

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Чорноморський національний університет**

**імені Петра Могили**

**Факультет комп'ютерних наук**

**Кафедра комп'ютерної інженерії**

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,  
д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ І. М. Журавська

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.


КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Пристрій відслідковування кута падіння  
сонячних променів**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КБР.ПЗ.00 – 405.21910512

*Студент*

  
\_\_\_\_\_ Л. О. Козявко  
*підпис*

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

*Керівник ст. викладач*

\_\_\_\_\_ Є. С. Дарнапук  
*підпис*

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

**Миколаїв – 2023**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
**Факультет комп'ютерних наук**  
**Кафедра комп'ютерної інженерії**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ І. М. Журавська

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи**

Видано студенту групи 405 факультету комп'ютерних наук

Козявко Леонід Олександрович  
*(прізвище, ім'я, по батькові студента)*

1. Тема кваліфікаційної роботи

Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів.

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

Очікуваним результатом роботи є: апаратне та програмне забезпечення пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів. Вхідними даними роботи є специфікація вимог, що описує характеристики зазначеного апаратного та програмного забезпечення.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що підлягають розробці

1) дослідження основних концентратів сонячної енергії; \_\_\_\_\_

2) аналіз сонячних трекерів, їх класифікацію, будову; \_\_\_\_\_

3) розробка апаратної частини пристрою; \_\_\_\_\_

4) розробка програмної частини пристрою; \_\_\_\_\_

5. Перелік графічних матеріалів

Презентація \_\_\_\_\_

6. Завдання до спеціальної частини Аналіз вимог до роботи з електричним обладнанням, роботи з паяльником, правила безпеки при роботі з сонячними панелями та іншими джерелами сонячної енергії

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
А. О. Алексєєва, к.т.н., доцент	кафедра екології Медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці

Керівник роботи

ст. викладач, аспірант Дарнапук Євген Сергійович


*(посада, прізвище, ім'я, по батькові)*

\_\_\_\_\_  
*(підпис)*

Завдання прийнято до виконання

Козявко Леонід Олександрович

*(прізвище, ім'я, по батькові студента)*

  
\_\_\_\_\_  
*(підпис)*

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**  
**виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи**

Тема: Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КБР	11.12.2022	12.12.2022	Виконав
2.	Аналіз інформації стосовно загальної інформацію про концентрати та їх використання	12.12.2022	13.12.2022	Виконав
3.	Порівняльний аналіз трекерів	14.12.2022	20.12.2022	Виконав
4.	Постановка задачі проектування	07.01.2023	10.01.2023	Виконав
5.	Розробка алгоритму роботи пристрою	11.01.2023	02.02.2023	Виконав
6.	Розробка структурної схеми пристрою	04.02.2023	20.02.2023	Виконав
8.	Вибір елементної бази для розробки апаратної частини	29.02.23	15.03.2023	Виконав
9.	Проектування та опис принципової схеми	20.03.2023	6.04.2023	Виконав
10.	Розробка апаратного забезпечення	10.04.2023	04.05.2023	Виконав
11.	Програмування функціоналу пристрою	10.05.2023	29.05.2023	Виконав
12.	Перший передзахист КБР	30.05.2023	30.05.2023	Виконав
13.	Другий передзахист КБР	13.06.2023	13.06.2023	Виконав
14.	Завершення оформлення КБР та презентації	13.06.2023	20.06.2023	Виконав
15.	Рецензування	13.06.2023	20.06.2023	Виконав
17.	Захист кваліфікаційної роботи	28.06.2023	28.06.2023	Виконав

Розробив здобувач ВО Козьявко Леонід Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник роботи ст. викладач, Дарнапук Євген Сергійович

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023\_р.

## АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

Студент 405 гр.: Козявко Леонід Олександрович

Керівник: ст. викладач, аспірант Дарнапук Є. С.

Об'єктом дослідження є технології та засоби керування системами альтернативної енергетики.

Предметом дослідження є система автоматичного обертання сонячних панелей на основі двохосового трекару.

Мета роботи – розробка пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів на базі сервоприводів з двома осями обертання за допомогою фоторезисторів.

Робота складається з фахового розділу і спеціальної частини з охорони праці. Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів, висновків та додатків.

У першому розділі були проаналізовані методи підвищення ефективності сонячних панелей, з особливим акцентом на сонячних трекарах.

У другому розділі було спроектовано прототип пристрою для відслідковування кута падіння сонячних променів, включаючи розробку алгоритму роботи, структурної схеми, принципової схеми та вибір приладів.

У третьому розділі зосереджено увагу на розробці пристрою, включаючи створення системи відслідковування кута падіння сонячних променів та розробку коду управління. Після тестування прототипу були виявлені можливості для подальшого удосконалення.

Результатом роботи став пристрій з програмною і апаратною частиною для відслідковування кута падіння сонячних променів.

Бакалаврська кваліфікаційна робота викладена на 64 сторінках, містить 33 рисунка, 25 джерел у переліку посилань.

Ключові слова: *сонячні панелі, трекари, кут падіння, сонячна батарея, сервопривід, актуатор, фоторезистор*

## **ABSTRACT**

of the Bachelor's Thesis

«Device for tracking the angle of incidence of sunlight»

Student 405 gr. Koziavko Leonid

Supervisor: Senior Lecturer, Darnapuk Y.S.

The object of research is technologies and means of controlling alternative energy systems.

The subject of research is a system of automatic rotation of solar panels based on a two-axis tracker.

The purpose of the work is to develop a device for tracking the angle of incidence of sunlight based on servos with two axes of rotation using photoresistors.

The work consists of a professional section and a special part on labor protection.

The explanatory note consists of an introduction, three chapters, conclusions, and appendices.

The first chapter analyzes methods of increasing the efficiency of solar panels, with a special emphasis on solar trackers.

In the second section, a prototype device for tracking the angle of incidence of sunlight was designed, including the development of an algorithm, block diagram, schematic diagram, and selection of devices.

The third chapter focuses on the development of the device, including the creation of a sun angle tracking system and the development of a control code. After testing the prototype, opportunities for further improvement were identified.

The result was a device with software and hardware for tracking the angle of incidence of sunlight.

The bachelor's thesis is presented on 64 pages, contains 33 illustrations, sources in the list of references.

Keywords: *solar panels, trackers, angle of incidence, solar cell, servo, actuator, photoresistor*



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

	– Altitude-Azimuth Dual Axis Tracker
	– Dual Axis Trackers
	– Horizontal Single Axis Tracker
IDE	– Integrated Development Environment
LDR	– Light Dependent Resistor
PDAT	– Polar Dual Axis Tracker
TSAT	– Tilted Single Axis Tracker
	– Tip-Tilt Dual Axis Tracker
VCC	– Voltage Common Collector
VSAT	– Vertical Single Axis Tracker
WHSAT	– Wall Horizontal Single Axis Tracker
ДПС	– датчик положення Сонця
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КСС	– контролер стеження за Сонцем
СБ	– сонячна батарея
СЕС	– сонячна електростанція
СП	– сервопривід
ФЕМ	– фотоелектричний модуль
ФЕУ	– фотоелектроустановка
ФР	– фоторезистор



К  
а  
ф  
е  
д  
р  
о  
п  
н  
о  
і  
ж  
е  
н  
е  
і  
ж  
е

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

## ВСТУП

В останні роки однією із найактуальніших задач є пошук нових шляхів добування енергії людством. Беручи до уваги стан екології та те, що традиційні енергетичні ресурси себе вичерпують, перед енергетиками стоїть складне завдання пошуку екологічно чистих та відновлюваних джерел енергії. Сонячна енергетика є одним із варіантів вирішення даного питання. Вона має практично безмежний потенціал використання з точки зору затрачених ресурсів. Також, сонячна енергія – це одне із екологічно безпечних джерел, тобто видобування даної енергії ніяким чином не шкодить екології.

В Україні є великий потенціал для широкого впровадження як теплоенергетичного так і фото-енергетичного обладнання практично на всій території.

Однак, на противагу тому, що для сонячної енергетики є сприятливі умови, у неї є декілька мінусів. Одні з них – це порівняно невисокий корисний коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячних панелей та собівартість таких систем. ККД таких систем безпосередньо залежить від матеріалу, з якого зроблена панель, її розташування та кут нахилу до сонця. Перші два чинники статичні, а от кут нахилу до сонця динамічний, так як сонце рухається по своїй осі протягом дня. Відповідно змінюється і вироблення електроенергії сонячною панеллю. Використання концентраторів енергії допомагає підвищити ефективність сонячної станції. Одним із таких концентраторів є треки, тобто пристрої відслідковування кута падіння сонячного проміння.

**Мета:** Розробка пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів на базі сервоприводів з двома осями обертання за допомогою фоторезисторів.

**Об'єкт:** Технологія та засоби керування системами альтернативної енергетики.

**Предмет:** система автоматичного обертання сонячних панелей на основі двохосового трека.

К  
а  
ф  
е  
д  
В  
а  
к  
о  
м  
р  
,  
ю  
е  
н  
е  
р  
і  
і

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

Для досягнення мети роботи треба вирішити такі завдання:

– провести дослідження основних методів і пристроїв, що використовуються для підвищення ККД сонячних панелей, включаючи системи дзеркал, лінзи Френеля, та різноманітні трекари;

– здійснити класифікацію сонячних трекарів, а також описати їхню будову та способи управління орієнтацією;

– на основі проведеного дослідження спроектувати прототип пристрою

Для відслідковування кута падіння сонячних променів. Розробити алгоритм роботи пристрою, структурну та принципову схеми пристрою. Підібрати необхідні модулі для розробки апаратної частини;

– зробити розробку пристрою, включаючи створення системи для відслідковування кута падіння, розробку коду для керування пристроєм та його тестування;

– оформити висновки по кожному розділу роботи та загальні висновки щодо всього дослідження;

– врахувати всі вимоги безпеки та охорони праці під час розробки та використання пристрою.

## 1 ТИПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ

### 1.1 Порівняння основних способів підвищення ККД сонячних панелей

Сонячна енергія є одним з найбільш ефективних та екологічно чистих джерел енергії, яке здатне забезпечувати значну частину енергопотреб світу. Для збирання та використання сонячної енергії використовуються різноманітні технології, зокрема концентратори сонячної енергії. У даному підрозділі буде описано три типи концентраторів: системи спрямовуючих дзеркал, лінзи Френеля та трекери.

Концентратори сонячної енергії — це спеціалізовані пристрої, здатні зібрати та спрямувати сонячну енергію на відносно малу область. Це досягається за допомогою ретельно розрахованих оптичних систем, які відбивають, пропускають, або розсіюють сонячне випромінювання таким чином, що значно збільшує ефективність збору сонячної енергії на певній площі.

Кожен з цих концентраторів має свої переваги та недоліки, тому їх використання залежить від специфіки конкретної ситуації. Детальний опис кожного з цих типів дозволить краще зрозуміти їхню будову та принцип роботи, а також допоможе зробити вибір найбільш підходящого варіанту для вирішення конкретних завдань.

#### Системи дзеркал

Один з ефективних методів оптимізації ККД фотовольтаїчних перетворювачів включає використання вдосконаленої системи дзеркал. Ця система забезпечує додатковий промінь світла на поверхню сонячних панелей, використовуючи світло, що відбивається від навколишніх ділянок, освітлених сонцем.

Ключова концепція застосування дзеркал полягає в збільшенні інтенсивності сонячного випромінювання, що перевищує стандартні параметри. Це, в свою чергу, дозволяє значно збільшити енергетичну продуктивність сонячних панелей.

З метою досягнення максимальної ефективності, з огляду на вимоги надійності, технологічної простоти та конструктивної цілісності, ідеальним вибором є розташування дзеркал перед сонячними панелями (див. рис. 1.1). Така

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
ф конфігурація дозволяє керувати сонячним випромінюванням, відбиваючи його на  
е поверхню панелей від площ, що залишаються невикористаними під самими  
Д панелями [1].  
а

1) віддалення рядів сонячних панелей для максимального збільшення  
к відображення світла може потребувати додаткового простору, що може збільшити  
М площу сонячної станції;  
П

2) існує ризик, що інтенсивність сонячного випромінювання може  
ю перевищити номінальні показники, перевищуючи стандартні умови. Це може  
е викликати зниження ефективності сонячних панелей та скорочення їх терміну  
н служби. Тому, для цього підходу важливо використовувати сонячні панелі високої  
о якості з достатнім запасом надійності.

