

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ СОНЯЧНИЙ ТРЕКЕР З  
ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ІОТ

INTELLIGENT SOLAR TRACKER USING IO TECHNOLOGIES

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи КІ-41

Мотрунчик Ілля Сергійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Гринюк Сергій Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« 06 » червня 2025 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Тарас ТЕРЛЕЦЬКИЙ

« 10 » 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Мотрунчику Іллі Сергійовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Інтелектуальний сонячний трекер з використанням технологій IoT

Керівник роботи к.т.н., доц. Гринюк Сергій Васильович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» січня 2025 року № 11/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування.

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

Вступ

Огляд літератури із досліджуваної теми про сонячний трекінг та IoT технологій

Проектування інтелектуального сонячного трекера

Розробка прототипу сонячного трекера

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Огляд літератури із досліджуваної теми про сонячний трекінг та IoT технологій</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Проектування інтелектуального сонячного трекера</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Розробка прототипу сонячного трекера</i>	<i>Гринюк С.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст.викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної теми про сонячний трекінг та IoT технологій</i>	до 10.02.2025 р.	Виконано
2.	<i>Проектування інтелектуального сонячного трекера</i>	до 02.03.2025 р.	Виконано
3.	<i>Розробка прототипу сонячного трекера</i>	до 02.04.2025 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	до 10.04.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 15.04.2025 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 02.05.2025 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 10.05.2025 р.	Виконано
8.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 15.05.2025 р.	Виконано
9.	<i>Нормоконтроль</i>	до 30.05.2025 р.	Виконано
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2025 р.	Виконано
11.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедрі</i>	до 10.06.2025 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Мотрунчик І.С.

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Гринюк С.В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Мотрунчик І. С. Інтелектуальний сонячний трекер з використанням технологій IoT. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи побудови сонячних трекерів, їхнє призначення та роль у підвищенні ефективності використання сонячної енергії. Проаналізовано сучасні підходи до трекінгу, особливості сенсорних технологій, мікроконтролерних систем та застосування IoT-технологій для дистанційного моніторингу та управління.

У другому розділі представлено процес проектування інтелектуального сонячного трекера, включаючи обґрунтування вибору апаратних компонентів, розробку принципової схеми, опис алгоритмів роботи системи та підготовку програмного забезпечення.

Третій розділ присвячено безпосередньо розробці прототипу: виконано монтаж апаратної частини, реалізовано програмну частину в середовищі Arduino IDE, проведено експериментальні дослідження працездатності системи в реальних умовах та оцінено ефективність роботи розробленого рішення.

Ключові слова: сонячний трекер, Arduino, мікроконтролер, інтелектуальна система, серводвигун, сенсор, автоматизація.

## ANNOTATION

Motrunchyk I. Intelligent solar tracker using IoT technologies. Manuscript.

Qualification work of the bachelor of the OP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of used sources and appendices.

The first section considers the theoretical foundations of the construction of solar trackers, their purpose and role in increasing the efficiency of solar energy use. Modern approaches to tracking, features of sensor technologies, microcontroller systems and the use of IoT technologies for remote monitoring and control are analyzed.

The second section presents the process of designing an intelligent solar tracker, including justification of the choice of hardware components, development of a schematic diagram, description of the system operation algorithms and preparation of software.

The third section is devoted directly to the development of the prototype: the hardware part was installed, the software part was implemented in the Arduino IDE environment, experimental studies of the system`s performance in real conditions were conducted, and the efficiency of the developed solution was assessed.

