованою. Потрібна позиція була розрахована заздалегідь та запрограмована в програмний контролер. Програмований логічний контролер управляє виконавчим механізмом для регулювання панелі, щоб підтримувати напрямок перпендикулярно сонцю. Він стверджував, що споживана енергія сонячною системою становила менше 2% від зібраної

енергії протягом дня системою стеження. Після побудови декількох характеристичних кривих напруги-струму і вироблення електроенергії для різних сонячних систем, він прийшов до висновку, що було збільшення ефективності до 44% електроенергії, порівнянні з фіксованою.

Майкл Діксон [23] спроектував фотоелектричну низькоконцентровану систему. Для того щоб зібрати таку енергію було побудовано 2-ох вісну систему стеження за сонця з двома лінійними виконавчими механізмами постійного струму. Її система працювала за таким принципом дзеркала відбивають світло на фокусну смугу, а сонячні елементи висвітлюються приблизно в одинадцять раз більше, ніж падаючий промінь сонячного випромінювання. Щоб отримати максимально точні розрахунки положення сонця, була розроблена система програмного контролера. Було вказано збільшення енергії на 37% в порівнянні з оптимальним нахилом статичної поверхні [23].

Мейсон Дудел [23] двовісну систему стеження за сонцем, яка слідує за сонцем в азимутному напрямку на основі програмованого логічного пристрою Xilinx XC9510. Через структуру Н-моста контролер був з'єднаний з двигунами постійного струму. Спочатку, як тільки місце розташування вибрано, визначається діапазон кута азимута і розраховуються кутові кроки. Для спостереження вироблення електроенергії вони також приєднали цей пристрій стеження до персонального комп'ютера за допомогою коду, написаного на мовах асемблера або C+. В кінцевому результаті прийшли до висновку, що запропонований сонцезахисний трекер був економічно ефективним і гнучким [23].

Полянські Є.К. [24] в своїй дисертації представив пристрій для відстеження сонця яка розроблена на основі мікроконтролера, система має два типи двигуна, які слугують для нахилу в двох площинах. Алгоритм був створений, щоб знімати дані та посилювати значення датчика, а далі порівнювати дані в цифровому вигляді щоб було зрозуміло положення Сонця, таким чином активуються позиційні однополярні двигуни постійного



струму. Сенсор був у вигляді піраміди та встановленими на кожній стороні. Мікроконтролер був запрограмований на мові програмування C++. Пристрій було випробувано, як в польових, так і в лабораторних умовах з використанням портативного джерела світла, який був встановлений в шіснадцяти положеннях. Кінцевий висновок такий, що система відстеження сонця збирала таку енергію протягом дня, а стаціонарна система збирала максимум сонячної енергії тоді, коли сонце розташовувалося над головою [24].

Скрипник О.В.[25] представив закритий мікропроцесор для стеження за сонцем за допомогою електрооптичних сенсорів для керування сонячною системою підігріву води. Більшість параметрів, такі як швидкість вітру, тиск та температура навколишнього середовища, також контролювалися. Випробування які тривали довгий час, в різні умовах, виявилися вдалим та ефективними[25].

Бекетов Б.В.[25] було розроблено високоефективні сонячні елементи, які відслідковують споживання низької потужності, для системи освітлення на базі білого діода. Одновісний трекер використовує двигун постійного струму з мікро контролером ПІС. Фоторезистор знаходився в темній коробці з невеликим отвором зверху. При максимальному виявленні освітлення це працювало командою ПІС. Нвіть якщо фоторезистор не спроможний був виявити сонячне світло, то нульовий стан активує систему до тих пір, поки не був виявлений рельний стан. Було побудовано графік де відображалися криві сонячної енергії, а також криві енергії нерухомою і рухомих панелей. Було зроблений висновок, режим був ефективним, але фактичний струм заряду був дещо нижчим, тому що потужність втрачалася сонячного елемента. Ними було рекомендовано не використовувати систему стеження для невеликих сонячних батарей через високі втрати енергії в шаговому двигуні [25].

Компанія Nat [26] розробила, і протестувала двохвісний пристрій для стеження за рухом сонця на базі мікроконтролера. Система стеження рухалася за допомогою лінійного руху, хід якого становив двадцять

сантиметрів. Змінний резистор з діапазоном напруги 0-5 В, застосовувався для вимірювання кута повного оберту. Управляти системою можна через сенсор освітленості та мікроконтролер. Реле постійного струму застосовували для навантаження від сонячного модуля під час зчитування напруги холостого ходу аналого-цифровим перетворювачем на мікроконтролері. Порівняно результати було зрозуміло що ефективність трекера була 27% порівнянно з фіксованим[26].

Кривуля Г.Ф. [26] розробив одновісну систему стеження за сонцем, яка складається з системи управління та трьома сенсорами які реагують на світло і двигуном постійного струму. Перший сенсор несе відповідальність за знаходження; другий сенсор відповідає за хмарність, та третій сенсор відповідає за денне світло. Перелік елементів в системі такий: реле, таймера, резистори і електронних компонентів. Якщо хоч один з фото резисторів був затінений, двигуни зразу на це реагували. Система стежила за сонцем, і кінцева швидкість обертання колектора становила 0,011бертів на хвилину. Різні випробування сонячного колектора показали, що механічне відстежування було точним[26].

Арон Айворі[26]розробив дешеву двовісну електричну систему стеження з електронним управлінням. В системі застосовуються два електрооптичних сенсора; один з них у є чотирьохелементна піраміда, встановлена на площині установки а інший слугує для виявлення сонячного світла. Як привідний механізм використовував редукторний двигун постійного струму з високим крутним моментом. [26].

Брун Тейлор[27]розробив систему як обертає дзеркало з керованим фотосенсором із замкнутим контуром з використанням екваторіального кріплення. Застосовувалися два сенсори,перший реагує на похмуру погоду а інший виявляє ніч або день. Сенсори складаються з двох паралельних фотоелементів, які генерують струм та який пропорційний освітлюваній ділянці. Якщо сонячне випромінювання стає менше  $180 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ , то режим роботи системи переходить в режи який відповідає перший сенсор, і

установка обертається швидкістю 158 / год. Сонячні промені які були відбиті фокусувалися на екрані, який розташований на відстані 70 метрів на південній стороні системи. Експерименти і моделювання показали, що коли сонячна погода то кутова похибка відстежується сенсором. Висновок такий, що сенсорна система для відстежування може бути більш придатною для невеликої сонячної системи через зниження ефективності в похмурі дні[27].

Ваялд Перез [27] розробив систему стеження з замкнутим контуром потужністю 1 кВт де кут повороту може змінюватися відповідно горизонтальної і вертикальної площини. Двигуни працюють в постійному обертанні, здійснюється поворот конструкції від сходу до заходу сонця. При умовах доброї роботи двигуни можуть включатися автоматично кожні 8 с. Два багатоперехідні осередки III - V застосовуються як світлореагуючі елементи в бокових та задніх стінках, а саме головного та додаткового сенсора. Фотострум від осередків надходить на транзистор і реле для включення двигуна в потрібному напрямку [27].

Бекер Волтер[28] представив двовісну систему стеження за сонцем на основі фоторезисторного сенсора та ще він досліджував вплив енергії між стаціонарною фотоелектричною панеллю та рухомою. Пристрій складається складався з 9-ти фоторезисторів (LDR) для оберту, і трьох з трьох фото резисторів для нахилу, розташованих у пластикових опорах. Був зроблений висновок, що основною перевагою даної системи стеження є низька її вартість.

Якщо вихідний сигнал одного з сенсорів стає більше порогового значення, то другий двигун стає в то положення, доки сигнали не стануть рівними між собою [28].

Компанія Ruala [28] представила автоматичну систему стеження за сонцем з закритим контуром, засновану на тіньовому методі. Фоторезисторні сенсори були розположені на платформі, встановлених впритик один з одним в напрямку E-W і N-S. Платформа має два шарнірні гусеничні важеля для підйому та бокового стеження, та приводилися в рух кулачковими двигунами.

Система формує сигнал першого підсилювача з фільтром нижніх частот далі живлять підсилювач для переміщення серводвигуна для того щоб різниця падаючого світла було рівномірною. Тінь залишається в стоні заходу до тих пір доки сенсор день/ ніч сапустить систему[28] .

Міжнародна компанія Едвенс [28]створила активну систему стеження за рухом сонця за допомогою двох сенсорів які визначають положення сонця, та чотирьохфазного реактивного крокового двигуна який має опір 8, 60 на крок з керуючою потужністю передає на чіп запрограмованої матриці. Послідовність перемикачів, так розташована в перетворювачі, що двигун постійного струму інколи вимикється. Як тільки сонячне випромінювання не потрапляє перпендикулярно відсутнє до основної поверхні, на фоторезистори рівномірно не потрапляє сонячне випромінювання і посиляють сигнал про помилку на мікроконтролер, а потім визначається кут повороту двигуна. [28].

### **2.2.2. Допоміжна двохстороння сонячна панель в сонячній батареї**

Додаткові [29]сонячні елементи під'єднані до двигуна постійного струму, встановлені на поворотній вісі системи та можуть зняти покази, так і забезпечувати енергію для стеження.

Ентоні Блар [29]описував елементарний , та надійний сонячну систему яку можна використовувати в космосі а також на землі. Такі елементи як акумулятори, та приводна електроніка не використовувалися рис. 2.5. Система може працювати даже при температурі -40С. Система має додаткові сонячні елементи а також двох фазні сонячні панелі при яких можна здійснювати зворотний хід з будь-якої позиції, так як системи стеження , заснована на ті самі технології зі однаковими однофазовий сонячними елементами, які мають кут спостереження [29].

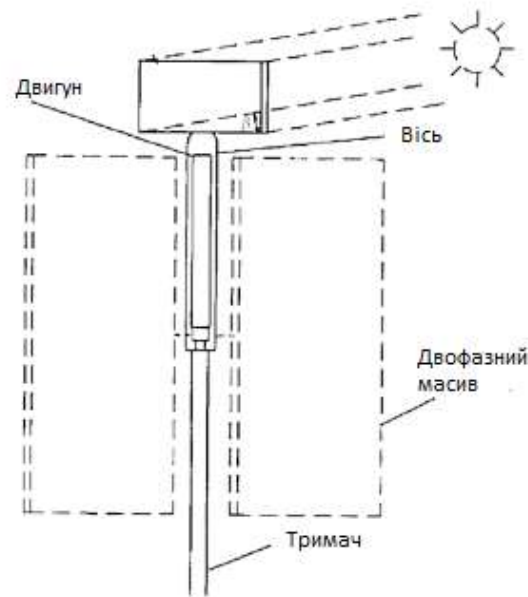


Рисунок 2.5 – Схема наземного трекера

А також він представив в іншому дослідженні систему стеження, започатковано на допоміжному сонячному елементі, який може здійснювати зворотнє стеження на протязі 5 хвилин , який застосовують над V-подібним жолобовим з'єднувачем з біфаціальною сонячною панеллю. Всі сонячні колектори були підключені до двигуна постійного струму з самоблокуючою коробкою передач. В ясну погоду, при джерелі світла, сонячні колектори будуть рухатися. Результати експериментів показали, що встановлені модулі можуть збільшити ефективність приросту енергії 15-25%. Тому було зроблено висновок, що дана система буде виробляти 50% енергії більше ніж стаціонарна. [30].

Брейн Кліфорд [31] представив сонячну систему в якій сонячні елементи розташовані не стандартно, які підключені до двигуна який змінює обертання вісі. На рис.2.7 показаний принцип роботи системи.

Керуючі сонячні елементи зрівноважені один між одним. Диференціальний сигнал застосовується для подолання тертя та аеродинамічного опору. В результат висновок такий, що ККд системи 40%[31].

Визначення положення сонця на основі даних про дату і час

Коли система працює у режимі дати і часу комп'ютер або процесор[32] розраховує розташування сонця за формулами або алгоритмом, використовуючи всі дані які пов'язані з Сонцем, та відправляють сигнал на двигун.

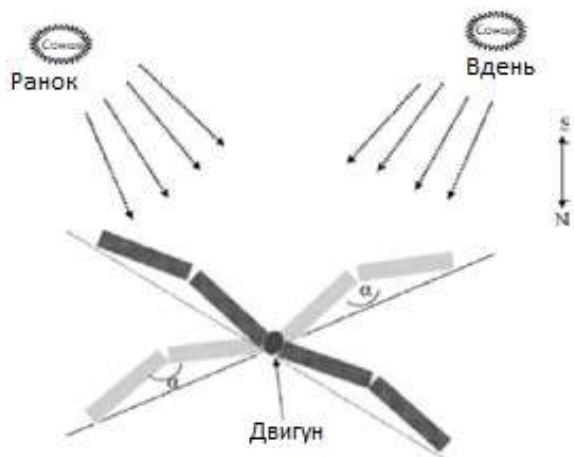


Рисунок 2.6 – Положення ПВ модулів вранці та в другій половині дня

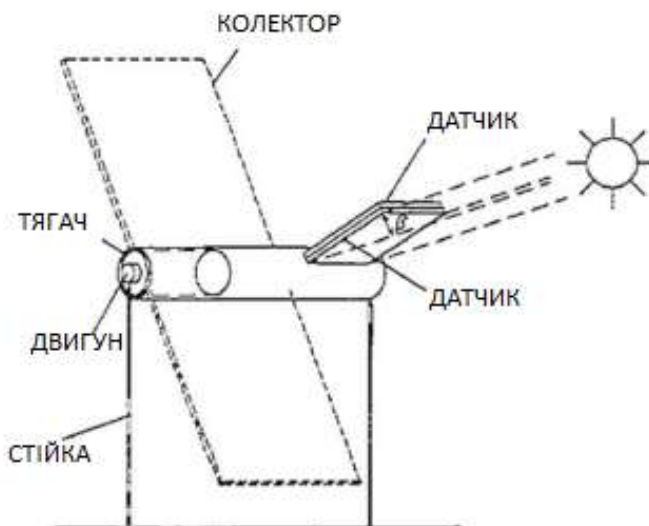


Рисунок 2.7 – Горизонтальна вісь трекер

Але в деяких системах сенсори застосовують для визначення чіткого положення Сонця.