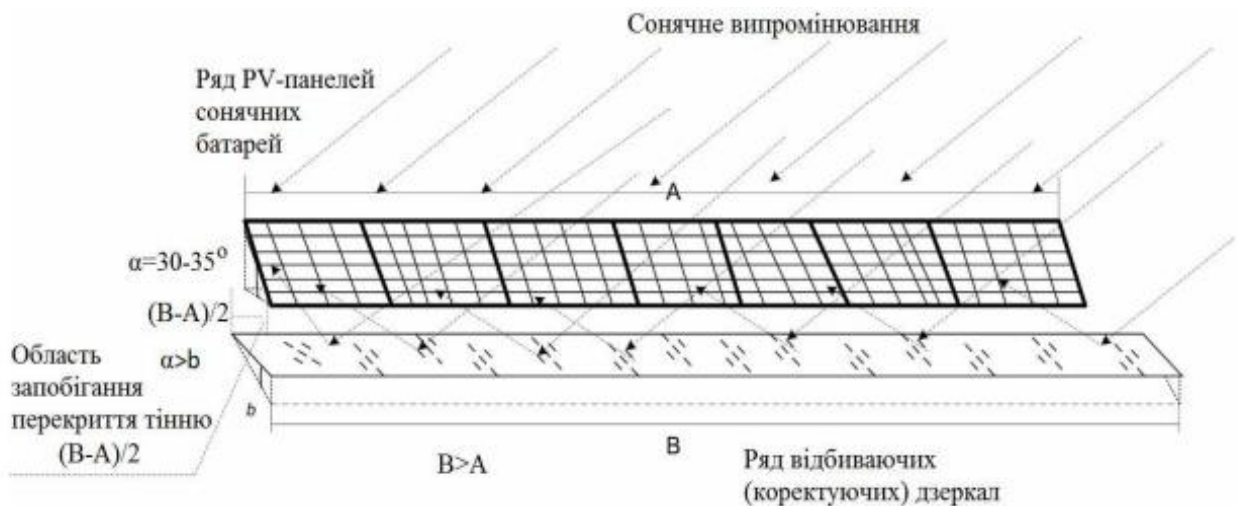


Рисунок 1.1 – Розміщення дзеркал для підвищення ефективності сонячних панелей

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

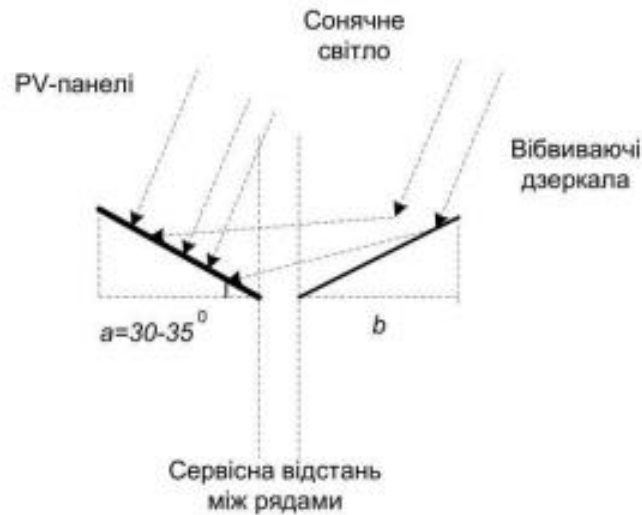


Рисунок 1.2 – Розміщення дзеркал з великою відстанню між рядами

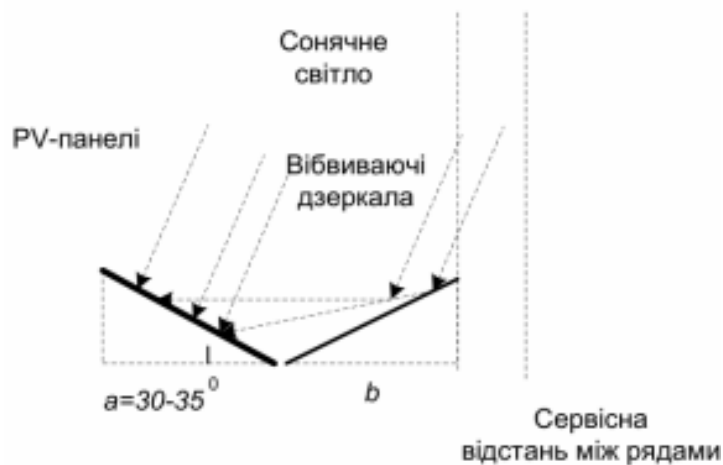


Рисунок 1.3 – Розміщення дзеркал з малою відстанню між рядами

На рис. 1.2–1.3 показана конструкція із розміщеними дзеркалами, що призначена для підвищення ефективності вироблення сонячних фотогальванічних PV-панелей.

Застосування додаткових дзеркал дозволяє збільшити енергію, що виробляється сонячною PV-коміркою на 35–60 %. Однак, внаслідок цього значно збільшується температура на поверхні комірki. Позиціонування дзеркала вимагає додаткових зусиль, щоб уникнути виходу відбитого випромінювання за межі PV-комірki.

Отже, застосування дзеркал дозволяє підвищити енергетичну вихідну потужність від сонячних панелей, але це можливо тільки для панелей, які

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
р розраховані на високу температуру. Крім того, для розміщення додаткових дзеркал  
е потрібні додаткові площі, що не завжди є можливим до реалізації або ефективним  
Д рішенням.  
а

Тому для існуючих сонячних панелей великої потужності та значної площі,  
к які розраховані на низькі температури, використання системи дзеркал є  
н неефективним.  
П

### Лінзи Френеля

ю  
т  
е Щоб зібрати сонячну енергію ефективно, можна використовувати сонячні  
р концентратори, такі як сферичні лінзи або плоскі лінзи Френеля [2].  
н

о При використанні сонячних концентраторів на основі сферичних лінз або  
і плоских лінз Френеля на сонячній батареї можуть бути розміщені лінзи, що  
і дозволяє підвищити концентрацію світлового потоку до 8 разів. Це зменшує  
ж розміри фотоелементів сонячних батарей і збільшує ефективність збору сонячної  
н енергії.  
е

р На рис. 1.4 зображено використання плоских лінз Френеля як засобу для  
і підвищення ефективності сонячної електростанції. Проте, як видно з рисунку, на  
поверхню сонячної панелі падає зосереджений сонячний промінь, що призводить  
до різкого підвищення температури. Для забезпечення належної роботи сонячної  
панелі необхідно забезпечити ефективне відведення тепла від її поверхні. А  
зважаючи на те, що температура на місці фокусу лінзи Френеля може досягати 500  
°С, це завдання може бути складним.

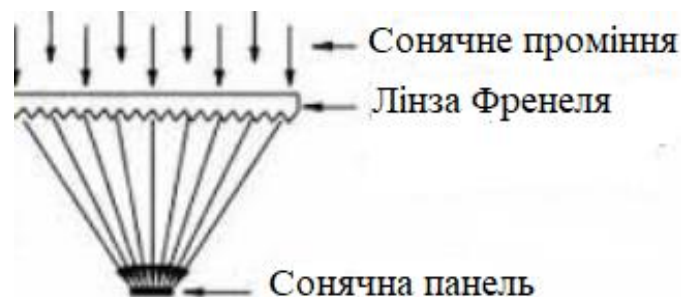


Рисунок 1.4 – Концентратор на основі лінзи Френеля

Практичне використання плоских лінз Френеля може бути реалізоване за допомогою конструкції, яку можна побачити на рис 1.5. Ця конструкція містить

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а спеціально розроблені фотомодулі з високотемпературними радіаторами  
е повітряного охолодження та лінзи Френеля, розміщені в герметичних боксах. Такий  
Д підхід дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію, але його реалізація  
а вимагає додаткових витрат на спеціальні конструкції та механізми охолодження,  
к оскільки температура в місці фокусу лінз Френеля може досягати значних значень,  
кщо потребує ефективної системи тепловідведення.

ю  
т  
е  
р  
н  
о  
ї  
  
і  
н  
ж  
е  
н  
е



Рисунок 1.5 – Конструкція сонячної електростанції з застосуванням плоских лінз Френеля

Розглянемо можливість використання лінз Френеля для підвищення енергоефективності вже існуючих стаціонарних сонячних панелей великої потужності.

Сучасні сонячні панелі великої потужності мають великі розміри і вихідну потужність від 200 до 320 Вт. Крім того, вони можуть працювати ефективно при температурах до 45-50 °С.

Зі збільшенням температури поверхні, енергоефективність сонячних панелей зменшується, тому їх можна розміщувати над фокусом лінзи, де температура менша. Для цього лінза Френеля повинна мати суттєво більші розміри, ніж сама панель, щоб пропускати сонячні промені під різними кутами.

Наприклад, для ситуації, коли сонячні промені падають під кутом 45°С на поверхню панелі, лінза Френеля повинна бути на 50 % більшою за панель. Це призведе до теоретичного підвищення енергоефективності панелі, але на практиці

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а підвищення не перевищує 25 %, через зменшення ефективності панелі від  
е підвищення температури та затемнення деяких ділянок панелі через зміщення  
Д фокусу лінзи при куті падіння проміння, відмінному від 90°.

### Трекери

к  
о Для ефективної генерації електроенергії, сонячні панелі повинні бути  
м розташовані під відповідним кутом до поверхні Землі, який залежить від пори року.  
Наприклад, взимку, коли світло падає під меншим кутом, панелі слід  
т розташовувати під більшим кутом для забезпечення ефективної генерації  
р електроенергії. Це також дозволяє поглинати енергію світла, відбитого від снігу, та  
і запобігає накопиченню снігу на панелях. У влітку, навпаки, оптимальний кут  
падіння сонячних променів менший, тому панелі слід розташовувати під меншим  
і кутом для найкращого ефекту.

ж  
е Трекери використовуються для того, щоб сонячні панелі стежили за рухом  
Сонця. Основною задачею трекера є підтримання оптимального кута нахилу  
е робочої поверхні панелі, так щоб вона завжди була зорієнтована на Сонці. Це  
і забезпечує пряме спрямування сонячних променів на поверхню панелі, що  
забезпечує максимальну ефективність збору сонячної енергії [3].

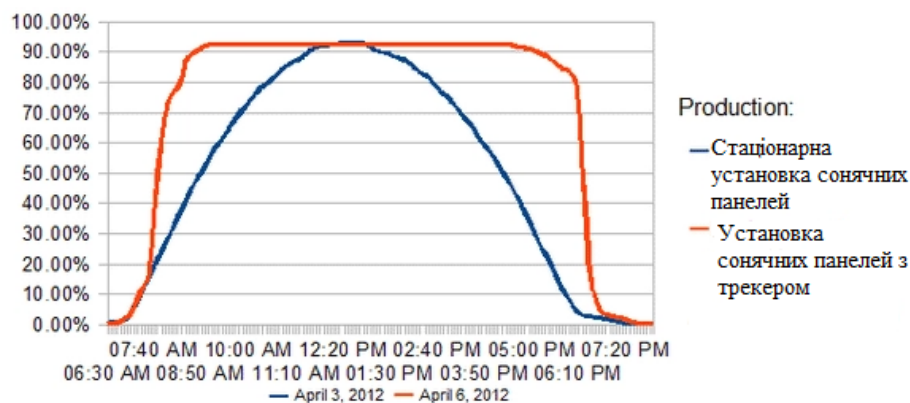
Для зміни положення рухомої частини трекера використовуються два  
актуатори, які працюють на електродвигунах.

Для досягнення цієї мети використовуються спеціальні датчики, оснащені  
фотоприймачами. Вони отримують інформацію про положення Сонця та  
допомагають правильно орієнтувати фотоелементи [3].

Пристрій управління актуаторами використовує дані від датчика про стан  
сонця для аналізу освітленості в різних положеннях трекера [3]. За допомогою  
сигналів, які передає давач, актуатори рухаються до того моменту, коли потік  
світла на всіх фотоелементах стає однаковим. Якщо система розбалансується через  
рух Сонця, то це стимулює актуатори до нового переміщення в напрямку до Сонця.

На рис. 1.7 зображено порівняння виробленої електричної потужності, яку  
забезпечують стаціонарно встановлені сонячні панелі та панелі з використанням  
трекера, протягом світлового дня [4].





ю

Рисунок 1.7 – Графіки, які показують ефективність роботи сонячних панелей, що були стаціонарно встановлені та з трекером

Використання трекерів має цілий ряд переваг, які значно підвищують ефективність використання сонячних панелей [5]:

– вони можуть підвищити енергетичний виробіток сонячних панелей на 40%, значно збільшуючи їхню ефективність;

– панелі в протягом дня можуть нагріватися, що веде до зниження їх енерговиробництва на 10% і більше. Тому оптимізація виробництва енергії в першій половині дня, коли панелі ще не надто гарячі, є важливою. Трекери можуть значно підвищити енерговиробництва вранці, особливо при східному та південно-східному розташуванні;

– сонячні трекери займають менше місця відносно своєї потужності, порівняно з фіксованими сонячними панелями. Це важливо, особливо при обмеженому просторі для розміщення;

– у зимовий період трекери не потребують частого очищення від снігу та льоду, що є необхідним для фіксованих систем;

– вони більш стійкі до екстремальних погодних умов, таких як шторми та град. Вбудовані в трекери метеостанції дозволяють автоматично реорієнтувати панелі, мінімізуючи можливі пошкодження.