Keywords: onyachny tracker, Arduino, microcontroller, intelligent system, servo motor, sensor, automation.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СОНЯЧНОГО ТРЕКІНГУ ТА ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ.....	9
1.1 Аналіз існуючих систем сонячного трекінгу.....	9
1.2 Класифікація сонячних трекерів .....	15
1.3 Вплив ІоТ на автоматизацію систем трекінгу .....	22
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА.....	24
2.1 Вибір апаратних компонентів.....	24
2.2 Принципова схема підключення модулів сонячного трекера.....	33
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА .....	37
3.1 Монтаж та налаштування апаратної частини .....	37
3.2 Програмування Arduino .....	41
3.3 Тестування сонячного трекера .....	44
ВИСНОВКИ .....	46
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	48
ДОДАТКИ.....	52

## ВСТУП

У сучасних умовах глобальної енергетичної кризи та змін клімату особливої актуальності набувають технології відновлюваної енергетики. Однією з провідних напрямків цього сектору є використання сонячної енергії, яка є невичерпним та екологічно чистим джерелом. Однак ефективність сонячних фотоелектричних систем значною мірою залежить від правильного орієнтування панелей відносно положення Сонця. Статичне встановлення фотомодулів не дозволяє повною мірою використовувати потенціал сонячного випромінювання, оскільки протягом дня кут падіння сонячних променів змінюється, що призводить до зниження продуктивності системи.

У цьому контексті особливого значення набувають системи сонячного трекінгу, здатні автоматично відстежувати рух Сонця та змінювати положення панелей для максимального поглинання енергії. Сучасні технології дозволяють поєднувати механічні системи трекінгу з цифровими рішеннями на базі Інтернету речей (IoT), що відкриває нові можливості для моніторингу, оптимізації та дистанційного керування установками. Такі інтелектуальні системи здатні не лише забезпечувати максимальну ефективність генерації електроенергії, а й підвищувати надійність експлуатації, своєчасно попереджати про збої та оптимізувати витрати на обслуговування.

Актуальність дослідження обумовлена високою практичною значущістю, оскільки розробка та впровадження інтелектуального сонячного трекера на базі IoT-технологій дозволяє вирішити низку актуальних задач у сфері енергозбереження. Реалізація такого проекту потребує інтеграції знань з різних галузей: електроніки, мікроконтролерних систем, сенсорних технологій, алгоритмічного програмування та хмарних платформ обробки даних.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка інтелектуального сонячного трекера на основі мікроконтролерної платформи Arduino з можливістю двовісного обертання, оснащеного датчиками освітленості та сервоприводами, а

також інтегрованого з IoT-платформами для дистанційного моніторингу та аналізу зібраних даних.

Об'єктом дослідження є інтелектуальні системи сонячного трекінгу, що забезпечують автоматичне позиціонування фотоелектричних панелей відносно положення Сонця для підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого керування положенням фотоелектричних панелей для підвищення ефективності їх роботи за рахунок використання двовісних сонячних трекерів з інтеграцією технологій Інтернету речей (IoT).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних систем сонячного трекінгу та дослідити їхню ефективність, переваги й недоліки, а також можливості інтеграції з технологіями IoT;

- обґрунтувати вибір апаратних компонентів для побудови двовісного сонячного трекера, включаючи мікроконтролер Arduino, сенсори освітленості, сервоприводи, модулі зв'язку та джерела живлення;

- розробити електричну схему підключення всіх компонентів системи, забезпечивши її надійність, енергоефективність та безпечність експлуатації;

Практичне значення результатів дослідження полягає в можливості застосування отриманих розробок для побудови енергоефективних автономних систем, що можуть використовуватися як у побутових, так і в промислових умовах.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СОНЯЧНОГО ТРЕКІНГУ ТА ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

### 1.1 Аналіз існуючих систем сонячного трекінгу

Сонячний трекінг є одним із ключових напрямів підвищення ефективності фотоелектричних установок, оскільки дозволяє оптимально орієнтувати сонячні панелі на Сонце протягом усього світлового дня. У порівнянні зі статичними системами, що фіксуються під певним кутом, трекери здатні збільшити генерацію електроенергії на 20-45 %, залежно від типу та умов експлуатації [1].