В Китаї [32] було розроблено систему стеження з максимальною позиційною похибкою для того щоб можна було б вимірювати глобальне та і пряме спектральне випромінювання в діапазоні 320-1050 нм. Було спроектовано сонцезахисний козирок відповідно до їх конкретним потребам та не з дорогих матеріалів який дозволить системі працювати тиждень без нагляду людини та повертається кожного вечора в положення спокою, уникаючи перевертання. Рух системи управляється двигуном постійного струму, щоб відрегулювати необхідний крок. Рухом двигуна керує спеціальна плата управління, яка підібрана саме для цього виду двигуна, який можна приєднати до паралельного порта персонального комп'ютеру через оптичний з'єднувач. Ця послідовність елементів повина дати системі зрозуміти в якому положенні потрібно зупитися. Застосовувалися два сенсори які відповідають за включення та вимкання, що вказують на початкове положення для кожного зі ступенів свободи. Для відключення сенсорів в бажаному положенні використовуються фіксовані алюмінієві контрольні точки [32].

Норман Фьюрі [32] запропонував ступінчасту систему стеження сонця з контрольованим часом, яка містить в собі: одновісне стеження за сонцем, та стеження за азимутним та зенітним кутом рис. 2.8. Дослідження було проведено на основі нечіткого методу прийняття рішень серед трьох систем які представлені на рис. 2.8. Перша система стеження була нахилена від горизонталі, яка розташована на південь. Погодинне змінювання кута вважається дуже повільним; отже, відстеження на ці вісі можна регулювати пару разів н день. Установка стеження азимута розташована на одні вісі обертання, що обертається навколо вісі зеніту, в той час як інша вісь паралельна поверхні землі [32].



Рисунок 2.8 – Зліва направо. Одновісна система стеження сонця з кутом нахилу, рівною ширині кута; екваторіальна система відстежування сонця з кутом нахилу, рівною широті; система орієнтації сонця з двома осями азимуту  $\omega$

Алан Діксон [32] запропонував вдосконалену сонячну систему для отримання сонячної енергії. Його система має головне дзеркало яке оточене додатковими рабськими дзеркалами. За допомогою головного дзеркала сонячні промені потрапляють на нерухому ціль. Дві вісі розташовані, перпендикулярно один одному. Перша це вісь обертання яка вказує ціль; а друга це вісь піднесення, паралельна відбивачу. Під час того як сонце рухається по небу з ранку до обіду, система стеження буде повертатися, в напрямку від горизонтальної і повертається до вертикалі. Була виведена формула, яка заснована на час і дату. [32, 45 ст.].

Річард Полтер [33] вивчав характеристики при лінійній лінзі Френеля, щоб зібрати сонячне випромінювання на двох паралельно з'єднаних фотоелементах. Було зроблено так, що можна було відстежувати сонце в двох вимірах. Було проведено близько вдесяти досліджень для оцінення оптичної, та термічної ефективності в залежності від температури рідини. Він зрозумів, що якщо використовувати двовимірних систему стеження, які підтримують потік випромінювання завжди перпендикулярні колектору, оптична ефективність підтримувалася протягом дня [33].



Використовувалося управління [34] по замкнуті вісі з застосуванням методу генетичного алгоритму, для двухвісної сонячної системи стеження. Сенсор, був зроблений з полікристалічного сонячного елемента, яке перетворює сонячну енергію в (U). Слідуючи алгоритму декодер та лічильник приймають сигнали від оптичного сенсора та в свою чергу перетворюють його в (I). Потім дані передаються на персональний комп'ютер через інтерфейсну карту для максимального відстежування. Тести і аналізи пояснили, що сонячна система стеження за сонцем, яка використовує GA, збільшує вихідну напругу до 7,084% [34].

Також в 2003 р. [23] було представлено систему стеження за сонцем на основі мікропроцесора для управління рухом сонячної панелі. Щоб обмежити межі руху панелі на сторону сходу та заходу, було використано кінцеві вимикачі. Стан кінцевих вимикачів зчитується мікропроцесором. Дослідниками був зроблений висновок, що використання пристрою стеження для утримання панелей перпендикулярно до сонця максимізує теплову енергію, що отримується від сонячних панелей [35].

### **2.3 Висновки**

В другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто існуючі системи стеження за сонцем. Також було розглянуто принцип роботи кожної з них, перелік елементів, та ефективні роботи кожної. Даний розділ поглиблено ознайомив з принципом роботи системи стеження, та було висвітлено недоліки на які було звернуто увагу щоб не допустити їх в розробці.

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Розумна сонячна система - це система з автономним живленням; всі компоненти системи залежать один від одного, система не потребує ні в якому джерелі живлення від зовнішнього світу, а тільки в сонячному світлі. Дані компоненти з'єднуються один з одним, і утворюючи замкнуту систему. Сонячне випромінювання, зібране фотоелектричним елементом, перетворюється в електричну енергію; панель буде живити вхід зарядного пристрою, який буде заряджати акумулятор постійного струму. Друга функціональність системи полягає в тому, щоб подавати точну напругу на трекер, щоб досягти найбільш ефективного напрямку і орієнтації системи, яка забезпечує максимальне поглинання сонячного світла. Двигуни, зарядний пристрій, трекер і сенсори живляться від акумулятора. Акумулятор заряджається від фотоелектричного елемента через контролер зарядного пристрою, як показано на рис.3.1.



Рисунок 3.1 – Відношення між основними частинами системи

На рис. 3.2, показана блок-схема системи стеження за сонцем. Це пояснює залежність трекера. Що стосується першого запуску, система повинна точно виявити сонячне світло, тому використовуються фоторезистори [36]. Це дозволить системі стеження за сонцем визначати місцезнаходження джерела світла на основі порівнянь, виконаних в цифровому процесорі, це буде направляти систему в площині (А,Б,В,Г), що означає, що всі кути і місця розташування можуть бути виявлені і досягнуті завдяки двом двигунам.

Точність системи підвищується за рахунок коефіцієнта передачі та передавального числа, застосовувані крокові двигуни які мають 3,5 градуса/крок, з шестернями, доданими до двигунів, були покращені багато факторів, такі як ступінь/крок (менше ступеня на крок, що призводить до найкращої точності в положенні і кутах) і високий крутний момент для двигунів.



Рисунок 3.2 – Залежність трекера

В системі стеження використовуються чотири фоторезистора. Закріплений у верхній та нижній частині системи поблизу фотоелемента у вигляді А-Б-В-Г, та як показано на рисунку 3.3. Еталонний фоторезистор, той який в положенні Б, з ним будуть порівнюватися фоторезистори А, В і Г і в залежності від вихідної напруги.

Трекер буде порівнювати положення В і А, порівняння закінчиться після того, як будуть досягнуті дуже близькі значення виходів цих двох фоторезисторів, петля буде контролювати рух крока двигуна і кроки які досягненні майже рівного розподілу сонячного світла. Після досягнення прийняттого положення фоторезистори В-А та Г-Б також тестуються і порівнюються таким же чином.



Рисунок 3.3 – Розміщення фоторезисторів на сонячній панелі

На рисунку 3.4 показано алгоритм системи стеження за сонцем. Коли система запускається, вихідні значення сенсорів будуть порівнюватися разом, щоб визначити напрямок випромінювання сонця. Якщо вихідний сигнал сенсора А більше, ніж вихідного сигналу сенсора Г, тоді система буде відхилитися в напрямку А, система буде обертатися в площині г-а, щоб досягти значення, при якому 2 сенсори мають майже однакову вихідну напругу.

Та ж сама операція виконується для в-б площині, оскільки сенсори В і Б мають аналогічну вихідну напругу, тоді порівняння з А-сенсором дозволить системі обертатися в (в-б) площині. Використовуючи цей метод, система стеження буде розташована перпендикулярно до сонця. Ця позиція буде оновлюватися кожен раз, коли на виходах сенсорів буде відбуватися зміна, час поновлення доріжки можна регулювати (знаючи, що відхилення сонця не відбуватиметься щосекунди).

Перевага інтелектуальної системи в тому, що вона дозволяє точно визначати положення сонячного світла. Інформацію, яку виявить система,

буде відправлена в різні системи з однаковими функціями (які обертаються вслід за сонячними променями, щоб знизити енергоспоживання системи).

До складу системи стеження за сонцем входять такі блоки: сонячні батареї, сенсори положення сонячних батарей, блок живлення, приводи, мікроконтролер.

Система управління здійснює управління виконавчим механізмом, використовуючи драйвер управління електроприводами як проміжне силова ланка, на вхід якого подається широтно-імпульсний, модельований сигнал, що задає режим роботи двигунам.

Блок живлення складається з накопичувальної частини, та логіки розподілу живлення системи. Накопичувальна частина являє собою контролер заряду акумуляторів, та зв'язку з трьох паралельно включеними акумуляторами на свинцево-кислотній основі, які утворюють лінію резервного живлення. У свою чергу, логіка розподілу живлення системи (системи управління живленням) виконує функцію перевірки основних енергетичних ліній системи (резервний канал, що надходить від акумуляторів, і канал, що надходить від сонячних панелей) і виконує перемикання лінії живлення електроприводів. Критерієм перемикання є можливість пріоритетної лінії (живлення від сонячних панелей) підтримувати коректну роботу системи; в разі, якщо потужності недостатньо (наприклад, у випадках настання сутінків або неможливості потрапляння сонячного світла на панель), підключається лінія резервного живлення і передається сигнал основної системи управління про те, що увімкнулося резервне живлення.

У блок зворотнього зв'язку входять такі основні сенсори, а саме: чотири датчика кута повороту і датчик положення сонця.

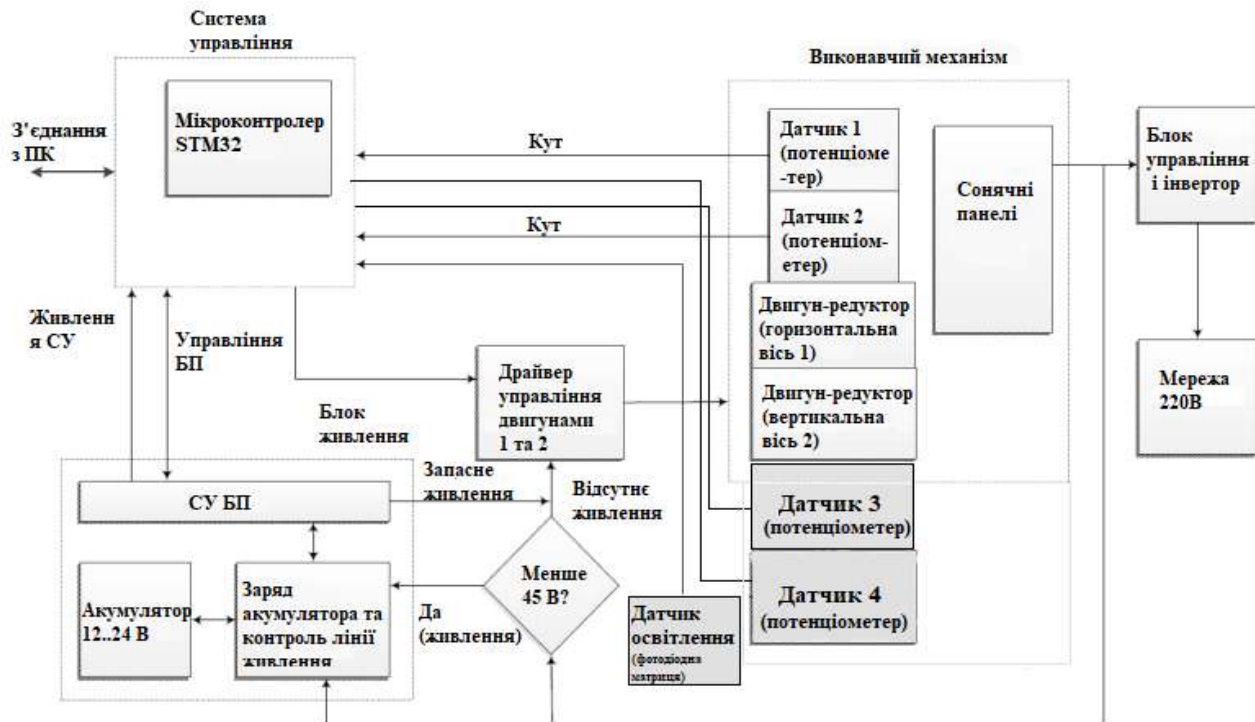


Рисунок 3.4 – Алгоритм системи стеження за рухом сонця

Сенсори кута повороту передають системі управління сигнали про положення сонячного випромінювання, система в свою чергу все порівнює та фіксує панелі в певне положення.

### 3.1 Вибір (обґрунтування) комплексу технічних засобів

Мікропроцесорна система управління. Мікроконтролер – це мікросхема, яка призначена для управління електронними пристроями. Типовий мікроконтролер поєднує в собі функції процесора і периферійних пристроїв, та містить оперативний пристрій або постійний запам'ятовуючий пристрій. Можна сказати що, це однокристальний комп'ютер, здатний виконувати прості завдання, наприклад, завдання управління.