Приведе вище дослідження концентраторів показало, що найбільш ефективним варіантом для збору сонячної енергії є трекери.

К а ф е Д Підвищення ККД сонячних систем, але вони мають деякі обмеження.

Р а к де Для системи дзеркал треба використати більші території, крім того цей спосіб потребує використання панелей якісного виробництва так як він підвищує ефект деградації.

М п ю е н О Щодо лінз Френеля, то для ефективної роботи сонячної панелі необхідно вирішити проблему перегріву, що виникає при падінні на неї сфокусованого сонячного проміння. Це можна забезпечити шляхом ефективного тепловідведення від поверхні панелі, крім того, вони мають високу вразливість до подряпин та Погодних умов, що може призвести до зменшення їх ефективності;

і н е ефективно Сонячні трекари є найбільш ефективними виборами для збору сонячної енергії, оскільки вони можуть точно відстежувати рух сонця та максимально ефективно використовувати сонячне випромінювання. Крім того, вони можуть бути більш мобільними та гнучкими у розташуванні, що дозволяє їх використовувати у різних місцях та у різних кліматичних умовах.

Р і і 1

**Вибір місця для сонячних трекерів** в значній мірі зумовлений специфічними умовами експлуатації: географічною широтою, кліматичними особливостями регіону і доступною площею для розміщення [6].

У сучасному ринку, як вітчизняному, так і міжнародному, представлено великий вибір конструкцій для розміщення фотоелектричних модулів, що варіюються за вартістю. Ці конструкції можна умовно поділити на два типи: статичні та динамічні системи [4].

Статичні системи надають можливість зафіксувати фотоелектричні модулі та спрямувати їх на південь під певним кутом, який визначається з урахуванням особливостей місцевості.

Динамічні системи, або так звані трекари, в свою чергу, регулюють орієнтацію фотоелектричних модулів відповідно до кута нахилу та азимутального напрямку. Серед трекерів можна зустріти як одноосьові, так і двовісні моделі [3].

Трекери розподіляються за кількістю та положенням осей обертання, як показано на рис. 1.8 [7].

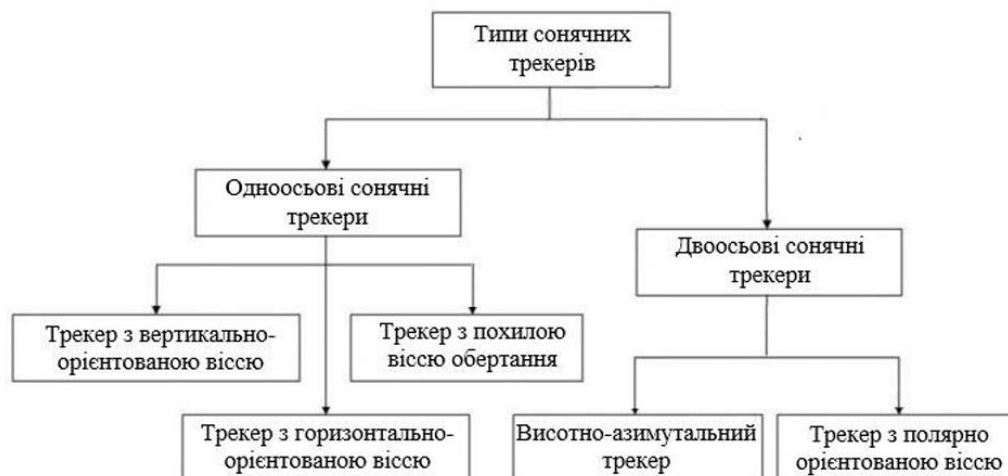


Рисунок 1.8 – Класифікація сонячних трекерів

### 1.2.1 Трекери з однією віссю обертання

Трекери з однією віссю обертання поділяються на [8]:

**Трекери з горизонтально орієнтованою віссю**, відомі як Horizontal Single характеризуються тим, що їхня ось обертання розміщена паралельно поверхні землі. Цей тип трекера представлено на рис 1.9.

Поля, що використовують HSAT, є дуже гнучкими у налаштуванні. Щоб забезпечити оптимальну продуктивність, всі осі обертання повинні бути паралельні одна одній, а відповідний інтервал між ними може бути налаштований для максимізації вироблення електроенергії залежно від рельєфу місцевості, тіні і часу доби.

В HSAT довгі горизонтальні трубки опираються на підшипники, що розміщені на пілонах. Осі цих трубок орієнтовані на північ-південь. Панелі кріпляться на трубках, які повертаються навколо своєї осі, щоб відстежувати видимий рух сонця протягом дня [9]. Це дозволяє досягти максимально можливої енергетичної продуктивності поля, залежно від рельєфу місцевості, тіней та часу доби.

Варіантом трекерів HSAT є WHSAT (Wall Horizontal Single Axis Tracker) [10], тобто трекери, що встановлюються на південній стіні великих об'єктів (будівель).

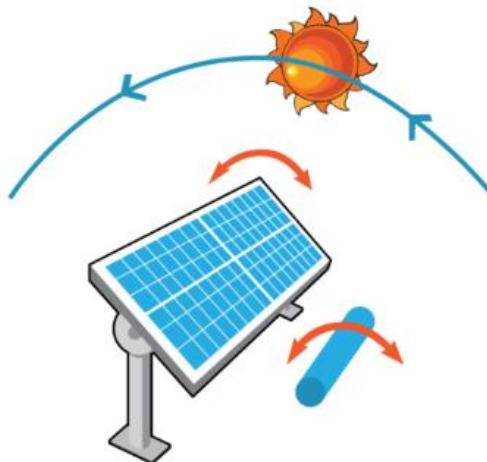


Рисунок 1.9 – Зображення одноосьового трекеру з горизонтальною віссю обертання

**Трекери з вертикально-орієнтованою віссю**, відомі як Vertical Single Axis Tracker (VSAT), мають ось, що орієнтована вертикально щодо землі [11]. Цей вид трекерів зображено на рис. 1.10.

Вони автоматично стежать за Сонцем і відповідно обертаються протягом дня, що дозволяє максимізувати збирання сонячної енергії. Високоширотні зони є більш відповідними для застосування VSAT трекерів порівняно з HSAT [11].

При розробці проекту сонячної електростанції, що використовує такі трекери, необхідно враховувати вплив тіні, яку створюють сусідні ряди, для мінімізації енергетичних втрат та оптимізації використання ефективної площі фотоелектричних перетворювачів [6].

Трекери типу VSAT зазвичай мають конструкцію, яка розташована під кутом по відношенню до осі обертання, а корисне навантаження (наприклад, фотоелементи) встановлюються на неї.



Рисунок 1.10 – Зображення одноосьового трекеру з вертикальною віссю обертання

**Трекери з похилою віссю обертання**, відомі як Tilted Single Axis Tracker (TSAT) [12], володіють віссю обертання, що розташована під кутом до горизонту, знаходячись між вертикальною та горизонтальною позиціями (див. рис. 1.11).

Така конфігурація осі використовується для оптимізації стеження за сонцем певних географічних областях, де кут нахилу Сонця відносно горизонту впродовж дня має значні зміни. Це дозволяє трекерам TSAT більш ефективно збирати сонячну енергію, розподіляючи світловий потік більш рівномірно протягом дня.

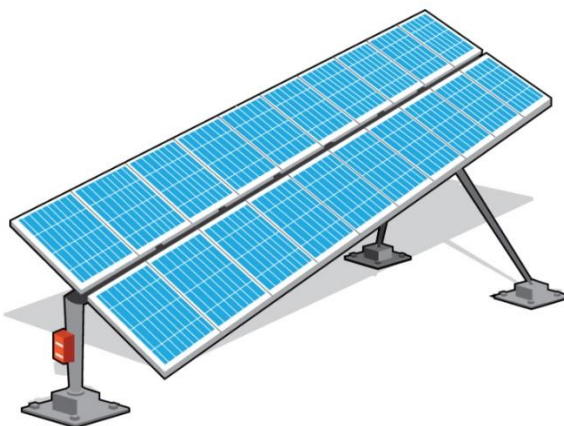


Рисунок 1.11 – Зображення одноосьового трекеру з похилою віссю обертання

### **Двоосьові сонячні трекери**

Двохосьові трекери (Dual Axis Trackers, DAT) мають дві незалежні осі обертання, що функціонують синхронно для ефективного слідкування за сонцем.

а Ці трекери демонструють різні реалізації, класифіковані за положенням їхньої  
е основної осі відносно поверхні Землі [13]. Двоосьові трекери поділяються на  
Д Висотно-азимутальні та трекери з полярно-орієнтованою віссю [7].

а **Висотно-азимутальні трекери** (Altitude-Azimuth Dual Axis Tracker, AADAT)  
к [14] це тип двохосьового трекера, який може обертатися навколо двох осей:  
н Вертикальної (азимутальної) і горизонтальної (висотної).

М Азимутальна вісь дозволяє трекеру повертатися в горизонтальній площині (зі  
н сходу на захід), відслідковуючи горизонтальний рух сонця протягом дня. Висотна  
е вісь забезпечує обертання у вертикальній площині, дозволяючи трекеру  
н Відслідковувати зміну висоти сонця протягом дня та протягом року.

і Така система дозволяє трекеру точно відслідковувати положення сонця у  
будь-який час дня та протягом усього року, що забезпечує максимальну  
н ефективність вироблення сонячної енергії. Два найбільш поширені види  
е альних трекерів – це AADAT і TTDAT [14] [15].

е Трекери **Tip-Tilt Dual Axis Tracker** (TTDAT), оснащені двома осями  
р обертання на опорному стовпі, отримали свою назву внаслідок монтажу масиву  
і панелей на верхівку довгого опорного стовпа (див. рис. 1.12). Керування рухом  
трекера від сходу до заходу сонця реалізується через обертання масиву навколо  
верхньої точки, де встановлено обертовий підшипник. Верхня частина цього  
підшипника містить механізм, який контролює вертикальний поворот панелей і  
служить головними точками прикріплення для масиву фотопанелей [15].

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

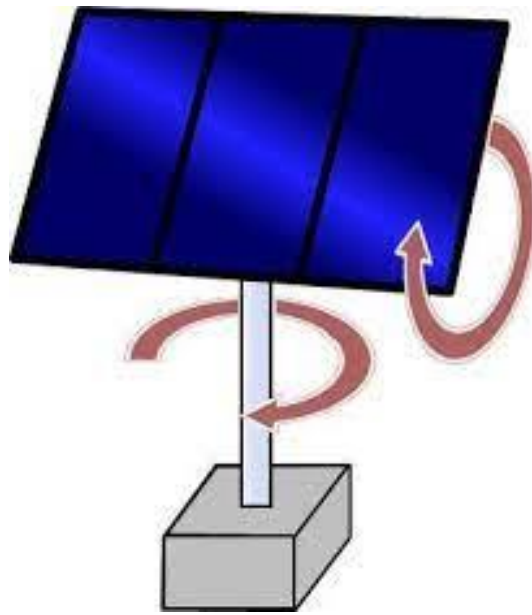


Рисунок 1.12 – Двоосьовий сонячний трекер типу TTDAT

і  
н  
е  
р  
і  
Рекомендації щодо установки полів сонячних батарей з використанням TTDAT аналогічні рекомендаціям для будь-яких інших типів трекерів. Осі обертання TTDAT зазвичай вирівнюються за північним меридіаном або за лінією широти сходу-заходу.

і  
і  
Трекери типу **Azimuth-Altitude Dual Axis Tracker (AADAT)** відрізняються наявністю двох осей обертання і опорної площини, основна вісь вертикальна (див. рис. 1.13). Вони подібні до трекерів типу TTDAT, але механіка повороту масиву відрізняється. AADAT системи замість стовпа використовують велике обертове кільце, яке монтується на землі або на платформі [14].



Рисунок 1.13 – Зображення AADAT трекеру



К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

а  
ф Однією з переваг цієї конфігурації є те, що навантаження від масиву  
р рівномірно розподіляється по обертовому кільцю, замість концентрації на одній  
д точці, як у випадку з TTDAT. Це дозволяє AADAT утримувати більші масиви  
а панелей, ніж могли б TTDAT.

к  
о Проте, цей вид трекерів має обмеження: вони не можуть бути розташовані на  
м відстані меншій, ніж діаметр обертового кільця. Це може знизити щільність  
п розміщення систем, особливо якщо враховувати потенційне затінення.

ю  
т **Двохосьові трекери з полярною орієнтованою віссю (Polar Dual Axis**  
е Tracker, PDAT) [16]. Вони є варіацією звичайних двухосьових трекерів і  
н використовують особливість полярного орієнтування для підвищення  
о ефективності збору сонячної енергії.

і Одна вісь у PDAT відстежує рух Землі навколо її осі, роблячи повний оберт  
н протягом 24 годин. Ця вісь орієнтована паралельно осі обертання Землі,  
е спрямована на Північну зірку.

р Друга вісь змінює висоту панелі (тобто кут відносно горизонту) для  
в відслідковування висоти Сонця в небі, що змінюється протягом дня та змінюється  
і в залежності від сезону.

Завдяки цим двом осям обертання PDAT може налаштуватися так, щоб  
оптимально спрямувати панель на Сонце впродовж усього року (рис. 1.14).

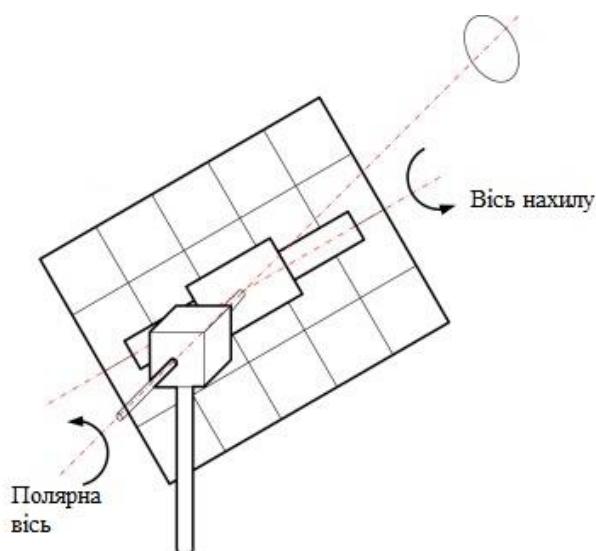


Рисунок 1.14 – Будова трекеру з полярно орієнтованою віссю



а  
ф Завдяки своїй невисокій вартості, трекери для сонячних батарей є особливо  
е ефективними для фотоелектричних систем з використанням дорогих та  
д високоєфективних панелей.

а  
к Вибір між одноосьовими та двохосьовими трекерами залежить від різних  
ф факторів, таких як географічне розташування, швидкість вітру, щільність  
М населення, бюджет, технічне обслуговування та енергетична ефективність.

ю  
р Важливо розуміти властивості та характеристики різних типів трекерів, щоб  
н зробити інформований вибір та оптимізувати використання сонячної енергії.

## е р н 1

о  
і **Будова трекерів** складається з декількох ключових компонентів, які спільно  
працюють для ефективного відслідковування руху сонця та забезпечення  
і оптимальної експозиції сонячних панелей [17]. Проте, існує великий спектр  
ж різноманітних конфігурацій сонячних трекерів, в залежності від специфічних  
н потреб та умов. Основні компоненти сонячного трекера включають [17]:

е  
р – **фундамент або несучу частину:** Він забезпечує стабільність трекера,  
і рухома частина визначає осі повороту платформи. Конструкція фундаменту та  
н несучої частини має бути достатньо міцною, щоб витримати вагу і навантаження  
від сонячних панелей, механізмів управління та інших компонентів, а також  
зовнішні впливи, такі як вітер, сніг або інші погодні явища;

– **додаткові підсистеми:** Вони складаються з блоків управління, захисту,  
стабілізації, метеостанції для вимірювання умов довкілля та системи грозозахисту  
для захисту від електричних розрядів;

– **механізми управління рухомою платформою:** Ці системи  
складаються з двигунів або актуаторів (див. рис. 1.15), які забезпечують точне  
позиціонування панелей по відношенню до Сонця.

У трекерах можуть використовуватись різні типи двигунів, такі як  
серводвигуни, лінійні та крокові [18]. Кожен з цих типів має свої переваги та  
недоліки, і вибір конкретного типу залежить від умов розробки сонячної  
електростанції.

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
ф Серводвигуни, забезпечуючи точність позиціонування сонячних панелей, є  
е ідеальним варіантом для трекерів, хоча вони можуть бути витратними.  
Д  
Р Крокові двигуни – бюджетний альтернативний варіант, проте вони можуть  
а вимагати періодичної корекції.  
к  
о Лінійні двигуни гарантують гладке переміщення панелей, але їх установка  
М Може бути складною.  
П  
,  
ю При виборі типу двигуна для трекера важливо враховувати потреби проєкту,  
вартість системи, точність позиціонування та інші фактори. Іноді комбінація різних  
е типів двигунів може бути найкращим рішенням для забезпечення оптимальної  
н продуктивності та ефективності трекера.  
О  
і

і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
ї



Рисунок 1.15 – Система з встановленими актуаторами

- **контролер:** Він служить для моніторингу, обслуговування та налаштування енергетичної системи, включаючи відстеження продуктивності та діагностику можливих проблем;
- **маршрутизатор:** Цей компонент підключений до інтернету і відправляє дані моніторингу системи, а також забезпечує віддалений доступ до системи для управління та обслуговування;
- **інвертор:** Цей пристрій перетворює постійну напругу, яку генерують сонячні панелі, на змінну напругу, яку можна використовувати в електромережі або зберігати в акумуляторах.

## 1

### Дослідження впливу системи орієнтації трекера на аспекти функціонування

сонячних трекерів – механізмах та методах, які вони використовують для відслідковування руху Сонця по небу.

Найефективніші сонячні трекери використовують системи управління, орієнтовані на Сонце у реальному часі. Вони застосовують датчики світла або алгоритми для відстеження руху Сонця [19], що дозволяє забезпечити високу точність і надійність, а також адаптуватися до змінних умов та мінімізувати енергетичні витрати.

### Алгоритмічний підхід

Алгоритмічний підхід до слідкування за Сонцем використовує науково обґрунтовані моделі для визначення положення Сонця в залежності від часу доби, дати і географічного положення. Ці моделі, як правило, включають елементи астрономії і фізики, щоб врахувати такі фактори, як кут нахилу земної осі і орбітальний рух Землі навколо Сонця. Це підходить для місць з стабільними метеоумовами, де можна заздалегідь передбачити інтенсивність сонячного випромінювання.

Проте, алгоритмічний підхід має певні обмеження. Він не може врахувати непередбачувані зміни умов освітлення, такі як хмарність або туман, які можуть значно вплинути на кількість і напрямок сонячного світла. Тому цей метод не завжди може забезпечувати оптимальний кут нахилу сонячних панелей.

### 1.4.2 Алгоритм з застосуванням датчиків світла

Підхід, який використовує датчики світла, реагує на актуальні умови освітлення. Фоторезистори або світлочутливі резистори (LDR) використовуються для визначення напрямку, з якого приходить найбільше світла.

Ці датчики, які часто розміщуються на різних сторонах трекера, вимірюють інтенсивність світла. Коли один датчик реєструє більше світла, ніж інший, система видає команду на поворот панелей у бік більшого світла.

К  
а  
ф  
е  
Д

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

Системи з датчиками світла можуть адаптуватися до миттєвих змін умов освітлення, наприклад, коли хмара проходить перед Сонцем. Вони постійно коригують положення сонячних панелей, щоб максимізувати їхню експозицію до сонячного світла.

к  
о  
М  
П

Втім, цей підхід може вимагати більше енергії для роботи датчиків і механізмів руху. Також він може потребувати більш частого технічного обслуговування, оскільки датчики світла і механізми руху піддаються більшому зносу.

е  
р  
н  
о

Вибір між алгоритмічним підходом та використанням датчиків світла залежить від конкретних обставин та потреб.

і

Незважаючи на те, який підхід використовується, головною метою активної системи є забезпечення максимального кута падіння прямих сонячних променів на поверхню сонячної панелі протягом усього дня. Оскільки Сонце змінює своє положення впродовж дня, панель повинна мати можливість динамічно змінювати своє положення для досягнення найвищої ефективності.

р  
і

Важливо підкреслити, що системи, які використовують датчики світла для відслідковування руху Сонця, вважаються більш ефективними. Вони здатні динамічно реагувати на зміни в розташуванні Сонця та умов освітлення, що робить їх найкращим вибором для більшості сонячних трекерів.

## Висновки до розділу 1

У цьому розділі було ретельно проаналізовано та порівняно основні способи підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) сонячних панелей. На основі детального аналізу та порівняння, було виявлено, що використання трекерів є найкращим способом підвищення ККД. Трекери не тільки забезпечують максимальне використання прямих сонячних променів за рахунок своєї здатності слідувати за сонцем протягом дня, але й мають великий потенціал для подальшого покращення та інновацій.

Також було оглянуто різноманітність сонячних трекерів, їх класифікацію, особливості конструкції, а також методи управління їхньою системою орієнтації.

К

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

а

Підсумовуючи детальний огляд трекерів, можна дійти висновку, що найефективнішими є двовісні трекери, які використовують датчики світла для відслідковування руху Сонця.

а

Все це наголошує на тому, що сонячні трекери є важливим і перспективним напрямком для підвищення ефективності використання сонячної енергії, і заслуговують на подальше дослідження та розвиток.

М  
П

,

ю

т

е

р

н

о

ї

і

н

ж

е

н

е

р

і

ї

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ ПРИСТРОЮ

### Постановка задачі проєктування

Ця робота має на меті вирішення ряду задач, пов'язаних з оптимізацією ефективності сонячних батарей. Враховуючи попередні дослідження та важливі висновки в цій галузі, було поставлено наступні завдання для виконання:

- 1) розробка алгоритму роботи пристрою: Пристрій має використовувати вивчений алгоритм для слідування за положенням сонця на небі протягом дня та зміни положення панелей відповідно до цього. Алгоритм має бути оптимізований для максимального збору сонячної енергії;
- 2) розробка структурної схеми пристрою: Необхідно розробити детальну структурну схему пристрою, включаючи всі елементи системи слідування та контролю, а також механічні та електричні з'єднання між ними;
- 3) вибір приладів для розробки апаратної частини: Необхідно визначити і вибрати відповідні компоненти для розробки апаратної частини сонячного трекера, зокрема сенсори, механічні акутатори, контролери та інші елементи;
- 4) проєктування та опис принципової схеми: Після визначення основних компонентів треба розробити та описати принципову схему пристрою, включаючи деталі про те, як елементи будуть взаємодіяти між собою, а також процедури контролю та регулювання.

Виготовлена система має в реальному часі встановлювати сонячний трекер в перпендикулярне положення по відношенню до сонячних променів, аналізуючи дані, що були отримані зі спеціальних датчиків, за допомогою двох двигунів, які будуть закріплені на двох осях трекеру.

### Розробка алгоритму роботи пристрою

Розроблюваний пристрій повинен отримувати дані з фоторезисторів, які встановлені на кожному куту сонячної панелі. Після чого показання сенсорів порівнюються та аналізуються, на основі результату аналізу трекер розташовує сонячну панель так, щоб вона була перпендикулярно до сонячних променів. Крім

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а того, має бути реалізоване повертання трекеру до початкового положення на  
е Початку кожного дня.  
Д

Р Алгоритм роботи сонячного трекера складається з наступних кроків:  
а

- к 1) ініціалізація пристрою: При запуску система переходить в режим  
ввічкування, готова до опитування датчиків та реагування на отримані дані;
- м 2) опитування датчиків: Система постійно опитує датчики, встановлені на  
п трекері, для отримання актуальних даних про напрям сонячних променів;
- ю 3) обробка даних: Отримані дані з датчиків аналізуються. На основі цього  
т аналізу система визначає поточне положення сонця в просторі;
- е 4) прийняття рішення: На основі відомостей про поточне положення  
н сонця, система вирішує, чи потрібно змінити орієнтацію трекера. Якщо положення  
о сонця вимагає корекції орієнтації, система надсилає відповідні команди двигунам;
- н 5) виконання дій: Двигуни, закріплені на двох осях трекера, здійснюють  
ж рух, забезпечуючи перпендикулярне положення трекера по відношенню до  
е сонячних променів;
- р 6) перевірка результатів: Після виконання кожного руху система знову  
і опитує датчики, щоб переконатися, що нове положення трекера дійсно  
перпендикулярне до сонячних променів.

Цей процес повторюється в реальному часі протягом усього світового дня, щоб забезпечити оптимальну орієнтацію сонячного трекера.

Алгоритм роботи описаної системи наведено в Додатку Б.

### **Розробка структурної схеми пристрою**

Для виконання визначеного алгоритму роботи, в системі сонячного трекера передбачено ряд взаємопов'язаних функціональних блоків, які чітко зображені на структурній схемі пристрою (див. рис. 2.2). Вся система може бути умовно розбита на ключові відділи: відділ збору даних і відділ обробки даних.



Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою

Відділ збору даних складається із спеціалізованих датчиків, які безперервно збирають інформацію про інтенсивність освітлення сонячної панелі. Ці показники є важливими для аналізу та оптимізації роботи системи.

Відділ обробки даних включає систему управління, драйвер серводвигунів, а також самі серводвигуни. Система управління є головною частиною системи, яка керує процесом збору даних з датчиків, обробляє цю інформацію, та здійснює контроль над виконавчими механізмами - серводвигунами.