В роботі пріоритетними завданнями є: відпрацювання закону управління, та управління виконавчим механізмом у вигляді 2-ох двигунів , які відповідно є об'єктами управління[37].

Для втілення цих завдань було вирішено використовувати мікропроцесорну систему управління, де в ролі головної обчислювальної та керуючої одиниці виступає мікроконтролер з наступних причин:

1) Високий ступінь інтеграції обчислювального і керуючого блоку, т. Е. Габаритні розміри кінцевого блоку системи управління будуть мінімальні в порівнянні з використанням комбінаційної логіки ;

2) Оптимальне поєднання обчислювальних можливостей мікроконтролера та різновидів периферійних блоків, які використовуються з метою комунікації з ЕОМ як терміналом для виведення статистики, так і силовими драйверами управління електроприводами, де сигналом є широтно-імпульсний модулятор;

3) Висока обчислювальна здатність з запасом, що в подальшому дозволить розширити систему, додаванням нових моделей управління для знаходження максимально ефективної;

4) Низька вартість мікроконтролера і мікропроцесорної системи (для порівняння, в роботі застосовується мікроконтролер компанії ST STM32F100C8, роздрібна ціна якого не вище 2 доларів, а з вартість в зібраному варіанті 15 доларів). Для формування повноцінної системи управління було вирішено використовувати 2 канали зворотного зв'язку, які відповідно надають можливості відстеження положення платформи і визначення положення сонця щодо поточного стану платформи (відносні дані). Розглянемо більш детально мету і причини вибору тих чи інших сенсорів для кожного з каналів. Канал відстеження поточного стану платформи, повинен надавати в мікропроцесорну систему управління даних про абсолютне положення платформи. Для отримання абсолютних даних стану потрібно використовувати пропорційну залежність. Для забезпечення цих вимог ідеально підходить потенціометричні сенсори, які встановлюються

на кожному з вісь обертань системи, і з включенням дільників напруги. Даний підхід забезпечить пряму залежність напруги на виході потенціометра від поточного положення платформи[38].

Як альтернативу сенсорам можна використовувати енкодер, але такий підхід не є раціональним, оскільки такий вид сенсорів перед початком використання і кожним новим запуском системи вимагатиме стартову ініціалізацію положення, це призведе до великої втрати енергії, сенсорам потрібно буде відпрацювати всі можливі позиції в системі, де енергоспоживання є критичним ресурсом. Вони також не позбавлені накопичуваної помилки в процесі роботи, так як вихідні дані енкодера не мають прямої залежності від будь-якої величини, яка прямо залежить від поточного стану, і є дискретними. Канал зворотного зв'язку надає системі управління інформацію про те, на скільки потрібно змінити поточний становище, щоб досягнути максимальної ефективності сонячних панелей (згідно з припущенням про максимальної вихідної потужності батареї при прямому падінні сонячних променів на кремнієві пластини). Як сенсор каналу використовуються пари фотодіодів, що знаходяться під різними кутами, які дозволяють отримати різниці інтенсивності світла, що падає на них і які після обробки поста формують вектор напрямку сонячного світла щодо поточного стану платформи[38].

Виконавчий механізм складається з двох найголовніших двигунів:

1) З двигуна лінійного переміщення (лінійного двигуна або лінійного актуатора), до складу якого входить двигун постійного струму, редуктор та черв'ячно- гвинтова пара;

2) Черв'ячного мотора редуктора обертання, що складається з редуктора і двигуна постійного струму.

Управління двигунами виконано з використанням широтно-імпульсної модуляції та силового драйвера, який комутує джерело живлення достатньої потужності в живильному ланцюзі приводу, оскільки потужність сигналу широтно імпульсного модулятора не є достатнім для прямого управління



двигуном. Силкові драйвери застосовують схему включення оптодіодів, що дозволяє працювати з досить великим навантаженням та надійністю [39].

### 3.2 Оцінка ефективності пропонованої системи

Для оцінення ефективності пропонованої системи були проведені вимірювання в сонячний літній день. Таблиця 2 показує порівняння між максимальним струмом з використанням фіксованої фотоелектричної панелі та використанням пропонованої системи в різний час.

Таблиця 2 – Порівняння даних фіксованої панелі з даними пропованою системи.

Час	Струм з використанням фіксованої СП (Amp)	Струм отриманий з застосуванням трекера(Amp)
8:00	0,42	0,85
9:00	0,55	0,90
10:00	0,75	0,92
11:00	0,81	0,95
12:00	0,92	0,99
13:00	0,95	0,99
14:00	0,88	0,99
15:00	0,76	0,98
16:00	0,42	0,95
17:00	0,23	0,95
18:00	0,15	0,92
19:00	0,08	0,72
20:00	0,01	0,25
Всього $\Sigma I_{1,2}$	6,93	11,36

Ефективність запропонованої системи можна розрахувати за допомогою формули 3.1:

Ефективність розрахуємо за наступною формулою:

$$(\Sigma I_1 - \Sigma I_2) \cdot 100\% = 11,36 - 6,93 \cdot 100 = 63,92\% \quad (3.1)$$

З результату можем побачити, що ефективність запропонованої системи може бути збільшена до 64% в літній сонячний день. Крім того, запропонована система споживає мало енергії для повороту фотоелектричної панелі за допомогою невеликого крокового двигуна. Крім того, ця система може живитися від фотоелектричної панелі за допомогою сонячної панелі та бути автономною.

### **3.3 Висноки**

В третьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянут універсальну багатофункціональну систему стеження. Запропонована система була реалізована в архітектурі зниженою складності, такий як мікроконтролер. Також було представлено алгоритм роботи системи. Дана система використовується для повороту фотоелектричних панелі в чотирьох напрямках для визначення максимального сонячного світла.

## 4 МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ ЯК ДЕТЕРМІНОВАНОЇ ЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

### 4.1 Загальні відомості про сонячні трекери

Зниження ціни фотоелементів шляхом зменшення (при рівній електричній потужності) необхідної поверхні сонячного елемента за рахунок концентрації сонячної енергії є перспективним напрямом розвитку фотоенергетики. Однак з економічної точки зору це матиме сенс, якщо вартість системи концентрації сонячної енергії буде нижчою від вартості зекономленої площі сонячних елементів.

Система концентрації сонячної енергії складається безпосередньо з концентраторів та системи спостереження за положенням Сонця, оскільки концентруючі фотоелементи сприймають лише пряме сонячне випромінювання.

З підвищенням ступеня концентрації сонячного випромінювання пропорційно збільшується густина генерованого в сонячних елементах струму, тому є потреба в спеціальних сонячних елементах з малими втратами енергії при великих струмах. Через зростання теплового навантаження на сонячні елементи необхідне створення ефективної системи охолодження сонячних елементів.

Разом з тим завдяки суттєвому скороченню необхідної площі сонячного елемента з'являється можливість використання для сонячних елементів дефіцитних і дорогих напівпровідникових матеріалів, наприклад арсеніду галію. А також для невеликих площ сонячних елементів легше забезпечити захист від несприятливих факторів довкілля.

Переважає більшість сонячних панелей встановлюється на [41]нерухомих опорах та орієнтується рівно на південь. Таке встановлення є

найбільш надійне, має мінімальну вартість та прискорює монтаж. Але сонце на небосхилі не знаходиться постійно в одній точці, а рухається по дузі зі сходу на захід. Крім того влітку сонце має значно вищу траєкторію, ніж зимою. При зміні кута між сонячними променями і площиною фотоелектричної панелі змінюватиметься і кількість сонячної енергії, що потрапляє на площину з фотоелементами, відповідно і кількість виробленої електроенергії буде змінюватись на протязі доби і при зміні пори року. Але існує можливість за допомогою деякого пристрою підвищити виробництво електроенергії. Даний пристрій має назву сонячний трекер.

Сонячний трекер – це електромеханічний пристрій, який слідкує за переміщення сонця на небосхилі та повертає фотоелектричну панель на потрібний кут вслід за його рухом. Джерелом живлення для роботи трекера є сама сонячна панель, через що і він є повністю автономним. Модель сонячного трекера показана на рисунку 4.1.

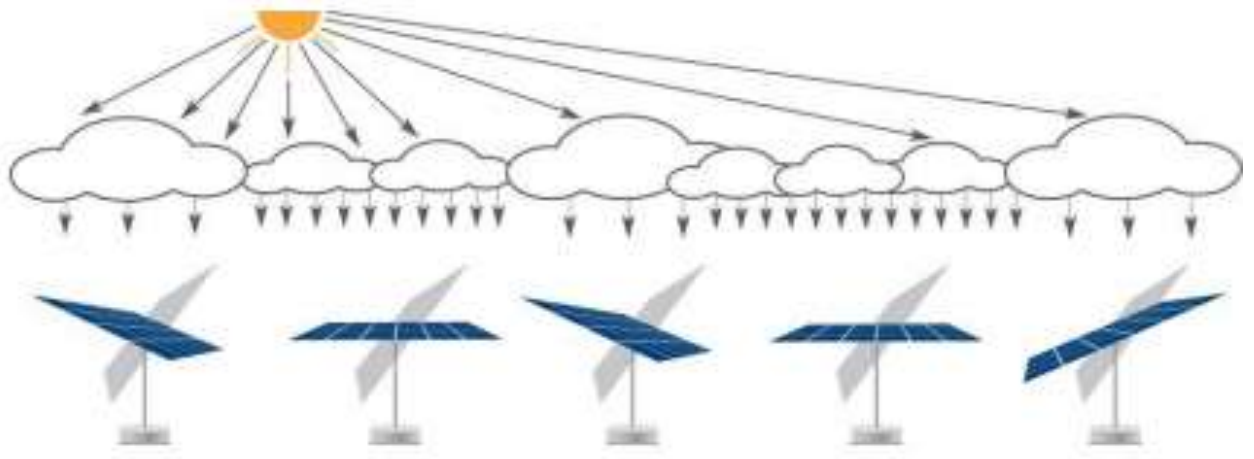


Рисунок 4.1 – Сонячний трекер

Як відомо, для отримання max потужності від сонячних батарей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. При такому напрямку променів ККД сонячних батарей

може досягати 50-55%. Для стаціонарно встановлених батарей цей показник може знижуватися до 10-15% з-за зміни кута падіння сонячних променів[40].

Трекери можуть бути реалізовані на основі різних принципів. Опишемо деякі з них:

- управління двигунами за допомогою декількох фотоприймачів;
- управління рухом трекера по азимутальних і зенітних кутах.

Перший пристрій має 2 або більше фоторезисторів. При русі сонця освітленість фоторезисторів стає різною; пристрій аналізує освітленість і передає керуючі сигнали на двигуни до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий і електродвигун повертає сонячну панель, структурна схема зображена на рис. 4.1.

Принцип роботи другого пристрою заснована на тому, що для правильного позиціонування сонячних панелей, потрібно компенсувати два переміщення Землі:

- добове переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо своєї осі;
- річне переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо Сонця.

Недоліком такого варіанту є те, що Сонце в різних точках планети рухається по різному, такі системи потребують унікальних налаштувань.

Незважаючи на всі переваги керованих фотопанелей, трекиери встановлюються далеко на всіх сонячних електростанціях. Тому є декілька причин:

- системи стеження завжди підвищує вартість монтажу системи;
- ускладнення конструкції кріплення призводить до зменшення її надійності, це не критично для малих електростанцій, власнику яких не складно знайти і усунути дрібну несправність, але на великих електростанціях знадобиться додатковий штат працівників для обслуговування і ремонту трекерів;
- рухомі деталі потребує обслуговування навіть при відсутності аварій;

– рухоме кріплення панелі значно зменшує її стійкість та надійність установки при сильному вітрі[41].

## 4.2 Математична модель сонячного випромінювання

Кількість енергії виробленої фотоелектричним перетворювачем або сонячним колектором, у першу чергу, залежить від кількості сонячного випромінювання, яке потрапляє на фоточутливу поверхню. Сонце створює постійну освітленість  $E_0 = 135000$  лк на відстані від Сонця, яка дорівнює 1 астрономічній одиниці. Сонячне випромінювання, яке проходить через атмосферу Землі, містить 3 складові: пряме випромінювання, розсіяне атмосферою і відбите від поверхні Землі.

$$E = E_{\text{пр}} + E_{\text{диф}} + E_{\text{від}} \quad (4.1)$$

де  $E$  – загальна освітленість, лк;  $E_{\text{пр}}$ ,  $E_{\text{диф}}$ ,  $E_{\text{відб}}$  – пряма, дифузна та відбита освітленість.

У сонячні дні, пряма складова досягає до 80 % від загальної кількості і може бути розрахована за такою загальною формулою (для випадку, коли СП паралельна до поверхні Землі):

$$E_{\text{пр}} = E_0 * p^m * \cos\theta \quad (4.2)$$

де  $E_{\text{пр}}$  – пряма освітленість, лк;  $E_0 = 135000$  – освітленість на відстані 1 а.о. від Сонця (за межами атмосфери Землі), лк;  $p = 0 \dots 1$  – коефіцієнт прозорості атмосфери (середнє значення – 0,8, диму – 0,6, густі хмари – 0);  $m$  – “маса” атмосфери;  $\theta$  – кут між сонячними променями та нормаллю до СП.