Серводвигуни, які обслуговуються спеціалізованим драйвером, є основними виконавчими елементами системи. Вони відповідають за рух сонячної панелі, виконуючи повороти по двом осям відповідно до сигналів від мікроконтролера, щоб оптимально спрямувати панель на сонце.

### **Вибір елементної бази для розробки апаратної частини**

#### **Вибір мікроконтролера**

Мікроконтролер – це важливий компонент системи, що відповідає за керування роботою інших компонентів, обробку даних від сенсорів, реагування на зміни в системі і виконання заданих команд.



К  
а  
ф  
е  
Д  
а  
к  
М  
П  
,  
ю  
т  
е  
р  
н  
О  
і  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
і

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

Вибір мікроконтролера для проєкту залежить від багатьох факторів, таких як потреби в обчислювальній потужності, підтримка необхідних інтерфейсів, обсяг пам'яті, споживання енергії, ціна та доступність.

У контексті дипломного проєкту потребується контролер, який б міг ефективно обробляти дані від сенсорів освітлення, контролювати роботу серводвигунів, мав достатньо портів для підключення необхідних компонентів, і при цьому був енергоефективним і доступним за ціною.

Arduino Uno R3 [20] (рис 2.3) вибрано для проєкту двовісного сонячного трекера з декількох причин. Характеристики даного мікропроцесору наведені в Таблиці 2.1.



Рисунок 2.3 – Зображення обраного мікроконтролера Arduino Uno R3

Цей мікроконтролер є надзвичайно популярною платою для розробки, і від цього є багато переваг:

- 1) **відкритий вихідний код:** Arduino Uno R3 має відкритий вихідний код, який є однією з головних переваг. Це дозволяє розробникам легко знайти потрібну інформацію, починаючи від схем плати до прикладів коду, і отримати допомогу від активної глобальної спільноти Arduino;
- 2) **сумісність:** Arduino Uno R3 сумісний з широкою кількістю сенсорів та актуаторів, які легко підключити до плати через гнізда I/O. Це значно спрощує процес розробки і випробувань;

К  
а  
ф  
е  
Д  
В  
а  
к  
б  
М  
П  
,  
ю  
е  
р  
н  
О  
ї

3) **інтегроване середовище розробки (IDE):** Arduino IDE легкий в освоєнні і використанні, що робить Arduino Uno R3 відмінним вибором для новачків і професіоналів;

4) **стабільність і надійність:** Arduino Uno R3 відомий своєю стабільністю і надійністю. Плата відрізняється низьким споживанням енергії, тому вона може працювати протягом тривалого часу без необхідності заміни джерела живлення;

5) **низька ціна:** Плата Arduino Uno R3 доступна за ціною, що робить її відмінним вибором для студентів;

6) **функціональність:** Arduino Uno R3 має достатню кількість цифрових та аналогових вхідних та вихідних портів, що дає можливість керувати різними пристроями, такими як двигуни і датчики.

Таблиця 2.1 – Характеристики Arduino Uno R3

Плата	Arduino UNO R3	
Мікроконтролер	ATmega328P	
USB	USB-B	
Піни	Вбудовані LED піни	13
	Цифрові входи/виходи	14
	Аналогові входи	6
	PWM піни	6
Передача даних	UART	Так
	I2C	Так
	SPI	Так
Живлення	Робоча напруга	5V
	Вхідна напруга (номінальна)	7-12V
	Роз'єм для підключення джерела живлення	Barrel Plug

## Продовження табл. 2.1

Тактова частота	Головний процесор	ATmega328P 16 MHz
	Послідовний USB-процесор	ATmega16U2 16 MHz
Пам'ять	ATmega328P	2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM
Розміри	Вага	25 g
	Ширина	53.4 mm
	Довжина	68.6 mm

Всі ці переваги роблять Arduino Uno R3 ідеальним вибором для розробки системи двовісного сонячного трекера.

**Вибір способу орієнтації на сонце та відповідних датчиків**

Наступним важливим кроком є вибір методу відслідковування Сонця для нашого трекера. Відправною точкою для вибору є факт, що ефективність сонячного трекера в значній мірі залежить від точності його відслідковування положення Сонця в реальному часі. Таким чином, ми повинні визначити найоптимальніший метод відслідковування, що відповідає нашим потребам.

При виборі методу відслідковування, ми повинні врахувати кілька ключових факторів. По-перше, ми повинні звернути увагу на точність відслідковування, яка безпосередньо впливає на ефективність сонячного трекера. По-друге, важливо врахувати вартість і складність компонентів, що використовуються для реалізації методу відслідковування. І, нарешті, ми повинні врахувати легкість встановлення та обслуговування системи.

На основі дослідження, проведеного у першому розділі, можна зрозуміти висновок, що метод відслідковування за допомогою фоторезисторів [21] (рис. 2.4) виявляється найкращим варіантом для нашого трекера. Цей висновок базується на наступних аргументах:

– **точність:** Фоторезистори забезпечують достатню точність для відслідковування положення Сонця;

К  
а  
ф  
е  
д  
р  
а  
м  
п  
,  
ю  
т  
е  
р  
н  
о  
ї  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
ї

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

– **складність та вартість:** Фоторезистори прості в використанні і дешеві, що робить їх доступними для більшості проєктів;  
– **легкість встановлення та обслуговування:** Фоторезистори прості в встановленні та обслуговуванні, що робить їх ідеальними для домашніх та шкільних проєктів.



Рисунок 2.4 – Фоторезистор

Отже, на основі аналізу переваг та недоліків різних методів відслідковування Сонця, фоторезистори виявляються найкращим варіантом для нашого двовісного трекера.

### **Вибір механічної компоненти для сонячного трекера.**

Успішне проєктування сонячного трекера вимагає уважного підходу до вибору всіх його компонентів, а особливо – до механічної частини системи. Механічний привід є важливою частиною пристрою, що відповідає за рухомість та точне позиціонування сонячної панелі відносно Сонця, що в свою чергу максимізує продуктивність панелі.

Можливими механічними компонентами для прототипу трекера є сервопривід, ступеневий мотор та DC мотор.

Сервоприводи є одними з найточніших механічних систем, вони дозволяють точно контролювати кутове положення виходу. Вони легкі в управлінні, зазвичай мають компактні розміри, і не вимагають додаткових систем управління

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
Дозиціонуванням. Втім, вони можуть бути менш енергоефективними на великих  
е навантаженнях і не завжди можуть надавати необхідну міцність.  
Д

Р Ступеневі мотори мають здатність виконувати точне позиціонування без  
а  
необхідності в зворотньому зв'язку, вони володіють високою точністю і можуть  
к  
надавати велику крутний момент на низьких швидкостях. Однак, вони можуть бути  
М.  
П більшими та важчими, в порівнянні з сервоприводами, і вимагають більш складних  
систем управління.

ю  
Т DC мотори пропонують найкращу вартість за одиницю потужності, вони  
е  
надають найвищий крутний момент з усіх механічних систем. Втім, вони не мають  
н  
об'єднаних засобів позиціонування, і для отримання точної позиції вони  
вимагають додаткових датчиків і обладнання для обробки сигналів.

і На основі написаного вище, можна дійти висновку, що сервоприводи [22]  
н  
(рис 2.5) представляються найкращим вибором для сонячного трекера. Хоча вони  
е  
можуть бути менш енергоефективними на великих навантаженнях, вони  
н  
забезпечують відмінну точність і легкість управління, що є важливим для трекера,  
р  
оскільки він повинен постійно налаштовуватися, щоб слідкувати за Сонцем. Крім  
і  
того, компактні розміри сервоприводів забезпечують більшу гнучкість при  
розміщенні системи.



Рисунок 2.5 – Сервопривід

К  
а  
ф  
Уно R3, фоторезистори та сервоприводи становлять оптимальний набір  
Д  
Компонентів для реалізації двовісного сонячного трекера.  
а

### Проектування та опис принципової схеми

к  
о  
м  
Принципова схема – це візуальне представлення структури нашого  
Пристрою, що демонструє зв'язки між різними компонентами системи і дає  
загальне уявлення про спосіб функціонування трекера.

Т  
е  
р  
Недооцінювати, оскільки вона є основою для побудови фізичного пристрою. Добре  
Продумана та оформлена схема допомагає уникнути можливих технічних проблем  
у майбутньому, спрощує процес збірки та налаштування пристрою.

і  
н  
ж  
е  
і  
Для кращого розуміння приладу та його конструкції буде спроектовано та  
проаналізовано принципову схему нашого двовісного сонячного трекера (рис. 2.6),  
що включає Arduino Uno R3 в якості мікроконтролера, фоторезистори як датчики  
освітленості та сервоприводи для механічного управління трекером. Ми  
розглянемо, як ці компоненти з'єднуються між собою і взаємодіють для досягнення  
основної мети – максимально ефективного відслідковування сонячного положення.

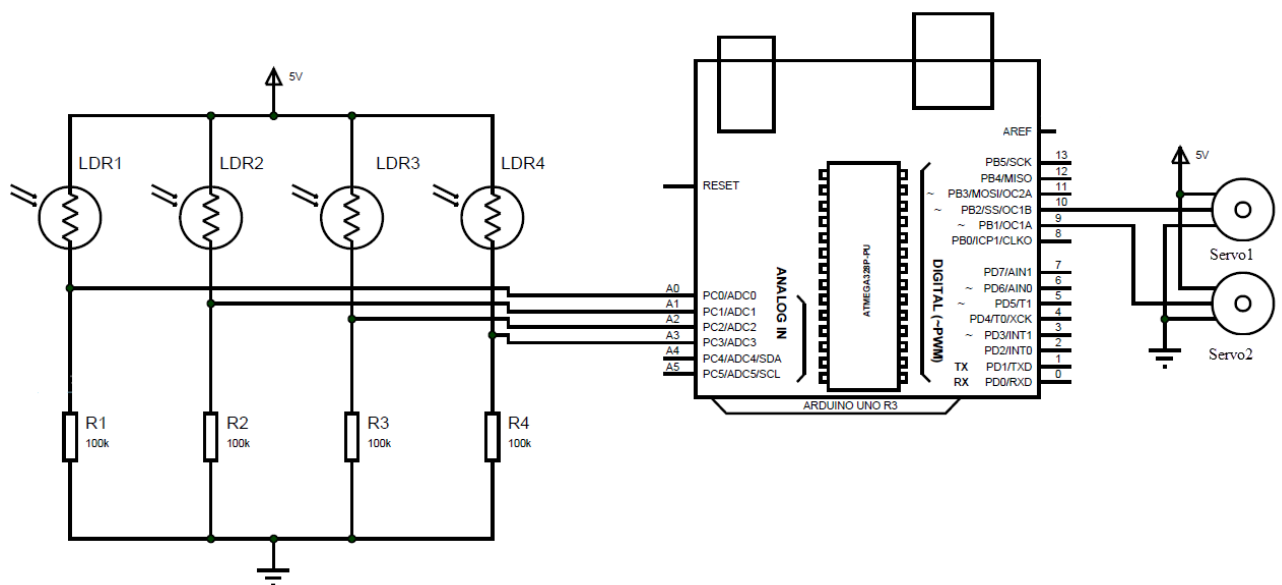


Рисунок 2.6 – Принципова схема пристрою

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
ф Сонячний трекер, хоч і має просту схемотехніку, потребує обережного і  
е ретельного налаштування для отримання оптимальної продуктивності та точності.  
Д  
У основа схеми трекера складається з чотирьох світлочутливих резисторів (LDR) та  
а чотирьох резисторів на 100 кОм, організованих в форму дільників напруги.  
к  
о Ці конструкції дільників напруги спрямовують свої виходи до чотирьох  
М аналогових вхідних виводів мікроконтролера Arduino Uno. Ці входи забезпечують  
П  
потрібні дані про інтенсивність світла, які впливають на поведінку трекера.  
ю  
т Подальше управління механічними елементами трекера здійснюється через  
е сервоприводи. ШІМ-вхід кожного з двох сервоприводів підключено до відповідних  
н цифрових виводів Arduino Uno, зокрема 9 та 10. Ці виходи відправляють  
о  
управлінські сигнали до сервоприводів, регулюючи їхні позиції відповідно до  
отриманих даних про інтенсивність світла.  
н  
ж Цей простий, але ефективний набір компонентів і з'єднань підтримує роботу  
е сонячного трекера, забезпечуючи точне і надійне відслідковування положення  
н сонця на небі. Проте, необхідно пам'ятати, що якісне налаштування системи є  
р  
ключовим аспектом отримання найкращих результатів від пристрою.  
і

## Висновки до розділу 2

В даному розділі було проведено проектування пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів. На початку була поставлена задача проектування, в якій було визначено основні параметри та вимоги до пристрою.

Розробка алгоритму роботи пристрою була наступним важливим кроком. Закладений алгоритм формує базу для функціонування пристрою і дозволяє оптимізувати його роботу, забезпечуючи точне відслідковування кута падіння сонячних променів.

В процесі розробки структурної схеми було узагальнено основні компоненти системи та їх взаємозв'язок, що є ключовим для забезпечення правильної роботи пристрою. Для розробки апаратної частини було обрано відповідні прилади, які відповідають вимогам задачі та забезпечують надійне функціонування пристрою.

К  
а  
ф  
е  
д  
Р  
а  
к  
н  
М  
н  
ю  
т  
е  
р  
н  
о  
ї  
  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
ї

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

Проектування та опис принципової схеми дали можливість детально розглянути принцип роботи пристрою, його основні блоки та взаємодію між ними.

Таким чином, в ході роботи над цим розділом, було успішно проєктовано пристрої для відслідковування кута падіння сонячних променів. Проєкт включає всі необхідні компоненти, включаючи вибір приладів, структурну схему, алгоритм роботи та принципову схему, що забезпечують ефективність та надійність пристрою.



### **3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ КУТА ПАДІННЯ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ**

В даному розділі буде зосереджена увага на практичній частині нашого дослідження, а саме – на процесі реалізації пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів. Розробка такого типу пристрою включає декілька етапів, кожен з яких має свої особливості та складності.

Спершу буде розглянуто процес створення апаратної частини пристрою, де буде детально розглянуто процес збірки та налаштування обладнання.

Наступним кроком буде розробка та опис програмного забезпечення. Зокрема, буде описана структура коду, використовувані алгоритми та методи контролю роботи пристрою.

В заключному підрозділі ми перевіримо роботу пристрою, оцінимо його ефективність та точність відслідковування кута падіння сонячних променів.

Цей розділ важливий для демонстрації реалізації теоретичних знань на практиці і дозволить оцінити функціональність і ефективність розробленого пристрою.

#### **3.1 Розробка апаратного забезпечення**

Реалізація пристрою відбувається у кілька етапів.

##### **Підготовка основи**

Першим етапом в процесі створення пристрою є підготовка основи, на якій буде закріплена сонячна панель. У реальних системах більше використовуються матеріали (метал, пластик, скло), які можуть витримати вплив зовнішнього середовища та забезпечити стабільність роботи пристрою. Для створення нашого прототипу ми використовуємо картон. Вибір картону для створення прототипу пояснюється декількома причинами:

– картон є доступним матеріалом, який легко знайти в більшості домашніх умов;

К а ф е Д «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
– картон легко різати, складати та формувати, що дозволяє швидко створювати прототипи конструкцій;

Р а – використання картону є економічно вигідним рішенням для створення прототипів, оскільки це дозволяє зберегти кошти, які могли б бути витрачені на більш дорогі елементи.

М п ю е р Для початку створення основи пристрою, потрібно взяти картон достатньої товщини і міцності. Величина картону залежить від розмірів використовуваної сонячної панелі, але вона має бути достатньо великою, щоб містити панель та чотири датчики освітленості LDR.

н о В картоновій основі потрібно зробити п'ять отворів. Центральний отвір для виведення проводів від сонячної панелі. Чотири додаткові отвори, розташовані з чотирьох боків, потрібні для розміщення датчиків LDR. Розмір цих отворів повинен відповідати розміру датчиків.

е н р і Застосовуючи клей (наприклад, універсальний або гарячий силіконовий клей), треба приклеїти сонячну панель до картону так, щоб два виводи панелі були навпроти центрального отвору.

За допомогою ізоляційної стрічки або спеціальних кріплень, два дроти мають бути виведеними від сонячної панелі через центральний отвір картону. Це дасть доступ до електричного виводу панелі з зовнішньої сторони картону, не заважаючи розміщенню датчиків LDR.

Готову основу можна побачити на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Готова картонна основа для пристрою

### Кріплення та підключення LDR датчиків, встановлення першої осі обертання

На цьому етапі роботи з LDR датчиками освітленості, потрібно забезпечити кріплення і правильне підключення до системи.

Для початку треба обрізати проводи LDR (рис. 3.2), щоб вони мали різну довжину – це полегшить процес підключення і уникнення перекриття проводів.



Рисунок 3.2 – Готові до встановлення LDR

Щоб зробити це, треба використовувати дротяні кусачки (рис. 3.3) або будь-який інший підходящий інструмент.



Рисунок 3.3 – Дротяні кусачки

Після чого треба вставити кожен з чотирьох датчиків LDR у відповідний отвір на картоні (рис. 3.4). Вони повинні бути добре закріплені в отворах, але не настільки тісно, щоб пошкодити датчики або картон.



Рисунок 3.4 – Встановлені на своїх місцях датчики

Датчики закріплюються на своїх місцях за допомогою клею. Важливо забезпечити достатній час для висихання клею перед подальшим маніпулюванням конструкцією.

Крім того, на даному етапі було встановлено першу вісь обертання. У якості осі обертання в даному пристрої буде перфорована металева смуга, яку буде обертати серводвигун, яку було довстановлено після паяння фоторезисторів. Перед встановленням, смугу треба зігнути, як показано на рис. 3.5.

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»



Рисунок 3.5 – Підготовка смуги до встановлення на основу

Після проведення підготовки над смугою, вона була встановлена на зворотній стороні картону (рис. 3.6).

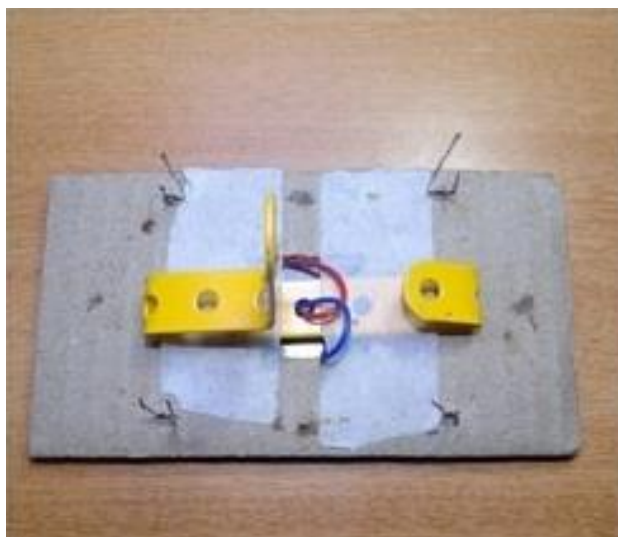


Рисунок 3.6 – Основа після встановлення датчиків та першої осі обертання

**Створення електричних з'єднань між компонентами.**

Створення електричних з'єднань між компонентами є ключовою частиною процесу побудови цієї системи.

Було припаяно два виводи LDR (рис. 3.7). Потрібно пам'ятати, що пайка – це процес, який вимагає точності і обережності.

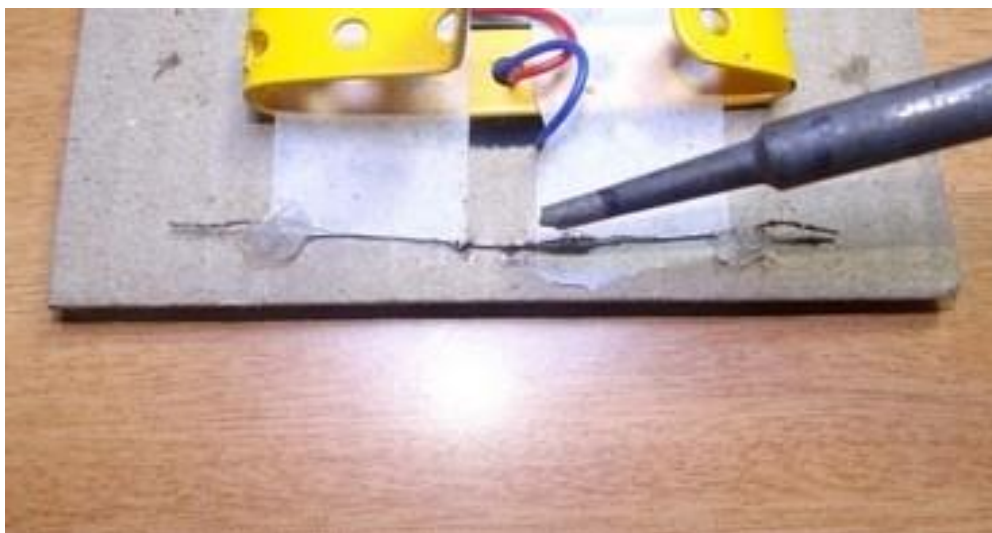


Рисунок 3.7 – Пайка двох виходів фоторезисторів

Наступним кроком було припаяно резистори номіналом 10 кОм до інших кінців LDR (рис. 3.8). Резистори використовуються для лімітування струму, що проходить через LDR, для уникнення їх перегріву або пошкодження.

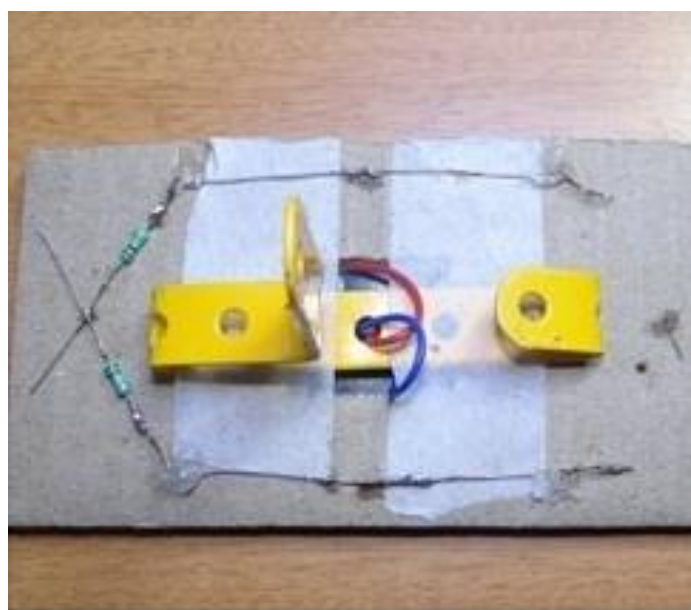


Рисунок 3.8 – Додавання резисторів у схему

З'єднайте чотири виводи 4 LDR за допомогою дроту (рис. 3.9). Це створює «міст» між датчиками, що дозволяє сигналу вільно проходити між ними. При цьому використовуйте достатньо довгий дріт, щоб забезпечити гнучкість при майбутньому розміщенні компонентів.





Рисунок 3.9 – З'єднання за допомогою дроту

Далі основна робота полягала в організації підключення між LDR та Arduino через шинний дріт. Він є ключовим елементом цього з'єднання, оскільки він відповідає за передачу інформації від датчиків до плати Arduino. Для підключення проводу до LDR було використано металеву смужку, в яку його вставили. При цьому було дотримано відповідних технічних вимог, зокрема щодо розміщення проводів. Після того, як дріт був вставлений в металеву смужку, чотири дроти були припаяні до LDR. Процес пайки виконувався обережно, щоб уникнути пошкодження LDR або резисторів.

Наступним етапом була реалізована подача живлення до схеми LDR. Для цього був використаний ще один шинний дріт, яку вставили в перфоровану металеву смужку. Ця шина дозволила забезпечити Voltage Common Collector (VCC), тобто живлення, та Ground (GND, заземлення) для схеми, що є важливим для коректної роботи сенсорів. Потім один з проводів цієї шини було припаяно до виводів LDR, які були підключені до резисторів, а інший – до решти виводів. Таке підключення дозволило забезпечити коректну роботу схеми.

Результат вищенаведеної роботи можна побачити на рис. 3.10.



Рисунок 3.10 – Готова схема пристрою

### Додавання сервоприводів.

Після створення базової структури пристрою, вам потрібно додати до цієї конструкції два сервопривода. Ці сервоприводи відповідатимуть за рух системи вздовж двох вісей, що дозволить нашому пристрою оптимально використовувати сонячне світло в різні часи дня і в різних сезонах.

Перший сервопривід був прикріплений до вже існуючої металевої смуги в вашій конструкції. Це гарантує, що пристрій матиме надійне кріплення.

Щодо другого сервопривода, ви маєте зігнути додаткову металеву смугу таким же способом, як було показано на рис. 3.11. Це дозволить вам забезпечити стабільність другого сервопривода та його надійне кріплення до основної конструкції пристрою.



Рисунок 3.11 – Зігнута металева смуга для другого сервоприводу



Після цього, обидва серводвигуни були з'єднані між собою, створюючи готову конструкцію системи слідування кута падіння сонячних променів. Кінцевий результат був представлений на рис. 3.12, демонструючи функціональну та надійну систему для ефективного використання сонячної енергії.



Рисунок 3.12 – Готовий пристрій

### **Програмування функціоналу пристрою**

Наступний етап розробки нашого пристрою для відслідковування кута падіння сонячних променів полягає в програмуванні функціоналу. В цьому розділі ми будемо розглядати важливий елемент, який дає можливість нашому пристрою реагувати на зміни в позиції сонця в реальному часі: програмне забезпечення.