“Маса” атмосфери враховує збільшення товщини атмосфери, яку проходять сонячні промені при куті падіння більше  $0^\circ$ , за найбільш простою методикою розраховується за такою формулою:

$$m = 1/\cos\theta$$

Розсіяне (дифузне) випромінювання створюється за рахунок дисперсії на молекулах повітря та хмарах. У сонячні дні відносна частка дифузної складової освітленості складає близько 20 % від загальної, в той час як у хмарну погоду наближається до 100 %. Так як і для прямої складової, дифузне випромінювання залежить від “маси” атмосфери, і приблизно опівдні буде в декілька разів більшим ніж зранку та увечері, так як сонячні промені проходять меншу товщу атмосфери і менше поглинатимуться.

Так як дифузне випромінювання створюється не точковим джерелом, а всією небесною напівсферою, то ефективність його освоєння буде для сонячної панелі, нормаль до якої направлена в зеніт. Дифузна освітленість може бути розрахована за формулою 4.3:

$$E_{\text{диф}} = k_{\text{диф}} * E_0 * p^m * (\theta + 90)/180 \quad (4.3)$$

де  $k_{\text{диф}}$  – коефіцієнт рівня дифузного випромінювання,  $k_{\text{диф}} = 0,1 \dots 0,2$ ;  $E_{\text{диф}}$  – дифузна освітленість, лк;  $\theta$  – кут між нормаллю до СП та зенітом.

Відбите випромінювання буде залежати від багатьох факторів, які досить важко врахувати (альbedo поверхні в місці розташування ФЕП, будівлі й т. п.), тому як правило, в розрахунках дана складова не враховується.

Для математичного розрахунку ефективності фотоелектричної системи будемо вважати, що:

- коефіцієнт прозорості атмосфери  $\rho = 0,8$  (відсутність хмар) протягом усього дня;
- геометричні координати місця розташування ФЕП відповідають координатам (широта –  $51^{\circ}30'00''$  пів.ш., довгота –  $31^{\circ}18'00''$  с.д.);
- сонячне випромінювання має пряму й розсіяну складову, які можна розрахувати за формулами (4.2) та (4.3) відповідно[42].

### 4.3 Математичний розрахунок ефективності сонячних трекерів

Найпростішим є визначення ефективності двохвісного трекера, так як різниця зенітних кутів та азимутів СП й Сонця в цьому випадку буде нульовою. Відповідно, для цього випадку вихідна потужність може бути розрахована за такою формулою 4.4:

$$P_{\text{вих}} = (E_{\text{пр}} + E_{\text{диф}}) * P_{\text{max}} / E_{\text{баз}} \quad (4.4)$$

де  $P_{\text{max}}$  – є максимальна вихідна потужність ФЕП, Вт при базовій потужності сонячного випромінювання  $1000 \text{ Вт/м}^2$  (базовій освітленості  $E_{\text{баз}} = 100000 \text{ лк}$ ).

Побудована за формулою 4.4 залежність вихідної потужності для ФЕП з  $P_{\text{max}} = 1 \text{ Вт}$  та двохвісним трекером залежно від часу дня та номера місяця наведена на рисунку 4.1, А. Максимальна потужність, яку вироблятиме ФЕП у (листопаді січні) буде суттєво меншою, ніж у (травні липні). Це пов'язано з тим що, в зимку Сонце в Україні буде дуже низько над горизонтом, й навіть за умови сонячної погоди в полудень “маса” атмосфери буде знасно більшою, ніж у полудень улітку, коли сонце знаходиться значно вище. У випадку, коли використовується одновісний СТ зі слідуванням за зенітним кутом Сонця, СП за азимутутом орієнтується в південному напрямку  $180^{\circ}$ . Вихідна потужність для такого типу трекеру СП визначається таким чином:



$$P_{\text{вих}} = (E_{\text{пр}} + E_{\text{диф}}) * P_{\text{max}} * \cos(\beta - 180) \text{ при } \beta = [90^\circ \dots 270^\circ] \quad (4.5)$$

$$P_{\text{вих}} = E_{\text{диф}} * P_{\text{max}} * \cos(\beta - 180) \text{ при інших } \beta$$

де  $\beta$  – азимут Сонця

У формулі 4.5 враховано, що на поверхню СП будуть потрапляти лише розсіяні сонячні промені у випадку, коли азимут Сонця менший  $< 90^\circ$  і більше  $> 270^\circ$ , що буде в ті періоди, коли тривалість сонячного дня більше дванадцять годин.

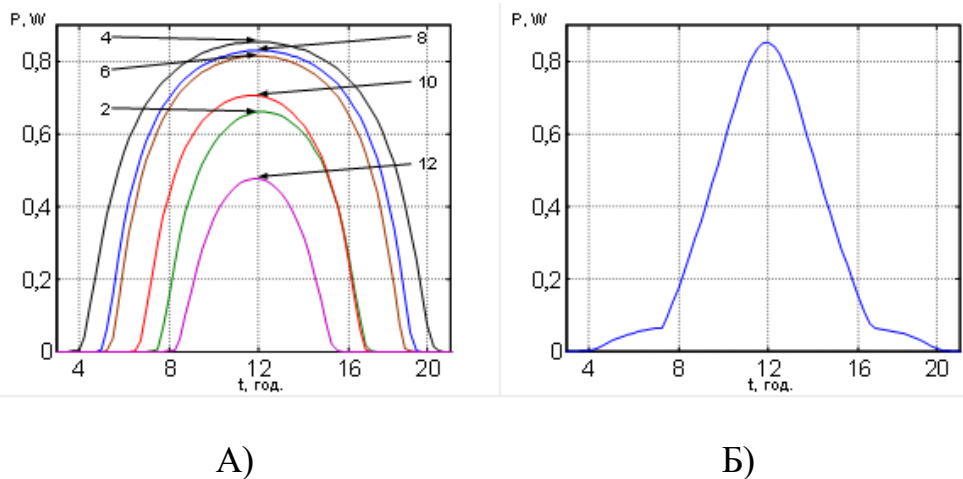


Рисунок 4.2 – Залежність вихідної потужності СП з двохвісним трекером (а) та з одновісним трекером зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця для червня (б), 2, 4, 6, 8, 10, 12 – номер місяця

Залежність вихідної потужності ФЕП від часу доби для одновісного трекера зі слідкуванням за азимутом Сонця для червня місяця показана на рисунку 4.2,б. Як видно з залежності, влітку такий трекер буде неефективним, так як частину ранку і частину вечора прямі сонячні промені не потраплятимуть на СП.

Для одновісного СТ з слідкуванням за азимутом Сонця, СП за зенітним кутом може бути орієнтована на будь-який кут, від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Вихідна потужність СП для такого типу трекера буде визначатися таким чином:

$$P_{\text{вих}} = (E_{\text{пр}} + E_{\text{при}}) * P_{\text{max}} * \cos(a - \theta_{\text{СП}}) \quad (4.6)$$

де  $a$  – zenітний кут Сонця;

$\theta_{\text{СП}}$  – zenітний кут СП.

Для повністю фіксованої СП панель за азимутом орієнтується в південному напрямку ( $180^\circ$ ), а за zenітним кутом може бути орієнтована на будь-який кут, від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ), який залишається незмінним. Вихідна потужність для такого типу трекеру СП визначається таким чином:

$$P_{\text{вих}} = (E_{\text{пр}} + E_{\text{диф}}) * P_{\text{max}} * \cos(\beta - 180) * \cos(a - \theta_{\text{СП}}) \text{ при } \beta = [a - \theta_{\text{СП}}] . \quad (4.7)$$

$$P_{\text{вих}} = E_{\text{диф}} * P_{\text{max}} * \cos(\beta - 180) * \cos(a - \theta_{\text{СП}}) \text{ при інших } \beta.$$

Побудовані за формулами 4.6 та 4.7 залежності вихідної потужності для різних zenітних кутів нахилу панелі показані на рисунку 4.2,а та б, відповідно.

На основі побудованих часових залежностей максимальної вихідної потужності рисунок 4.2, а можна розрахувати сумарну потужність  $P_{\text{д}}$ , вироблену ФЕП за день для різних місяців року. Максимальну кількість електроенергії вироблятиме двохвісний трекер, дані для нього залежно від номеру місяця (1 – січень, ... 12 – грудень) наведено в таблиці 3.1. Як видно максимальна кількість енергії за день виробляється в червні, в той час як у зимові місяці ефективність фотоелектричної системи буде досить низькою.

Сумарна денна потужність для одновісних типів трекерів та для фіксованої панелі для червня, як найбільш сприятливого для ФЕП місяця знесена в таблицю 4.1.

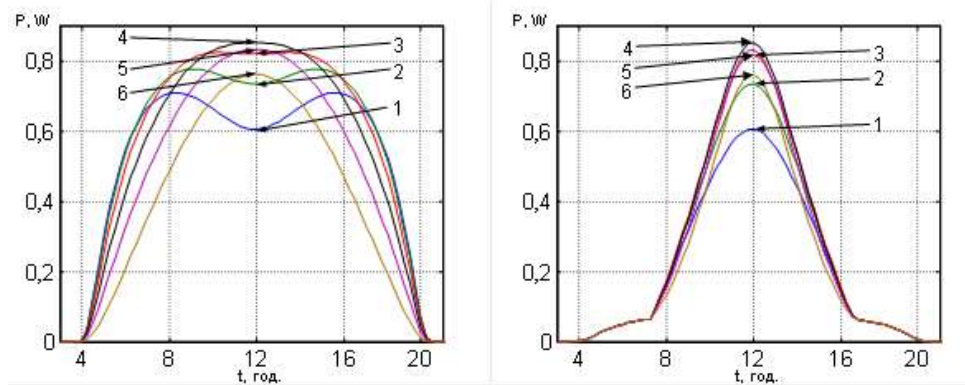


Рисунок.4.3. – Залежність вихідної потужності СП для червня: з одновісним трекером зі слідкуванням за азимутом Сонця (а), для фіксованої панелі (б), кут нахилу панелі 1-15°, 2-30°, 3-45°, 4-60°, 5-75°, 6-90°

Таблиця 4.1 – Потужність вироблена СП за день сонячною панеллю з двохвісним трекером

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1
$P_{д}$	2	4	6	8	9	<b>1</b>	1	8	7	5	3	2
$V_{т}$	,74	,46	,34	,23	,62	<b>0,3</b>	0,0	,90	,20	,25	,32	,28
$P_{д}^{вi}$	2	4	6	7	9	<b>1</b>	9	8	6	5	3	2
$d, \%$	6,6	3,2	1,4	9,7	3,2	<b>00</b>	7,3	6,2	9,7	0,9	2,2	2,1

Таблиця 4.2 – Потужність, вироблена СП за день з одновісним трекером та без нього

Кут нахилу СП, °		15	30	45	60	75	90
$P_{д}, \text{Вт}$	зі слідкуванням за азимутом Сонця	8,96	9,75	<b>9,94</b>	9,52	8,51	6,99
	зі слідкуванням за зенітним кутом Сонця	<b>4,76</b>					

для фіксованої СП	3,82	4,36	4,67	<b>4,72</b>	4,52	4,07
-------------------	------	------	------	-------------	------	------

Як видно з даних таблиці 3,2 трекер з слідкуванням за зенітним кутом Сонця й фіксованим азимутом  $180^\circ$  виробляє енергії лише на 0,8 % більше, ніж фіксована панель, кут нахилу якої  $\beta$  оптимальний для цього місяця, та для червня становить приблизно  $60^\circ$ . У той же час, порівнюючи ефективність двохвісного трекеру з одновісним зі слідкуванням за азимутом. Сонце видно, у випадку оптимального кута нахилу СП (біля 45 % для червня), виробляє енергії менше на 3,5 % [43].

#### 4.4 Висновки

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було ознайомлено з принципом роботи системи стеження (трекер). Були наведені різні принципи роботи та показані переваги та недоліки, з чого було зрозуміло який спосіб управління більше підходить. А також було представлено математичний розрахунок ефективності сонячного трекера. Було проведено дослідження на ефективність роботи в різні місяця року з одноосьовим та двохосьовим трекером. Дані були занесені в таблиці та по даним таблицям були зроблені висновки.

## 5 СИНТЕЗ ЗАГАЛЬНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИ ПАНЕЛЕЙ

### 5.1 Порівняння структурних схем

Системи стеження за сонцем можна розділити на два види: ті, які рухаються за програмою, в якій прописані зенітні і азимутальні кути для конкретної місцевості та ті, які використовую світлочутливі датчики для безпосереднього слідкування за сонцем. Другі, в свою чергу, можна побудувати як на аналогових елементах так і з використанням програмованих контролерів, що збільшує функціонал.

Для вибору однієї із наведених нижче структурних схем, важливим елементом являється те, що користувач хоче отримати в результаті від системи, тобто який параметр буде найбільш важливим для роботи.

Найголовнішими критеріями обираємо точність вимірювання та надійність.

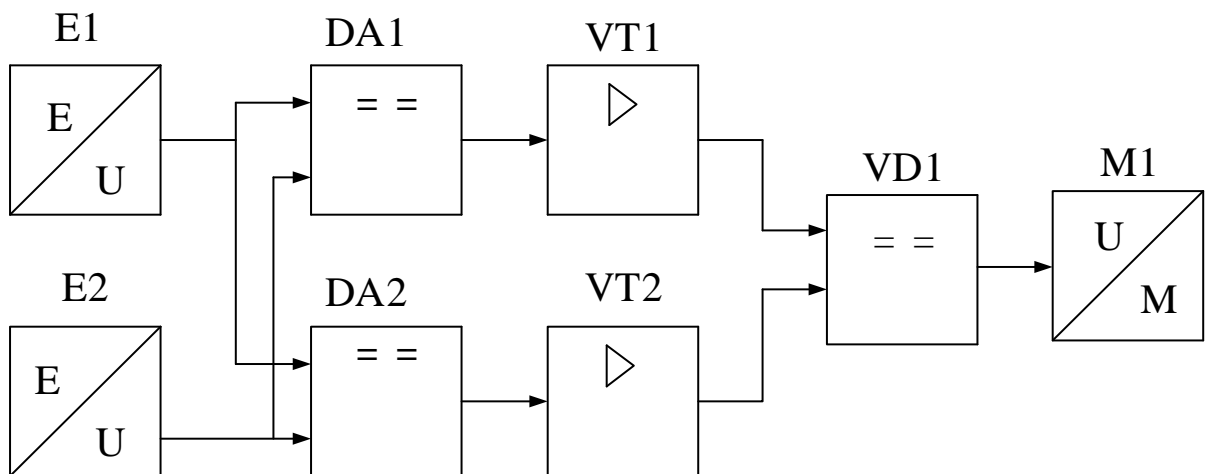


Рисунок 5.1 – Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем на базі аналогових елементів №1

E1/2- фоторезистори	VT1-фотодіод
DA1/2- компаратори	M1- серводвигун
VTT1/2- транзистори	

Принци дії наведеної структурної схеми полягає в наступному:

Робота системи розпочинається після того як на фоторезистори попадає світло, яке перетворюється з світлових сигналів в електричний сигнал. Далі сигнали потрапляють на компаратори, які являють собою електронні схеми, які беруть на свої входи два аналогових сигнали і видають сигнал високого рівня. Сигнал високого рівня який виходить з компаратора надходить на транзистори, які мають змогу керувати певним сигналом, вони його пропускають тільки в тому випадку якщо сигнал є достатньо сильним. Після транзисторів сигнал потрапляє до діода, який призначений для перетворення змінної напруги в постійну. В кінцевому результаті сигнал потрапляє до сервопривода який виконує свою функцію.

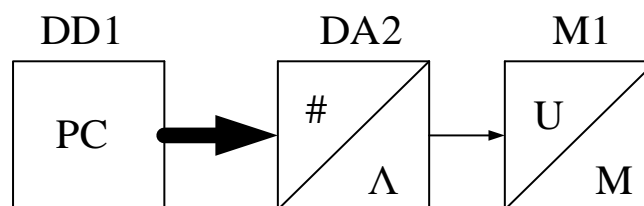


Рисунок 5.2 – Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем по відомих кутах №2

Дана структурна схема працює за таким принципом:

Першим елементом структурної схеми є мікроконтролер, який є запрограмований, та видає код для виконання певної функції в певний час

та дату, автоматично без участі оператора. Далі код надходить на цифро-аналоговий перетворювач який перетворює у аналоговий сигнал. Після того як цифро-аналоговий перетворювач перетворив код у сигнал він потрапляє на серводвигун який виконує дію яка була поставлена контролером.

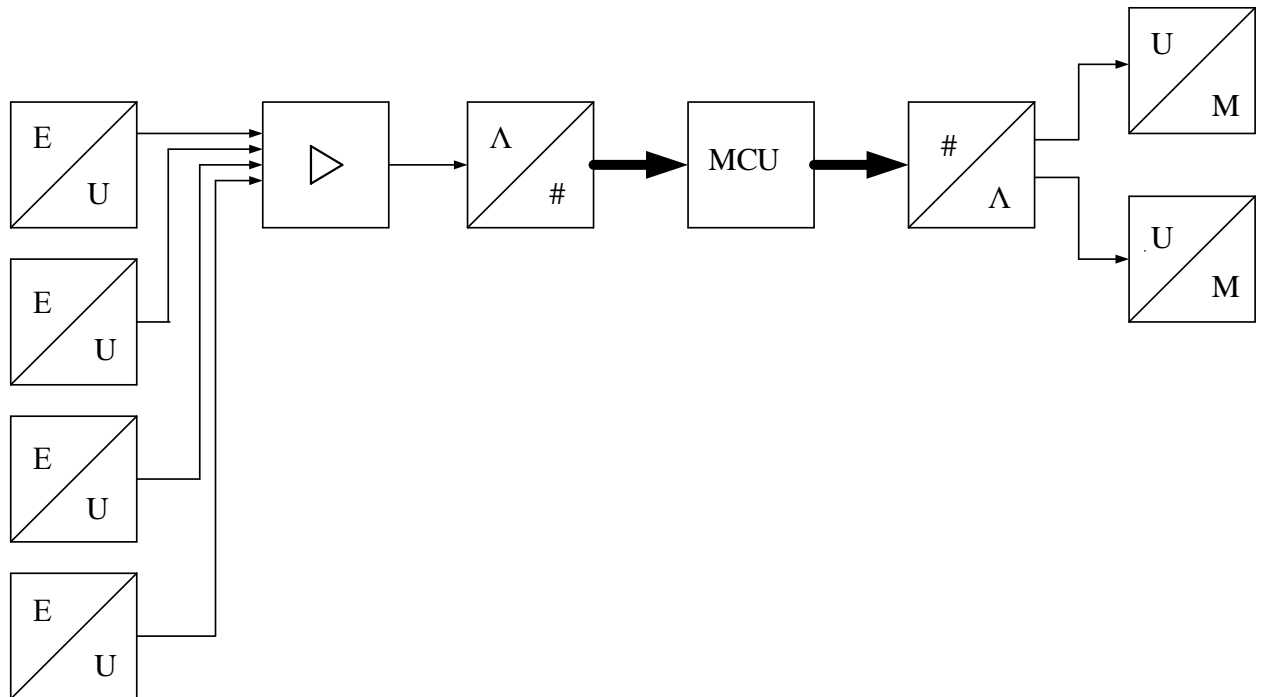


Рисунок 5.3 – Структурна схема реалізації системи стеження за сонцем по відомих кутах з двома серводвигунами №3

Дана схема є подібною по роботі до попередніх схем. Але є більш функціональною. Існує чотири фоторезистора, на один з яких потрапляє більше сонячного світла. Даний сигнал який виходить з певного фоторезистора потрап на підсилювач, таким чином підсилювальний сигнал потрапляє на аналогово-цифровий перетворювач, який певний сигнал перетворює у код, та передає його на контролер. Контролер приймає код обробляє його та передає його на цифро-аналоговий перетворювач. При надходженні коду на цифро-аналоговий перетворювач, код перетворюється

у сигнал та поступає на серводвигун який в свою чергу виконує певну функцію яка йому надійшла від контролера.

Для того, щоб порівняти вище наведені структурні схеми занесемо основні параметри системи до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняння структурних схем

Параметри	Схема №1	Схема №2	Схема №3	Еталона схема
$E_i$				
Точність вимірювання	0	1	1	1
Надійність	0	0	1	1
Швидкодія	0	1	1	1
Низька собівартість	1	0	0	1
Складність реалізації	1	0	1	1
Функціональність	0	1	1	1
$\Sigma, E_n$	2	3	5	6

Для вибору кращого варіанту реалізації системи використаємо узагальнений якісний критерій порівняння, який полягає у визначенні загальної ефективності системи як відношення реального якісного критерію  $E_i$ , який забезпечує заданий варіант реалізації системи, до потенційного якісного критерію  $E_n$ , що відповідає ідеальній системі.

Обчислимо узагальнений коефіцієнт якості, який знаходиться за наступною формулою:

$$K = \frac{E_i}{E_n}. \quad (5.1)$$



Узагальнений критерій якості першої схеми:

$$K_1 = \frac{E_1}{E_n} = \frac{2}{6} = 0,33. \quad (5.2)$$

Узагальнений критерій якості другої схеми:

$$K_2 = \frac{E_2}{E_n} = \frac{3}{6} = 0,5. \quad (5.3)$$

Узагальнений критерій якості третьої схеми:

$$K_2 = \frac{E_2}{E_n} = \frac{5}{6} = 0,83. \quad (5.4)$$

Як бачимо, критерій якості першої та другої схеми менший, ніж для першої третьої схеми.

Виходячи з оцінки характеристик наведених вище структурних схем можна зробити висновок, що для задачі розробки системи найкраще підходить структурна схема, яка представлена на рисунку 5.3.

## 5.2 Рівняння перетворення

Відповідно до структурної схеми яка зображена на рисунку 5.3, було виведено рівняння перетворення. В даному рівнянні показано як перетворюється сонячна енергія в електричну за допомогою формули Ейнштейна для фотоефекту.

$$E = h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (5.5)$$

де  $h$  - стала Планка;

$\nu$  – частота;

$A$ - робота;

$\frac{mv^2}{2}$  - кінетична енергія електрона;

Електричний сигнал напруги пов'язаний з виразом (5.5) та формулою(5.6).

$$U_{\text{вих}} = \frac{E}{e} - \frac{A}{e} \quad (5.6)$$

Оскільки в структурні схемі використовується аналогово-цифровий перетворювач що побудований за принципом послідовного наближення то вихідний код пов'язаний з вхідним аналоговим сигналом з виразу (5.7)

$$N = \frac{\left(\frac{E}{e} - \frac{A}{e}\right)}{U_{REF}} \cdot 2^{n-1} \quad (5.7)$$

де  $e$  – заряд електрона

$A$  – робота електрона

$h$  – стала Планка 1 кВт

$U_{REF}$  – упорна напруга

Розрахуємо похибки складових елементів вимірювального каналу. Як видно з рисунку 5.3, основні складові елементи мають такі похибки;

а) Похибка первинного перетворення з сонячної енергії в електричну яка складає 1%.

б) Похибка квантування яку розраховуємо за виразом  $\delta_{\text{кв}} = \frac{1}{N} \cdot 100\%$ .

Проведемо розрахунок похибки квантування АЦП за допомогою даної формули:

$$N = K \cdot \frac{U_x}{U_0} \cdot 2^{n-1} \quad (5.8)$$

де  $U_x$  – напруга кремнієвого елемента;  $U_x = 0,5$  В

$n$  - розрядність АЦП  $n=8$ ;

$U_0$  – опорна напруга; 3В

$K$  – підсилення.

Підставивши значення отримаємо:

$$N = 500 \cdot \frac{0,5}{3} 2^7 = 10666$$

В кінцевому результаті виходячи з даної формули  $\delta_{\text{кв}}$  буде дорівнювати:

$$\delta_{\text{кв}} = \frac{1}{10666} \cdot 100\% = 0,009\% \quad (5.9)$$

в) Оскільки далі у вимірювальному каналі йде цифро-аналоговий перетворювач який має десять розрядів і відповідно до паспорта має точність  $\approx 0.002\%$ , похибка цифро-аналогового перетворювача відповідно документації буде становити  $\approx 0,004\%$

г) Наступним в схемі є серводвигун його похибка становить  $2\%$

Тоді враховуючи перераховані вище складові похибки, сумарну розрахуємо за виразом (5.10).

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2} \quad (5.10)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{1^2 + 0,009^2 + 0,004^2 + 2^2} = 2.236 \%$$

Отже сумарна похибка вимірювального каналу буде становити 2.236 %.

### 5.3 Аналіз та розробка схеми з'єднання основних блоків системи

Електрично функціональна схема системи контролю параметрів сонячних панелей наведена на рис. 5.4, та у додатку В.

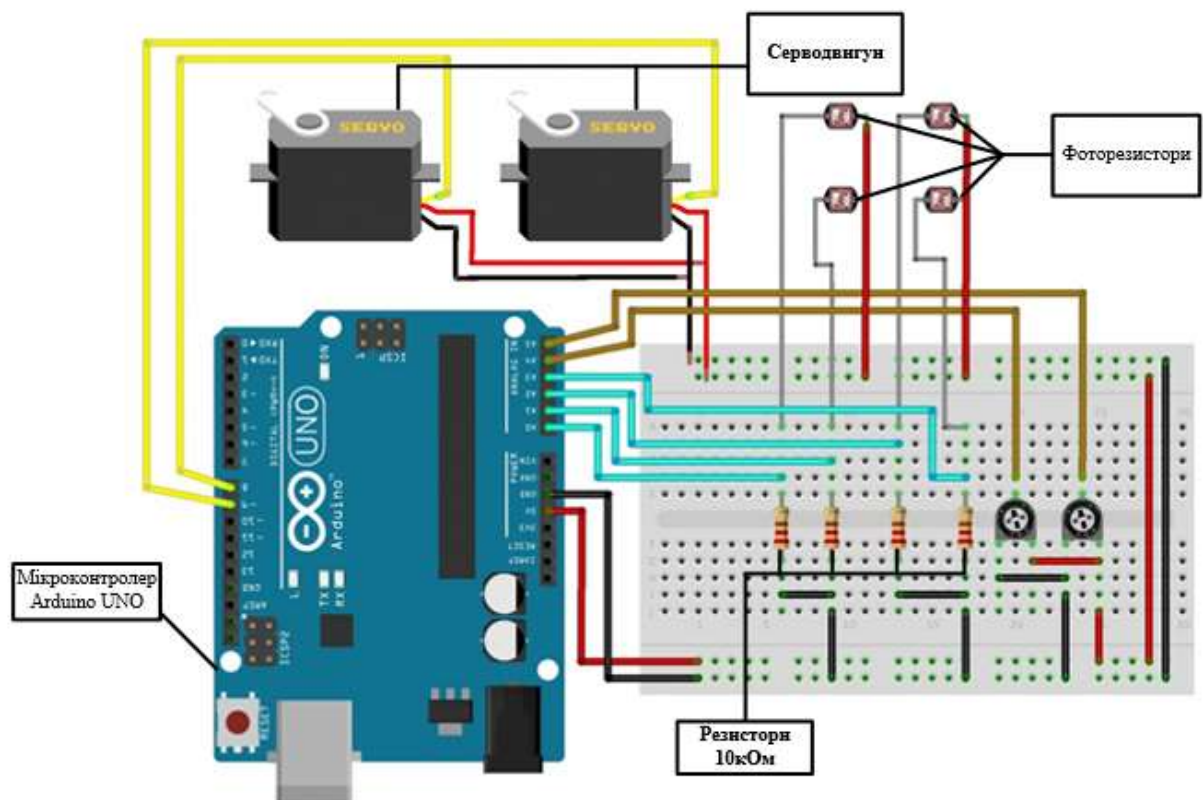


Рисунок 5.4 – Електрично функціональна схема системи контролю електричних параметрів сонячних панелей

В даній роботі система збиралася на базі модуля Arduino. Для обертання платформи в горизонтальній і вертикальній вісі використовуються сервоприводи, кут повороту яких залежить від потужності падаючого на фоторезистори світла. Електрично принципова схема системи контролю

електричних параметрів сонячних панелей відображена у таких додатках (Б,В,Г,Д). А саме механічна частина у додатку Б, оснвиний канал системи у додатку В, додатковий канал системи у додатку Г, та загальна електрично принципова схема у додатку Д. Для реалізації знадобляться наступні елементи:

- Arduino UNO;
- сервопривід – 2х;
- фоторезистор – 4х;
- резистор 10 kOhm – 4х .