### **Вибір середовища програмування**

У цьому підрозділі було зосереджено увагу на виборі відповідного середовища розробки та мови програмування для розробки функціоналу нашого пристрою. Обравши оптимальне середовище та мову програмування, ми зможемо максимально ефективно реалізувати необхідну функціональність та забезпечити надійність та продуктивність пристрою.

Для проекту було обрано Arduino IDE [23] як основне середовище програмування. Це дуже популярний вибір серед розробників, які працюють з мікроконтролерами Arduino. Arduino IDE відрізняється простим та інтуїтивно

К  
а  
зрозумілим інтерфейсом (рис. 3.13), що спрощує процес написання, тестування та  
е  
завантаження коду на плату Arduino.



Рисунок 3.13 – Інтерфейс Arduino IDE

Також Arduino IDE сумісна з усіма основними операційними системами, включаючи Windows, MacOS і Linux. Це означає, що ми можемо програмувати наш пристрій на будь-якому комп'ютері без обмежень.

Крім того, Arduino IDE має велику спільноту користувачів, що означає наявність великої кількості доступних ресурсів, які можна використати для вирішення проблем, пошуку прикладів коду та отримання допомоги від інших користувачів.

### Мова програмування

Було обрано C++ [24] як основну мову програмування для нашого проекту. Arduino IDE використовує варіант мови C++, який спеціально адаптований для роботи з мікроконтролерами.

C++ дозволяє нам ефективно управляти ресурсами мікроконтролера, а також надає великий набір можливостей для програмування, включаючи абстракцію даних, об'єктно-орієнтоване програмування та використання шаблонів.

Також C++ є високорівневою мовою, що робить її більш зрозумілою і легкою для читання в порівнянні з низькорівневими мовами, як-от асемблер.

а У поєднанні з Arduino IDE, C++ дозволяє нам ефективно розробляти та  
ф оптимізувати програмне забезпечення для нашого пристрою відслідковування  
е Сонця.  
Д

а

### Процес написання коду

к

о Тут буде детально розглянуто процес розробки програмного забезпечення для  
м Нашої системи відслідковування кута падіння сонячних променів. Повну версію  
коду можна знайти в Додатку В.

т

е Код, який буде розроблюватись, має відповідати алгоритму, описаному  
р другому розділі дипломної роботи (Додаток Б).

о

і Він має містити інструкції для руху сервоприводів, зчитування значень з LDR  
та алгоритми для обчислення середнього значення світлового інтенсивності, з  
і метою визначення найяскравішого напрямку.

ж

е Написання коду починається з імпортування усіх важливих бібліотек, у  
Нашому випадку, це бібліотека `<Servo.h>` [25]. Бібліотека `Servo.h` є стандартною  
е бібліотекою в Arduino IDE, яка дозволяє легко контролювати сервоприводи. Ця  
і бібліотека надає простий інтерфейс для регулювання кута повороту сервоприводу.

```
#include <Servo.h>
```

Після імпорту бібліотеки, ми можемо створювати об'єкти типу `Servo`, які  
представляють фізичні сервоприводи, підключені до нашого Arduino. Кожен об'єкт  
`Servo` має методи для керування сервоприводом, наприклад, `attach()`, `write()` та

використовується для встановлення номера порту, до якого підключений  
сервопривід.

приймає значення кута (в градусах) і змінює положення сервоприводу відповідно  
до цього кута.

повертає поточне положення сервоприводу в градусах.

Імпортуючи бібліотеку `Servo.h`, ми отримуємо доступ до потужного набору  
інструментів для роботи з сервоприводами в нашому проєкті.

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

а Далі ми визначаємо два об'єкти Servo (servohori та servoverti, тобто  
ф Вертикальний та горизонтальний сервоприводи) та змінні, які будуть контролювати  
е Їх положення (servoh та servov). Ми також встановлюємо межі для цих змінних, щоб  
Д обмежити кут обертання сервоприводів.

к  
о  
М //defining Servos  
П Servo servohori;  
,  
ю int servoh = 0;  
Т int servohLimitHigh = 160;  
е int servohLimitLow = 20;  
Р  
н  
о  
і Servo servoverti;  
і int servov = 0;  
Н int servovLimitHigh = 160;  
ж int servovLimitLow = 20;  
е servoh та servov – це змінні, які використовуються для зберігання поточного  
Н положення сервоприводів. Вони ініціалізуються значенням 0, що відповідає  
і початковому положенню сервоприводів при запуску системи.

servohLimitHigh, servohLimitLow, servovLimitHigh та servovLimitLow – це обмежувачі, що встановлюють діапазон повороту для сервоприводів. Значення 160 і 20 були обрані для цих змінних, бо вони є стандартними границями для багатьох сервоприводів. Однак ці значення можуть відрізнятися в залежності від специфікацій конкретного сервоприводу.

Далі нам треба визначити аналогові входи, до яких підключені LDR.

```
//Assigning LDRs  
int ldrtopl = 2; //top left LDR green  
int ldrtopr = 1; //top right LDR yellow  
int ldrbotl = 3; // bottom left LDR blue  
int ldrbotr = 0; // bottom right LDR orange
```

ldrtopl, ldrtopr, ldrbotl та ldrbotr – це змінні, які визначають порти, до яких підключені LDR. Їх значення (2, 1, 3 та 0 відповідно) відповідають фізичним портам на платі Arduino, до яких підключені LDR. Назви змінних відображають

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
р розташування LDR на вашій системі (верхній лівий, верхній правий, нижній лівий  
е та нижній правий відповідно).  
Д

Р Наведені вище змінні визначають основні параметри і налаштування  
а системи.

к Використання таких змінних дозволяє зробити код більш зрозумілим і легким  
о для налаштування, адже у разі потреби зміни коду, просто потрібно змінити  
М значення цих змінних, щоб налаштувати поведінку системи.  
П  
ю

т У наступному блоці коду ми використовуємо функцію *setup()*. Функція *setup()*  
е важливою частиною програмного коду Arduino. Вона використовується для  
§ виконання певних операцій, які мають виконуватися один раз при запуску програми  
н або після її перезавантаження. Це включає в себе ініціалізацію змінних,  
о конфігурацію входів та виходів, запуск використовуваних бібліотек, встановлення  
н швидкості передачі даних для серійного зв'язку та інше.

е У нашому випадку, в *setup()*, ми ініціалізуємо сервоприводи і встановлюємо  
н їх початкове положення. Ми використовуємо *attach()* для вказівки на те, до яких  
р портів підключені сервоприводи, а потім використовуємо *write()* для встановлення  
і сервоприводів в початкове положення. Нарешті, ми додали *delay(500)*, який  
е призупиняє виконання програми на 500 мілісекунд. Це дозволяє час для  
н сервоприводів, щоб вони встигли повернутися в початкове положення перед тим,  
к як почнеться основний цикл програми.

```
void setup ()  
{  
  servohori.attach(10);  
  servohori.write(0);  
  servoverti.attach(9);  
  servoverti.write(0);  
  delay(500);  
}
```

Після того, як функція *setup()* завершує своє виконання, Arduino переходить до функції *loop()*, яка, як правило, містить основну логіку програми.

К  
а  
ф  
е  
Д  
р  
у  
г  
у  
а  
к  
о  
М  
П  
ю  
е  
р  
н  
о  
і  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
і

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

Функція *loop()* є основною частиною будь-якої програми для Arduino. Вона запускається після того, як функція *setup()* виконана, і продовжує виконуватись по колу, доки Arduino не вимкне або не перезавантажиться. Це робить *loop()* ідеальним місцем для поставлення коду, який потрібно виконувати постійно.

Наступний блок коду зчитує поточні значення з LDR за допомогою які зберігаються в змінні *topl*, *topr*, *botl*, *botr*. Код також зчитує поточне положення сервоприводів за допомогою *servohori.read()* та *servoverti.read()*, значення зберігаються в *servoh* і *servov* відповідно.

```
void loop()
{
    servoh = servohori.read();
    servov = servoverti.read();
    //capturing analog values of each LDR
    int topl = analogRead(ldrtopl);
    int topr = analogRead(ldrtopr);
    int botl = analogRead(ldrbotl);
    int botr = analogRead(ldrbotr);
    ...
}
```

Тут середнє значення для верхніх, нижніх, лівих і правих датчиків обчислюється і зберігається в змінні *avgtop*, *avgbot*, *avgleft*, *avgright* відповідно.

```
// calculating average
int avgtop = (topl + topr) / 2; //average of top LDRs
int avgbot = (botl + botr) / 2; //average of bottom LDRs
int avgleft = (topl + botl) / 2; //average of left LDRs
int avgright = (topr + botr) / 2; //average of right LDRs
```

Наступна частина коду вирішує, як перемістити сервоприводи на основі обчислених середніх значень. Наприклад, якщо середнє значення верхніх датчиків менше, ніж середнє значення нижніх датчиків, то вертикальний сервопривід рухається ввєрх, і навпаки.

```

К          «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»
а
ф      if (avgtop < avgbot)
е      {
д          servoverti.write(servov +1);
р          ...
а      }
к
о      else if (avgbot < avgtop)
м      {
п          servoverti.write(servov -1);
,          ...
ю      }
т          ...
е      }
р          ...
н
о      Таким чином, код в циклі loop() неперервно виконує ці кроки, щоб постійно
і      реагувати на зміни в освітленні, що дозволяє системі постійно відслідковувати
положення Сонця.

```

ж

е

н

е

р

і

### 3.3 Вдосконалення пристрою

Хоч пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів і виконує своє призначення, проте завжди є місце для удосконалення. Постійний технологічний прогрес дає нам змогу використовувати новітні компоненти, методи та алгоритми для оптимізації роботи таких систем.

Оптимізація та вдосконалення пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів може включати наступні аспекти:

- **оптимізація розташування фоторезисторів:** Фоторезистори слід розташовувати таким чином, щоб вони максимально ефективно відслідковували рух сонця. Це може включати використання більшої кількості фоторезисторів, розміщених в стратегічних точках на поверхні пристрою;

- **підвищення точності сервоприводів:** Використання більш високоякісних сервоприводів або регулярна калібрування існуючих може підвищити точність повороту панелі;

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

а  
ф – **оновлення програмного забезпечення:** Рефакторинг та покращення  
е  
Д кодової бази пристрою або впровадження нового алгоритму відслідковування  
Р Також може покращити роботу системи. Крім цього, можна додати нову систему  
а  
діагностування, яка би перевіряла систему на наявність помилок і відправляла  
к  
повідомлення користувачу через мобільний додаток;

м  
п – **удосконалення механізму обертання:** Використання більш надійних  
,  
ю та довговічних матеріалів у механізмі обертання може підвищити довговічність та  
е ефективність системи;

р – **застосування енергоефективних компонентів:** Використання  
н енергоефективних компонентів може зменшити споживання енергії системою, що  
ї є особливо важливим для сонячних установок.

і Крім наведених вище способів покращення системи, в пристрій можна  
н  
інтегрувати додаткові датчики, які збільшать його ефективність:

е  
н – **датчики вітру:** Дані датчики вимірюють швидкість та напрям вітру.  
е Вітер не безпосередньо впливає на кут нахилу панелей, але його врахування є  
р  
і важливим для забезпечення стійкості та довговічності системи. Сонячні панелі,  
особливо коли вони встановлені на трекерах, можуть діяти як вітрила в сильний  
вітер. Це може призвести до значного горизонтального навантаження на трекери та  
інші структурні компоненти, що, в свою чергу, може призвести до пошкоджень або  
навіть обвалу установки. Тому, інтегруючи датчик вітру, система може адаптуватися  
до сильних вітрів, автоматично знижуючи кут нахилу панелей або навіть  
повертаючи їх в безпечне положення. Це може значно збільшити стійкість  
установки до погодних умов і продовжити її термін служби;

– **датчики опадів:** Датчики осадів можуть слугувати важливим додатком  
до системи сонячних панелей з трекерами. Їх основна функція полягає в тому, щоб  
виявляти атмосферні опади, такі як дощ або сніг, які можуть знизити ефективність  
панелей або навіть пошкодити обладнання.

У разі виявлення опадів, датчик може відправити сигнал до контролера, який  
відповідно зреагує. Реакція може бути різною в залежності від конкретної ситуації  
та програмного забезпечення, але можливі наступні варіанти дій:



К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

а 1) рух панелей до горизонтального положення, щоб максимізувати  
ф е  
Д стікання води або зменшити накопичення снігу;

Р 2) використання вбудованих систем очищення (якщо такі є) для видалення  
а  
води або снігу.

к Таким чином, інтеграція датчика осадів може значно покращити здатність  
о системи адаптуватися до погодних умов, забезпечити більшу ефективність і  
М  
П тривалість служби обладнання.