Головним завданням розміщення фотосенсорів є забезпечення рівного розподілу світла для кожного з чотирьох елементів. Цього можна досягти двома способами: а саме розмістити фоторезистори під прямим кутом один відносно одного, або встановити між ними світлонепроникну перегородку. Якщо залишити їх без перегородок тоді значення, одержувані з сенсорів, будуть приблизно однакові. Для реалізації був обраний другий варіант, як показано на рисунку 5.5.

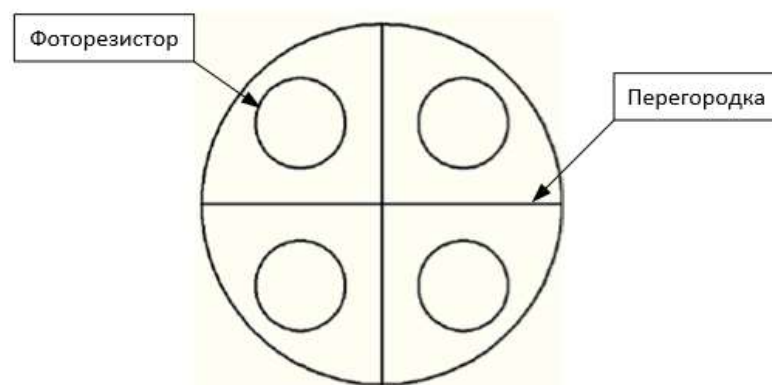


Рисунок 5.5 – Розміщення фоторезисторі

Підключення світлочувливих елементів здійснюється за схемою подільника напруги, для чого потрібні резистори [44]. До Arduino фоторезистори підключається наступним чином: один контакт підключається

до джерела живлення, другий – до землі через понижуючий резистор. Після цього точка між резистором з постійним номіналом і змінним резистором – фоторезистором – підключається до аналогового входу мікроконтролера. На рисунку 5.6, показана схема підключення фоторезистора до Arduino

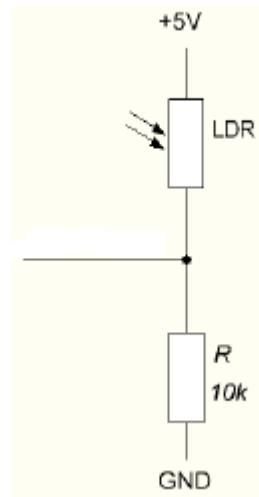


Рисунок 5.6 – Схема підключення фоторезистора до Arduino

Arduino – це ефективний засіб розробки програмованих електронних пристроїв. А також це відкрита програмована апаратна платформа для роботи з різними фізичними об'єктами і являє собою просту плату з мікроконтролером, а також спеціальне середовище розробки для написання програмного забезпечення для мікроконтролера.

Існує багато інших мікроконтролерів і мікропроцесорних пристроїв, призначених для програмування різних апаратних засобів: Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, MIT's Handyboard і багато інших. Всі ці пристрої пропонують схожу функціональність і покликані звільнити користувача від необхідності заглиблюватися в дрібні деталі внутрішнього устрою мікроконтролерів, надавши йому простий і зручний інтерфейс для їх програмування. Ардуіно також спрощує процес роботи з мікроконтролерами, але на відміну від інших систем надає ряд переваг для викладачів, та студентів і радіолюбителів:

- низька вартість, у порівнянні зі схожими апаратними платформами;

- кросплатформеність;
- просте і зручне середовище програмування;
- розширюване програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом;
- розширюване відкрите апаратне забезпечення.

Програмне забезпечення Ардуіно працює на операційних системах Windows, Macintosh OS X і Linux, в той час, як більшість подібних систем орієнтовані на роботу тільки в Windows.

Середовище програмування Ардуіно зрозуміле і просте для початківців, але при цьому досить гнучке для досвідчених користувачів, воно заснована на середовищі програмування Processing. Завдяки цьому, студенти, які вивчають програмування в середовищі Processing, зможуть легко освоїти Ардуіно.

Програмне забезпечення Ардуіно має відкритий вихідний код, завдяки цьому досвідчені програмісти можуть змінювати і доповнювати його.

Можливості мови Ардуіно можна також розширювати за допомогою C++ бібліотек. Завдяки тому, що він заснований на мові AVR C, досвідчені користувачі, що бажають розібратися в технічних деталях, можуть легко перейти з мови Ардуіно на C або вставляти ділянки AVR-C коду безпосередньо в програми Ардуіно[45].

Сервопривід – це привід з управлінням через зворотній зв'язок, що дозволяє точно керувати параметрами руху. Сервоприводом є будь-який тип механічного приводу, що має в складі датчик (положення, швидкості, зусилля і т.п.) і блок управління приводом, автоматично підтримує необхідні параметри на сенсору і пристрої відповідно до заданого зовнішнього значення[46].

Схема складається з генератора опорного імпульсу, до якого підключений потенціометр зворотного зв'язку, компаратора, пристрою вибірки-зберігання і силового моста, в діагональ якого включений електромотор. Керуючий імпульс від приймача приходиться на компаратор і одночасно запускає генератор опорного імпульсу. Тривалість опорного

імпульсу залежить від положення потенціометра зворотного зв'язку, механічно з'єднаного з вихідним валом. Керуючий і опорний імпульси порівнюються компаратором по тривалості. Різницевий імпульс з'являється на верхньому, або нижньому виходах компаратора, в залежності від того, який з порівнюваних імпульсів довше. Довжина різницевого імпульсу визначає величину неузгодженості між необхідним і наявним положенням валу. Ця величина вимірюється і запам'ятовується у вигляді постійного потенціалу на час циклу керуючого імпульсу в пристрої вибірки-зберігання. Виходи останнього керують ключами силового моста.

Для того щоб положення контролювалося пристроєм, необхідний датчик зворотного зв'язку – енкодер, який буде перетворювати кут повороту в електричний сигнал. Для цього часто застосовують потенціометр. При повороті бігунка потенціометра відбувається зміна його опору, пропорційно куту повороту. Таким чином, з його допомогою можна визначити поточний стан механізму. До сервоприводу під'єднується 3 дроти. Два з них відповідають за живлення мотора, третім подається керуючий сигнал, який використовується для встановлення положення пристрою.

Щоб задати сервоприводу бажане положення, необхідно надсилати керуючий сигнал. Керуючий сигнал – імпульси постійної частоти і змінної ширини. Положення сервоприводу, залежить від довжини імпульсів. Коли сигнал надходить в керуючу схему, наявний в ній генератор імпульсів виробляє свій імпульс, тривалість якого визначається через потенціометр. Інша частина схеми порівнює тривалість двох імпульсів. Якщо тривалість різна, включається електромотор. Напрямок обертання визначається тим, який з імпульсів коротше. Якщо довжини імпульсів рівні, електромотор стоїть.

Найчастіше імпульси виробляються з частотою 50 Гц. Це означає, що імпульс випускається та приймається раз в 20 мс. Зазвичай при цьому тривалість імпульсу в 1520 мкс означає, що сервопривід повинен зайняти середнє положення. Збільшення або зменшення довжини імпульсу змусить



сервопривід повернутися за годинниковою або проти годинникової стрілки відповідно. При цьому існують верхня і нижня межі тривалості імпульсу. У бібліотеці Servo для Arduino за замовчуванням виставлені наступні значення довжин імпульсу: 544 мкс – для  $0^\circ$  і 2400 мкс – для  $180^\circ$ [47].

#### **5.4 Програмна реалізація**

Загальний алгоритм роботи полягає в обробці даних з фоторезисторів за допомогою АЦП. Маємо чотири елементи, тобто чотири показники, знаходимо середнє значення по лівій стороні ((верхній лівий + нижній лівий) / 2), аналогічно по правій, верхній та нижній сторонам. Якщо різниця по модулю між лівою і правою стороною більше певного порога, то здійснюємо поворот в сторону з більшим середнім значенням.

Для запобігання надмірного повороту платформи присутні програмні ліміти повороту, які в разі потреби можна відключити. Також, в кодї програми передбачена константа deadband, при різниці показників з датчиків менше значення цієї константи, контролер не даватиме команду на сервопривід. Таким чином усувається смикання привода.

У початковій секції програми описуються бібліотеки, визначаються піни і константи. Програмна реалізація даної програми представлена у додатку Ж.

#### **5.5 Аналіз та оцінення похибок вимірювань**

Для розробленого засобу контролю електричних параметрів сонячних панелей врахуємо такі складові загальної похибки: інструментальна та методична складова. Для повного метрологічного аналізу засобу контролю оцінимо кожну з них.

Інструментальна похибка виникає у вимірювальних каналах (оптичному, механічному) за місцем їх виникнення. Основними складовими

інструментальної похибки в розробленому засобі контролю електричних параметрів сонячних панелей, є:

- похибка кута повороту ротора у механічній системі контролю електричних параметрів сонячних панелей,  $\Delta_{\text{Кут повор.}}$  яка зумовлюється точністю енкодера .

- похибку перетворення фотоелемента  $\Delta_{\text{Перет. фотое.}}$ . Ця складова похибки зумовлена фізикою p-n переходу.

- похибки додаткових вимірювальних каналів, сенсора освітлення,  $\Delta_{\text{Дод. канал.}}$ , значення якого має вплив на автономність роботи установки в цілому.

- похибка АЦП  $\Delta_{\text{АЦП}}$ . Головною складовою похибки АЦП є похибка квантування, іншими похибками, у порівнянні з нею, можна знехтувати.

Отже, загальна інструментальна похибка буде мати вигляд:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\Delta_{\text{Кут повор.}}^2 + \Delta_{\text{Перет. фотое.}}^2 + \Delta_{\text{Дод. канал.}}^2 + \Delta_{\text{АЦП}}^2} \quad (5.11)$$

Підставивши орієнтовні значення похибок, отримаємо значення оцінки інструментальної похибки на рівні 1%.

Методичні похибки виникають через недосконалість методу вимірювання (не залежать від якості виготовлення засобу контролю) та наближень, що допускаються при проектуванні засобу контролю. Основною складовою методичної похибки є використання відносного методу вимірювання. До основних методичних похибок віднесемо:

- похибка вимірювального перетворення  $\Delta_{\text{Вимір. перет.}}$  математичної моделі . В робочому діапазоні максимальне відхилення складає 0.3%.

- похибка адитивності  $\Delta_{\text{Адит.}}$  (вона включає всі складові, округлення розрахунків певних показів оптимізації математичних моделей).

Таким чином, загальна методична похибка:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\Delta_{\text{перет.}}^2 + \Delta_{\text{Вимір.}}^2 + \Delta_{\text{Адит.}}^2} \quad (5.12)$$

Підставивши відповідні значення похибок, отримаємо значення методичної похибки – 1 %.

$$\bar{\Delta}_{\text{Заг.}} = \bar{\Delta}_{\text{Інструм.}} + \bar{\Delta}_{\text{Метод.}} \quad (5.13)$$

Загальна похибка вимірювань дорівнює сумі інструментальних і методичних похибок і складає 2 % [48].

## 5.6 Висновки

В п'ятому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було проведено розробку структурних схем, а також проаналізовані принципи роботи. Була створена таблиця в яку було занесено параметри по яким повинна відповідати система. Після розгляду та порівняння кожної структурної схеми було оцінено кожний параметр. Завдяки оцінюванню параметрів нам дало можливість бачити яка з схем володіє кращими. В кінцевому результаті було розраховано узагальнений коефіцієнт якості трьох схем та вибраний кращий. А також було виведено рівняння перетворення, та розраховані похибки і також було розраховано сумарну похибку вимірювального каналу.

Ще було представлено схему з'єднання основних блоків системи контролю параметрів сонячних панелей. Та детально описано елементи даної системи та його переваги.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю електричних параметрів сонячних панелей, яка дозволить підвищити ефективність перетворення сонячної енергії у електричну шляхом зменшення втрат протягом дня за рахунок розробки засобів стеження за рухом сонця.

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри метрології та промислової автоматики: к.т.н., доц. Маньковську В. С. к.т.н., ст. викл. Дудатьєва І. А., ст. викл. Присяжнюка В. В. За допомогою таблиці 6.1 за п'ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв оцінки комерційного потенціалу розробки експерти надали свої оцінки.

Таблиця 6.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження табл. 6.1

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту
----	---	--	---	--	---

Таблиця 4.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 6.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 6.3 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Маньковську В. С.	Дудатьєв І. А.	Присяжнюка В. В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	1	2
2	3	3	3
3	1	1	1
4	5	5	5
5	1	1	0
6	5	4	5
7	0	0	0
8	5	5	5
9	4	4	4
10	5	5	5
11	5	5	5
12	2	1	1
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =38	СБ <sub>2</sub> =35	СБ <sub>3</sub> =36
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{38 + 35 + 36}{3} = 36$		

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів склала 36, що згідно таблиці 6.2 вважається, що рівень комерційного потенціалу розробки є вище середнього.

Двовісна система орієнтування за сонцем, яка розробляється в магістерській роботі може бути корисною сонячним електростанціям оскільки дає можливість виробляти більшу кількість електроенергії, дозволяє повноцінно використовувати випромінювання сонця, значно збільшує ефективність роботи сонячних панелей. Крім того впровадження нової розробки у виробництво дозволить нам отримати крім економічного, ще соціальний ефект оскільки ефективне використання альтернативних джерел енергії дозволить зекономити корисні копалини, які вичерпуються і покращити екологічну ситуацію в нашій країні та в світі в цілому.

Проведемо порівняння нової розробки з аналогами, які існують на ринку. В якості аналога для розробки було обрано одноосьовий трекер. Основними недоліками аналога є те що він оснащений лише одним приводом, та двома фоторезисторами, внаслідок чого він є менш ефективний ніж запропонована система. Також до недоліків можна віднести застарілий мікроконтролер.

У розробці дана проблема вирішується оснащенням системи стеження за сонцем (трекер), двома двигунами, а також чотирма фоторезисторами. В результаті сонячна панель стає ефективніша, та ККД в рази збільшується.

Також система випереджає аналог за такими параметрами як час затримки сигналу, ККД і, як наслідок, потужність на виході панелі.

В таблиці 6.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Дані що були занесені в таблицю 6.4 говорять про те що аналогова система стеження за сонцем є менш ефективна порівняно з новою розробкою, з чого ми можемо зробити висновок що аналоговий метод не є актуальним на сьогоднішній день.

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Таблиця 6.4 – Основні технічні показники аналога і нової розробки

Показники	Аналог	Нова розробка	Відношення параметрів нової розробки до параметрів аналога
ККД, %	4	50	12,5
Споживана потужність, Вт	300	200	0,66
Кількість контрольних точок	2	3	1,5
Затримка при обробці сигналу, с	3	1	0,33
Потужність на виході однієї панелі (при нормальних умовах), кВт	0,8	1	1,25

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (6.1) та (6.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 6.5.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (6.1)$$

Або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (6.2)$$

Де  $P_{Hi}$ ,  $P_{Bi}$  – числові значення  $i$ -го параметру відповідно нового і базового виробів.



Таблиця 6.5 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
ККД, %	4	50	12,5	25%
Споживана потужність, Вт	300	200	1,5	15%
Кількість контрольних точок	2	3	1,5	25%
Затримка при обробці сигналу, с	3	1	3	15%
Потужність на виході однієї панелі (при нормальних умовах), кВт	0,8	1	1,25	20%

$$q_1 = \frac{50}{4} = 12,5;$$

$$q_2 = \frac{300}{200} = 1,5;$$

$$q_3 = \frac{3}{2} = 1,5;$$

$$q_4 = \frac{3}{1} = 3;$$

$$q_5 = \frac{1}{0,8} = 1,25.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i \quad (6.3)$$

$$K_{\text{я.в.}} = 12,5 \cdot 0,25 + 1,5 \cdot 0,15 + 1,5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 + 1,25 \cdot 0,2 = 4,43$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

Приблизна ціна нового товару складе 14800 грн. Занесемо ці та інші показники (взяті з попередніх розрахунків) до табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Нормативні, технічні та економічні параметри інноваційного рішення і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар- конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
ККД, %	4	50
Споживана потужність, Вт	300	200
Кількість контрольних точок	2	3
Затримка при обробці сигналу, с	3	1
Потужність на виході однієї панелі (при нормальних умовах), кВт	0,8	1
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн	15500	14800

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}} \quad (6.4)$$

де  $I_{т.п.}$  – індекс технічних параметрів;  $I_{е.п.}$  – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (6.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}} \quad (6.5)$$

де  $P_{Hei}$ ,  $P_{Bei}$  – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{e.n.} = \frac{14800}{15500} = 0,95;$$

$$K = \frac{4,43}{0,95} = 4,66.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

## 6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

1. Основна заробітна плата – винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці. Вона встановлюється у вигляді тарифних ставок (окладів) і відрядних розцінок для робітників та посадових окладів для службовців. Стаття «Основна заробітна плата робітників» містить витрати на виплату основної заробітної плати робітникам, зайнятим виробництвом продукції.

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників)  $Z$  розраховується за формулою:

$$Z = \frac{M}{T_p} \cdot t, [\text{грн}] \quad (6.6)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника.

$T_p$  – число робочих днів,  $T_p = 22$ ;

$t$  – число днів роботи розробника.

Розрахунки основної заробітної плати зведемо в таблицю 6.7:

Таблиця 6.7 – Розрахунок основної заробітної плати розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	9500	431.8	5	2159
Інженер	6000	272.7	45	12273
Лаборант	4500	204.5	20	4091
Всього				18523

2. Основна заробітна плата робітників  $Z_p$  розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \quad (6.7)$$

де  $n$  – число робіт по видах та розрядах;

$t_i$  – норма часу на виконання конкретної операції, годин;

$C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує певну роботу, грн./год.:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}}, \quad (6.8)$$

де  $M_M$  – мінімальна місячна оплата праці, грн.;

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника даного розряду;

$T_p$  – число робочих днів в місяці ( $T_p=21 \dots 23$  дні);

$T_{зм}$  – тривалість зміни, годин ( $T_{зм} = 8$  годин).

Мінімальна місячна оплата праці робітника з 01.01.2019 року складає 4173,00 грн.

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду. Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 6.8:

Таблиця 6.8 – Тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду

Розряд	$K_i$
1	1,00
2	1,09
3	1,18
4	1,27
5	1,36
6	1,45
7	1,54
8	1,64

Інформацію про основну заробітну плату заносимо до таблиці 6.9

Таблиця 6.9 – Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1	2	3	4	5
1.Підготовчі	150	1	23,7	3556,5
2.Монтажні	100	3	28,0	2797,8
3.Складальні	50	5	32,2	1612,3
4.Налагоджувальні	24	2	25,8	620,3
5.Випробувальні	10	4	30,1	301,1
Всього				8888,0

3. До статті «Додаткова заробітна плата» відносяться витрати на виплату виробничому персоналу підприємства додаткової заробітної плати за працю понад установлені норми, заохочувальні виплати за поточну виробничу діяльність, компенсаційні виплати тощо. Звичайно, ці витрати встановлюються у відсотках до основної заробітної плати на підставі відповідних розрахунків на підприємстві:

$$Z_d = 11\% \cdot Z_{\Sigma} \quad (6.9)$$

$$Z_d = 11\% \cdot (18523 + 8888) = 3015,2 (\text{грн.}).$$

4. Витати на соціальні заходи виникають внаслідок здійснення обов'язкової сплати єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування. Відрахування на соціальні заходи здійснюється від суми всіх витрат на оплату праці робітників, зайнятих безпосередньо виробництвом продукції:

$$B_{cз} = (З_{\Sigma} + З_d) \cdot \frac{\beta}{100\%} \quad (6.10)$$

де  $\beta$  – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

З 1.01.2016 року ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування встановлена залежно від класу професійного ризику виробництва і для бюджетної сфери  $\beta=22,0\%$ .

$$B_{cз} = (18523 + 8888 + 3015,2) \cdot \frac{22,0\%}{100\%} = 6693,7 \text{ (грн.)}.$$

5. У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування у загальному можуть бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot T}{T_{кор} \cdot 12} \text{ [грн]}, \quad (6.11)$$

де  $Ц$  – балансова вартість даного виду обладнання (приміщень), грн.;

$T_{кор}$  – час користування;

$T$  – термін використання обладнання (приміщень), цілі місяці.

Згідно пункту 137.3.3 Податкового кодекса амортизація нараховується на основні засоби вартістю понад 2500 грн.

Всі проведені розрахунки амортизаційних відрахувань заносимо в табл. 6.10

Таблиця 6.10 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень	Балансова вартість, грн.	$t_{кор}$ (р)	Термін використання міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
1. Вольтметр	2700	4	1	56,25
2. Комп'ютер	11000	3	2	611,11
3. Осцилограф	3200	4	1	66,67
Всього				734,03

6. Норма витрат матеріалу – це плановий показник, який визначає максимально допустимі затрати відповідних ресурсів на виробництво одиниці продукції в умовах певного рівня техніки і організації виробництва.

Витрати на матеріали  $M$ , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot C_v \text{ [грн]}, \quad (6.12)$$

де  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування, грн./кг.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ ;

$V_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$C_v$  – ціна відходів матеріалу  $i$ -го найменування, грн/кг;

$n$  – кількість видів матеріалів.

Інформацію про використані матеріали подамо у вигляді табл. 6.11.

Таблиця 6.11 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн
Лак ЕП-730	50	0,1	5
Припой ПОС-61	15	0,03	0,45
Флюс БС-2	10	0,08	0,8
Спиртобензин СВС-50	30	3	90
Дріт монтажний	15	0,06	0,9
Всього			97,15
З врахуванням коефіцієнта транспортування			106,87

4. Витрати на комплектуючі вироби, які використовують при виготовленні одиниці продукції, розраховуються, згідно їх номенклатури, за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \quad (6.13)$$

де  $H_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  – покупна ціна комплектуючих  $i$ -го найменування, грн.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат (1,1...1,15);

Таблиця 6.12 – Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування	Ціна, грн.	Витрачено, шт.	Вартість, грн.
Приводи	2	2393	4786
Фоторезистори	8	4	32
Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K	1	1000	1000
Конденсатори	20	0,70	14
Наземна система кріплень	2	2000	4000
Резистори	38	0,45	17,1
Транзистори	12	4,50	54
Мікросхеми	1	5,00	5
Пластмаса(полістерол)	1	4,00	400
Блок захисту станції	1	5000	5000
Всього (з врахуванням транспортних витрат)			16838,91

8. До статті «Паливо та енергія на технологічні цілі» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються у процесі виробництва продукції. У даному випадку будемо враховувати лише витрати на електроенергію. Витрати на енергію визначаються на основі витрат на одиницю продукції та тарифів на енергію за допомогою залежності:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (6.14)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт енергії, грн.  $V = 2,1$  грн/кВт\*год;



$P$  – установлена потужність обладнання, кВт. При паяні використовується паяльник потужність  $P = 60$  Вт або  $P = 0,06$  кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, год.  $\Phi = 300$  год;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності,  $K_{\Pi} = 0,65$ .

$$B_{\epsilon} = 2,18 \cdot 0,06 \cdot 300 \cdot 0,65 = 24,57 \text{ (грн)}.$$

9. Інші витрати  $B_{in}$  охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати  $B_{in}$  можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$B_{in} = (1..3) \cdot (3 + 3_p), \quad (6.15)$$

$$B_{in} = 1 \cdot (18523 + 8888) = 27411 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$B = 18523 + 8888 + 3015,2 + 6693,7 + 734,03 + 106,87 + 16838,91 + 24,57 + 27411 = 82234,7 \text{ грн.}$$

Загальна вартість всієї МКНР визначається за формулою:

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{a} \quad (6.16)$$

$$B_{\text{заг}} = \frac{82234,7}{0,7} = 117478,21 \text{ (грн.)}$$

Прогнозування загальних втрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\beta} \quad (6.17)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії розробки дослідного зразка, то коефіцієнт  $\beta = 0,9$ .

Звідси:

$$3B = \frac{117478,21}{0,9} = 130531(\text{грн.}).$$

### 6.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta\Pi_i$ , для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot p \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right) \quad (6.18)$$

де  $\Delta\Pi_0$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

$N$  – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

$\Pi_0$  – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

$l$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $l = 0,8333$ .

$p$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту.  $p = 0,25$ ;

$x$  – ставка податку на прибуток. У 2019 році – 18%.

Припустимо, що при впровадженні результатів наукової розробки покращується якість, що дозволяє підвищити ціну його реалізації на 500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 80 шт., протягом другого року – на 120 шт., протягом третього року на 150 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 800 шт, а її ціна 14800 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\Delta\Pi_1 = [500 \cdot 800 + (14800) \cdot 80] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 270589(\text{грн.})$$

$$\Delta\Pi_2 = [500 \cdot 800 + (14800) \cdot (80 + 120)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 905646(\text{грн.})$$

$$\Delta\Pi_3 = [500 \cdot 800 + (14800) \cdot (80 + 120 + 150)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 1284881(\text{грн.})$$

#### **6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності**

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності. Теперішню вартість інвестицій  $PV$ , що вкладаються в наукову розробку приймемо рівну загальним витратам  $PV = ЗВ = 130531$  грн.