ю – **датчики освітленості:** Хоча фоторезистори вже використовуються для  
т е  
е відслідковування положення сонця, додавання датчиків освітленості може  
н  
Д принести додаткові переваги. Фоторезистори вимірюють загальну інтенсивність  
світла, але вони не можуть дати точної інформації про рівень освітленості в  
конкретний момент часу. Це особливо важливо в умовах, коли сонячне світло  
н  
затінене хмарами або іншими об'єктами. У таких випадках, сонячна панель з  
е  
Д трекером може спробувати відслідкувати сонце, використовуючи неправильні дані  
Від фоторезисторів, що призведе до зменшення ефективності. Датчики освітленості  
р  
і можуть надавати більш точні дані про рівень освітленості, що допоможе системі  
і краще реагувати на зміни умов освітлення. Наприклад, при низькому рівні  
освітленості система може призупинити відслідковування положення сонця, що  
зменшить енерговитрати та надмірне навантаження на механічні компоненти.  
Таким чином, інтеграція датчиків освітленості дозволить системі бути більш  
адаптивною до змінних погодних умов та забезпечити оптимальну роботу сонячної  
панелі;

– **датчики температури та вологості:** Вони вимірюють умови  
навколишнього середовища. Збирання даних про температуру та вологість може  
допомогти в розрахунку потенційного утворення конденсату на поверхні панелей.  
Конденсат може призвести до утворення крапель води, які можуть негативно  
впливати на ефективність панелей та призвести до корозії або інших пошкоджень.  
Виявлення високої вологості може сприяти вчасному застосуванню заходів для  
запобігання утворенню конденсату та збереження ефективності системи;

К а ф е Д р а  
«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
– **датчики напруги і струму:** Вони вимірюють вихідну потужність сонячних панелей. Ці дані можуть бути використані для моніторингу продуктивності панелей та корекції роботи трекера, якщо продуктивність нижча за очікувану.

к о м р ю е н і  
Важливо зазначити, що додавання цих датчиків до пристрою, збудованого на основі Arduino, потребує відповідних знань і навичок для інтеграції та програмування. Крім того, треба враховувати, що деякі датчики можуть збільшити вартість пристрою та/або складність його встановлення та обслуговування. Втім, вони можуть значно покращити ефективність сонячної панелі і в кінцевому результаті можуть виявитися вартими додаткових витрат та зусиль.

### і н ж е н і **Висновки до розділу 3**

У цьому розділі ми зосередилися на розробці апаратної частини нашого пристрою відслідковування сонячного світла, а також на програмуванні його функціоналу.

Під час розробки апаратної частини було використано кілька ключових компонентів, включаючи чотири LDR, два сервопривода та плату Arduino. Ці компоненти були успішно встановлені та з'єднані, що дозволило нам створити фізичну структуру нашого пристрою.

Далі ми перейшли до програмування функціоналу нашого пристрою. Ми використали середовище програмування Arduino IDE та мову програмування C++, оскільки вони добре підходять для роботи з мікроконтролерами, такими як Arduino, та дають можливість використовувати багато готових бібліотек.

Код, який ми написали, застосовує бібліотеку Servo для керування сервоприводами та зчитує значення з LDR, щоб визначити положення Сонця. На основі цих даних код вирішує, в який бік повернути сервоприводи, щоб максимізувати кількість сонячного світла, що падає на сонячну панель.

Цей процес показав, як інтеграція апаратних компонентів з властивим програмним забезпеченням дозволяє створити ефективну систему відслідковування

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
сонячної активності. Результати підтверджують, що використання Arduino для  
е таких проєктів є ефективним та гнучким рішенням, оскільки це дозволяє легко  
Д  
Інтегрувати різноманітні сенсори та актуатори і надає можливість легко  
а програмувати їх поведінку.

к  
о Хоч пристрій вже виконує своє призначення, проте існує ряд шляхів для його  
М  
Подальшого вдосконалення. Це включає оптимізацію розташування фоторезисторів  
П  
для більш точного відслідковування положення Сонця, покращення точності  
ю роботи сервоприводів для більш плавного та точного руху, оновлення програмного  
е забезпечення для додавання нових функцій, удосконалення механізму обертання  
р для збільшення стабільності та додавання енергоефективних компонентів для  
о зменшення споживання енергії. Додатково, можна інтегрувати датчики вітру та  
і осадів для більш точного врахування погодних умов, а також додати датчики  
н освітленості для більш точного відслідковування інтенсивності світла.

е  
н Крім того, були зазначені можливості подальшого удосконалення  
н програмного забезпечення, включаючи розробку функції автоматичного  
р діагностування системи та відправлення повідомлень користувачу через додаток.  
і Такий підхід дозволить користувачу бути в курсі всіх подій, що відбуваються з  
системою, та реагувати на проблеми відповідно.

Цей розділ наголошує на важливості неперервного удосконалення та оптимізації технологій для досягнення найкращих результатів.

## ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було проведено дослідження основних методів підвищення ККД сонячних панелей.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі було проведено комплексне дослідження основних способів підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) сонячних панелей.

Зокрема, було вивчено системи дзеркал як спосіб зосередження сонячних променів, що сприяє підвищенню ефективності сонячних панелей. Лінзи Френеля також були розглянуті як інструмент для зосередження сонячного світла, використовуючи їхні унікальні оптичні властивості. Окремий аналіз був присвячений сонячним трекерам, пристроям, які слідкують за сонцем і націлюють сонячні панелі на нього, щоб максимізувати падаючу на них сонячну енергію.

Спираючись на теоретичні дослідження, було визначено, що трекари є найефективнішим засобом підвищення ККД сонячних панелей, оскільки вони дозволяють панелям отримувати максимальну кількість сонячного світла протягом усього дня.

Також було проаналізовано існуючі сонячні трекари, їх класифікацію та способи управління системою орієнтації. Цей аналіз став основою для постановки задачі проектування та розробки пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів.

Протягом етапу проектування було розроблено структурну схему пристрою, вибрано елементну базу для апаратної реалізації та розроблено програмний код для контролювання руху трекара.

Результатом роботи стала успішна реалізація пристрою, який відслідковує кут падіння сонячних променів і дозволяє оптимізувати роботу сонячних панелей. Він демонструє практичну доцільність застосування сонячних трекерів і підтверджує теоретичні висновки про їхню ефективність.

Хоча було досягнуто важливого прогресу в розробці цього пристрою відслідковування кута падіння сонячних променів, є ще кілька можливостей для подальшого покращення. Зокрема, можна розробити більш складні алгоритми

К «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
а  
вдстеження, що включають прогнозування кута сонячного випромінювання з  
е  
урахуванням погодних умов та часу доби. Також можна додати модулі бездротового  
д  
в'єднання для дистанційного моніторингу і керування пристроєм.

а  
К Цей пристрій може бути корисним в різних сферах повсякденного життя. Для  
к  
приватних домогосподарств, які використовують сонячні панелі для виробництва  
м  
електроенергії, він дозволить значно збільшити ефективність використання  
п  
сонячної енергії та зменшити залежність від мережі електропостачання.

ю  
т В сільському господарстві пристрій може бути використаний для  
е  
забезпечення енергією дрібних сільськогосподарських установок та систем  
н  
 зрошення.

і  
Також його можна використовувати в дослідницьких центрах або учбових  
вакладах для навчання та дослідження сонячної енергетики.

н  
ж Отже, розробка такого пристрою має великий потенціал як для підвищення  
е  
ефективності використання сонячної енергії, так і для стимулювання наукових  
н  
досліджень та освіти в цій галузі.

р  
і  
ї



К  
а  
Ф  
е  
д  
а  
к  
м  
п  
Л  
ю  
е  
р  
н  
і  
а  
н  
ж  
е  
с  
н  
є  
р  
і  
s  
e  
d  
1  
0

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

дата звернення: 04.06.2023).

21. Датчик освітлення (Фоторезистор). URL: <https://arduino.ua/ru/prod184-datchik-osveshhenosti-fotorezistor> (дата звернення: 04.06.2023).

22. Сервопривід SG90. URL: <https://arduino.ua/ru/prod416-servoprivod-sg90-2kg> (дата звернення: 04.06.2023).

25. Бібліотека Servo. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/prog/Servo> (дата звернення: 14.06.2023).

К  
а  
ф  
е  
д  
р  
а  
  
к  
о  
м  
п  
,  
ю  
Т  
р  
н  
о  
ї  
  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
ї

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

## ДОДАТОК А

### ДОВІДКА

про перевірку на унікальність пояснювальної записки  
кваліфікаційної бакалаврської роботи  
на тему: «Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»  
студента спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»,  
групи 405  
Козявко Леоніда Олександровича  
прізвище, ім'я, по-батькові

Перевірку тексту здійснено сервісом: онлайн-сервіс Unicheck.  
Результат перевірки тексту роботи: схожість складає 2,1%.



Ім'я користувача:  
Євген Дарнапук

ID перевірки:  
1015651384

Дата перевірки:  
20.06.2023 00:36:03 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
20.06.2023 00:37:27 EEST

ID користувача:  
100012258

Назва документа: Козявко\_Л\_О\_405\_Кваліфікаційна\_бакалаврська\_робота

Кількість сторінок: 24 Кількість слів: 9191 Кількість символів: 76242 Розмір файлу: 82.75 KB ID файлу: 1015297087

**2.1%**  
**Схожість**

Найбільша схожість: 0.53% з Інтернет-джерелом ([https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29890/1/Bulan\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29890/1/Bulan_bakalavr.pdf))

2.01% Джерела з Інтернету

89

Сторінка 26

0.28% Джерела з Бібліотеки

33

Сторінка 26

**0% Цитат**

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

**0%**  
**Вилучень**

Немає вилучених джерел

Студент

Л. О. Козявко  
ініціали, прізвище

Підпис

Д  
а  
т  
а

: 2023р

Керівник, ст. викладач

Є. С. Дарнапук  
підпис, ініціали, прізвище

Козявко Л.О.

123 – КБР.ПЗ.00 – 405.21910512

«



## ДОДАТОК Б

### Блок-схема алгоритму роботи пристрою



Рисунок Б.1 – Блок-схема алгоритму роботи пристрою

К  
а  
ф  
е  
д  
р  
а  
  
к  
о  
м  
п  
,  
ю  
т  
е  
р  
н  
о  
ї  
  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
ї

## ДОДАТОК В

### Код для Arduino

```
#include <Servo.h>

//defining Servos
Servo servohori;
int servoh = 0;
int servohLimitHigh = 160;
int servohLimitLow = 20;

Servo servoverti;
int servov = 0;
int servovLimitHigh = 160;
int servovLimitLow = 20;

//Assigning LDRs
int ldrtopl = 2; //top left LDR green
int ldrtopr = 1; //top right LDR yellow
int ldrbotl = 3; // bottom left LDR blue
int ldrbotr = 0; // bottom right LDR orange

void setup ()
{
  servohori.attach(10);
  servohori.write(0);
  servoverti.attach(9);
  servoverti.write(0);
  delay(500);
}

void loop()
{
  servoh = servohori.read();
  servov = servoverti.read();
  //capturing analog values of each LDR
  int topl = analogRead(ldrtopl);
```

К  
а  
ф  
е  
д  
р  
а  
  
к  
о  
м  
п  
,  
ю  
т  
е  
р  
н  
о  
ї  
  
і  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
і  
ї

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

```
int topr = analogRead(ldrtopr);
int botl = analogRead(ldrbotl);
int botr = analogRead(ldrbotr);
// calculating average
int avgtop = (topl + topr) / 2; //average of top LDRs
int avgbot = (botl + botr) / 2; //average of bottom LDRs
int avgleft = (topl + botl) / 2; //average of left LDRs
int avgright = (topr + botr) / 2; //average of right LDRs

if (avgtop < avgbot)
{
    servoverti.write(servov +1);
    if (servov > servovLimitHigh)
    {
        servov = servovLimitHigh;
    }
    delay(10);
}
else if (avgbot < avgtop)
{
    servoverti.write(servov -1);
    if (servov < servovLimitLow)
    {
        servov = servovLimitLow;
    }
    delay(10);
}
else
{
    servoverti.write(servov);
}

if (avgleft > avgright)
{
```

К  
а  
ф  
е  
д  
р  
а  
  
к  
о  
м  
п'  
ю  
т  
е  
р  
н  
о  
ї  
  
ї  
н  
ж  
е  
н  
е  
р  
ї  
ї

«Пристрій відслідковування кута падіння сонячних променів»

```
servohori.write(servoh +1);  
if (servoh > servohLimitHigh)  
{  
servoh = servohLimitHigh;  
}  
delay(10);  
}  
else if (avgright > avgleft)  
{  
servohori.write(servoh -1);  
if (servoh < servohLimitLow)  
{  
servoh = servohLimitLow;  
}  
delay(10);  
}  
else  
{  
servohori.write(servoh);  
}  
delay(50);  
}
```