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$  згідно наступної формули:

$$E_{абс} = (ПП - PV) \tag{6.19}$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)} \quad (4.20)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{270589}{(1+0,2)^1} + \frac{905646}{(1+0,2)^2} + \frac{1284881}{(1+0,2)^3} = 1601436,11(\text{грн.}) .$$

$$E_{abc} = (1601436,11 - 130531) = 1470904,77(\text{грн.}).$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$  то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_s$ . Для цього користуються формулою:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}] \left( 1 + \frac{E_{abc}}{PV} \right) - 1 \quad (6.20)$$

$T_{ж}$  – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_s = \sqrt[3]{1 + \frac{1470904,77}{130531}} - 1 = 1,31 = 131\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (6.21)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні  $d = (0,14 \dots 0,2)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05 \dots 0,1)$ .

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23$$

Так як  $E_e > \tau_{\min}$  то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{OK} = \frac{1}{E_B} \quad (6.22)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{1,31} = 0,77 \text{ (роки)}$$

Так як  $T_{ок} \leq 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

## 6.5 Висновки до економічного розділу

В даному розділі було оцінено економічний потенціал розробки системи контролю електричних параметрів сонячних панелей, який виявився на вище середньому рівні. Порівняння нової розробки з аналогом показало, що новий виріб буде набагато краще за аналог оскільки він оснащений системою стеження за сонцем (трекер), двома двигунами, а також 4-ма фото резисторами, в результаті сонячна панель стає ефективніша, та ККД в рази збільшується, крім того нова розробка є дешевшою за аналог.

Оцінка якості і конкурентоспроможності показали, що нова розробка є більш якісною і конкурентноспроможнішою ніж аналоги, які існують на ринку.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат складе 82234,7 грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 130531 грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 8 місяців при прогнозованому прибутку 1601436,11 грн. за три роки.

## ВИСНОВКИ

Тема використання альтернативних джерел енергії в наш час є надзвичайно актуальною. Відновлювана енергетика – це екологічно чисте невичерпне джерело енергії, яке не змінює функціональну структуру Землі та надає можливість знизити загальну ресурсозатратність. Тому було вирішено працювати в даному напрямку.

В дані магістерській класифікаційні роботі було представлено двовісну систему орієнтування за сонцем яка може підвищити ефективність роботи системи фотоелектричного перетворювача на 60%. Це дуже високий показник ефективності, що значно підвищує рентабельність встановлення сонячних батарей і дозволяє повноцінно використовувати випромінювання сонця.

В склад системи входить акумулятор, що живить систему управління ефективністю ФЕП на основі мікроконтролера. Сам акумулятор заряджатиметься від енергії фотоелектричних перетворювачів. Це робить систему автономною і не вносить значних корективів в роботу системи ФЕП

Дана система відрізняється від аналогової тим що вона впершу чергу оснащена акумуляторами які заряджаються від енергії фотоелектричних перетворювачів. Це робить систему автономною і не вносить значних корективів в роботу системи ФЕП. А також перевага пропонованої системи в тому, що вона дозволяє точно визначати положення сонячного світла за допомогою чотирьох фоторезисторів які розміщені по краю сонячної панелі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сонячна енергетика, сучасний стан та перспективи [Електронний ресурс].- Режим доступу до ресурсу: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u193/dzumenko\\_tezu.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u193/dzumenko_tezu.pdf)
2. Будова фотоелемента [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-2>
3. Будова і принцип дії сонячних елементів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.radiofishka.in.ua/uk/content/budova-ipryncyp-diyi-sonyachnyh-elementiv>.
4. Соловей О. І. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: Навчальний посібник / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен. – Черкаси : ЧДТУ, 2007.-323с.
5. Тонкоплівкові сонячні батареї [Електронний ресурс].- Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/slavychlviv/sonacni-paneli>
6. Будько В.І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії: Підручник/ В.І. Будько - Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2000р.
7. Базилевский, А.Б. Идентификация модели солнечной батареи / А.Б. Базилевский, М.В. Лукьяненко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф.Решетнева.- 2007. №4.115-117с.
8. Андреев С.В. Солнечные электростанции - М.: Наука 2002.
9. Монокристалічна модель сонячної панелі [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://aquatherms.com/porivnyannya-monokristalichnix-i-polikristalichnix-sonyachnix-batarej/>
10. Чернобровкін А. В. Фотоелектричні системи живлення автономної апаратури: сонячні батареї / Чернобровкін А. В. // Вісник Держгідрографії. – Київ, 2010.- 102 с.



11. Принцип роботи сонячно́ї установки [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://aesd.org.ua/?page\\_id=175](http://aesd.org.ua/?page_id=175)
12. Коефіцієнт корисної дії сонячних панелей [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://domguru.com.ua/kkd-soniachnykh-batarei>. Html
13. Фактори що впливають на ефективність сонячної батареї [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://pidruchniki.com/1579122737970/ekologiya/sonyachna\\_energetika](http://pidruchniki.com/1579122737970/ekologiya/sonyachna_energetika)
14. Lorenzo E, Perez M, Ezpeleta A, Acedo J. Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis. *Progress in PV Research and Applications* 2002;10:533–43.
15. J. Arai, K. Iba, T. Funabashi; Y. Nakanishi, K. Koyanagi, and R. Yokoyama, “Power electronics and its applications to renewable energy in Japan,” *The IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol. 8, No. 3, pp. 52-66, 2008.
16. Pavel YV, Gonzalez HJ, Vorobiev YV. Optimization of the solar energy collection in tracking and non-tracking PV solar system. In: *Proceedings of the 1st international conference on electrical and electronics engineering, ICEEE*; 2004.
17. Sangani CS, Solanki CS. Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2007.
18. Helwa NH, Bahgat ABG, Shafee AMRE, Shenawy ETE. Computation of the solar energy captured by different solar tracking systems. *Energy Sources* 2000; 35–44.
19. Agee JT, Obok-Opok A, Lazzer MD. Solar tracker technologies: market trends and field applications. *Advanced Materials Research* 2007;18–19:339–44.
20. Tomson T. Discrete two-positional tracking of solar collectors. *Renewable Energy* 2008;33.

21. Bione J, Vilela OC, Fraidenraich N. Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. *Solar Energy* 2004;76.
22. Mumba J. Development of a photovoltaic powered forced circulation grain dryer for use in the tropics. *Renewable Energy* 1995.
23. California Institute of Technology. Basic research needs for solar energy utilization. Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization; April 18–21, 2005.
24. Tracstar. Should you install a solar tracker? - 2007. [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://www.helmholz.us/smallpowersystems/>
25. Zahedi, “Energy, People, Environment, Development of an integrated renewable energy and energy storage system, an uninterruptible power supply for people and for better environment,” The International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1994. 'Humans, Information and Technology', 1994.
26. Кривуля Г. Ф. Автономна система моніторингу та контролю технічних об'єктів з використанням безпроводних сенсорних мереж / Г. Ф. Кривуля, В. А. Власов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2017. [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2017\\_187\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2017_187_25).
27. R. Singh, and Y.R. Sood, “Transmission tariff for restructured Indian power sector with special consideration to promotion of renewable energy sources”, The IEEE Conference TENCON-2009, pp. 1-7, 2009.
28. Харченко В. В. Система слезження за сонцем / В. В. Харченко, Б. А. Никитин, П. В. Тихонов, Г. Н. Узаков // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2017. - Вип. 268. - С. 264-274. - URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_tech\\_2017\\_268\\_35](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2017_268_35)

29. Гученко М. І. Диференційне рівняння гармонійної моделі людини-оператора в системі компенсаційного стеження / М. І. Гученко // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2002.
30. Зеленков І.А. Фотометрія.- К.:НАУ, 2003.
31. Бондаренко Д. В. Сонячні фотоелектричні модулі під дією когерентного опромінення / Д. В. Бондаренко // Відновлювана енергетика. – 2017.
32. R. Singh, and Y.R. Sood, “Transmission tariff for restructured Indian power sector with special consideration to promotion of renewable energy sources”, The IEEE Conference TENCON-2009, pp. 1-7, 2009.-ст. 96.
33. Helwa NH, Bahgat ABG, Shafee AMRE, Shenawy ETE. Computation of the solar energy captured by different solar tracking systems. Energy Sources 2000;22: 35–44.
34. Markvart T. Solar electricity, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
35. Гавриш О. А. Апробація системи оцінювання альтернативних технологій отримання електроенергії / О. А. Гавриш, С. В. Нараєвський // Економічний вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2014.
36. Sineglazov V. M. Computer-aided design of solar power trackers / V. M. Sineglazov, D. P. Karabetsky // Electronics and control systems. - 2015.
37. Данько В. А. Технологія виробництва голограмних дифракційних ґраток на основі неорганічних вакуумних фоторезисторів / В. А. Данько, І. З. Індутний, М. В. Луканюк, В. І. Минько, П. Є. Шепелявий // Наука та інновації. – 2014.
38. Козакевич І. А. Система керування синхронним двигуном з постійними магнітами з використанням фільтру Калмана / І. А. Козакевич // Вісник Криворізького національного університету. - 2016.
39. Патон Б. Є. Результати натурних вимірювань інтенсивності сонячного випромінювання в м. Київ / Б. Є. Патон, М. І. Ключ, О. Є.

Коротинський, А. В. Макаров, Ю. О. Трубіцин, В. О. Ганус // Доповіді Національної академії наук України. - 2014.

40. Трекери для сонячних електростанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://rentechno.ua /ua /services/ procurement/ trackers.html](http://rentechno.ua/ua/services/procurement trackers.html)

41. Будько В.І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії: Підручник/ В.І. Будько - Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2000р.62 с.

42. Розробка математичної ефективності сонячних перетворювачів[Електронний ресурс] – Режим доступу: [file:///C:/Users/ Bogdan/Desktop/ПДФ/27856-52097-1-РВ.pdf](file:///C:/Users/Bogdan/Desktop/ПДФ/27856-52097-1-РВ.pdf)

43. Розрахунок ефективності сонячних трекері [Електронний ресурс]- Режим доступу: <http://ts-vistnic.stu.cn.ua/tmp/pdf/176.pdf>

44. Розташування фото резисторів[Електронний ресурс] Режим доступу: [http://kyrator.com.ua/ index.php? id=724: tituln3&itemid=130 &limitstar t=6&option=com\\_content&view=article](http://kyrator.com.ua/index.php?id=724:tituln3&itemid=130&limitstart=6&option=com_content&view=article)

45. Опис та характеристики Arduino Uno [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>

46. Опис сервопривода\_[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Сервопривід>

47. Программирование Arduino - аналоговый ввод/вывод [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://robocraft.ru/blog/arduino/32.html>

48. М.М. Колтунов Оптика и метрология солнечных элементов: Издательство «Наука» - 1985 г.

**ДОДАТКИ**

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Кафедра метрології та промислової автоматики  
(повна назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МПА

д.т.н., професор Кучерук В.Ю.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на магістерську кваліфікаційну роботу

**Система контролю електричних параметрів сонячних панелей**

08-03.МКР.003.00.000.ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., ст.викл. Дудатьєв І.А.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Розробив студент гр.КІВТ-18м

Дишкант Б.П.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Додаток А  
(обов'язковий)  
Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

### 1 Підстава для проведення робіт

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Система контролю електричних параметрів сонячних панелей» є наказ № 254 від 02.10.2019 р.

Термін виконання робіт:

початок 02.09.2019 р.

кінець 06.12.2019 р.

### 2 Мета та вихідні дані для проведення робіт

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є вдосконалити перетворення сонячної енергії у електричну, за допомогою системи слідкування за рухом сонця залежно

Вихідними даними для проведення робіт є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу від 28.08.2019 р.

### 3 Етапи виконання робіт

Виконавцем всіх перерахованих в даному розділі етапів є: студент групи КІВТ-18м Дишкант Богдан Петрович факультету комп'ютерних систем та автоматики Вінницького національного технічного університету, а замовником є: кафедра метрології та промислової автоматики.

№ Етапу	Зміст етапу	Строки виконання
E1	Огляд та аналіз з питання перетворення сонячної енергії	02.09.2019 18.09.2019
E2	Аналіз та порівняння сучасних систем стеження за рухом сонця	18.09.2019 30.09.2019
E3	Реалізація апаратної частини системи контролю електричних параметрів сонячних панелей	30.09.2019 15.10.2019
E4	Математичне представлення сонячних панелей як детермінованої лінійної системи з зосередженими параметрами	15.10.2019 19.10.2019
E5	Синтез загальної принципової схеми	19.10.2019 25.11.2019
E6	Економічна частина	25.11.2019 03.12.2019

#### 4 Призначення і галузь застосування

Дана система призначена для відстежування руху сонця, в результаті роботи системи підвищується ККД сонячної панелі.

Так як тема є на сьогодні актуальною, то даною розробкою можуть бути зацікавлені великі підприємства які працюють в галузі альтернативної енергетики.

#### 5 Технічні дані

5.1 Діапазон повороту по горизонталі установки 0 - 180°

5.2 Діапазон роботи по вертикалі 10 -90°

5.3 Сумарна похибка системи 2%

5.4 Робоча температура від -40до+60°С

#### 6 Джерела розробки

1. Пешков М.О. Обґрунтування типу фотоелектронного перетворювача для фотоелектростанції/ М.О. Пешков, М.В. Михайлик, В.Я. Жарков// Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць І Всеукраїнської науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів: 8-19 жовтня 2012 р., м. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2012.- С.

2. Будько В.І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії: Підручник/ В.І. Будько - Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2000р.

3. California Institute of Technology. Basic research needs for solar energy utilization. Report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization; April 18–21, 2005.

4. Харченко В. В. Система слезения за солнцем / В. В. Харченко, Б. А. Никитин, П. В. Тихонов, Г. Н. Узаков // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2017.