Зростаюча привабливість фотоелектричної енергії підкреслюється швидким розширенням світових потужностей фотоелектричної енергії, які, за прогнозами, зростуть на 37,5 % з 2022 по 2030 рік, досягнувши 1582,9 ГВт. Глобальні та національні темпи зростання сонячної енергетики однаково вражають і становлять 20,51 % та 26,50 % відповідно. Цей сплеск впровадження сонячної енергії зумовлений усвідомленням того, що запаси викопного палива обмежені, а сонячна енергія пропонує більш стійку та економічно ефективну альтернативу. За даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), сонячна енергія стала дешевшою за викопне паливо майже у двох третинах випадків. З 2009 по 2023 рік виробництво сонячної енергії продемонструвало вражаючі темпи зростання у 243,6 %, а подальші прогнози свідчать про те, що фотоелектричні технології домінуватимуть на ринку до 99 % до 2030 року.

У цьому контексті STS стали ключовою інновацією, оптимізуючи продуктивність фотоелектричних панелей, регулюючи їхнє вирівнювання відповідно до руху сонця протягом дня. Це не тільки максимізує уловлювання енергії, але й значно знижує збалансовану вартість електроенергії (LCoE), підвищуючи потенціал доходу та конкурентоспроможність сонячних установок на аукціонах та тендерах. Тільки у 2023 році світові поставки сонячних трекерів

зросли на 40 % у річному обчисленні до 95 ГВт, що відображає зростаючу важливість цієї технології.

На рисунку 1.1 показана глобальна установка сонячних трекерів.

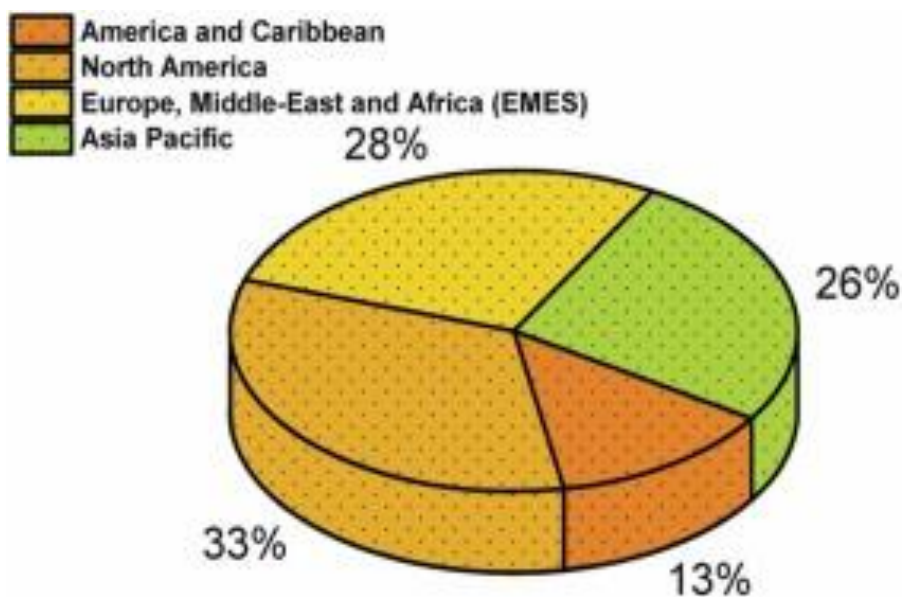


Рисунок 1.1 – Глобальна установка сонячних трекерів [1]

Оскільки інтеграція сонячних систем (STS) стає все більш поширеною, їхню роль у підвищенні ефективності та результативності установок сонячної енергії неможливо переоцінити. Ці системи, які підвищують продуктивність, одночасно зменшуючи складність та потреби в обслуговуванні, представляють майбутнє сонячної енергетики. У міру того, як ми рухаємося до досягнення амбітних цілей щодо відновлюваної енергетики, встановлених на 2030 та 2050 роки, постійні інновації в сонячних технологіях, зокрема STS, будуть важливими для збільшення масштабів виробництва сонячної енергії та забезпечення сталого енергетичного майбутнього.

Брак розуміння переваг систем з фіксованим нахилом порівняно зі стеженням гальмує зростання, особливо в таких регіонах, як Азіатсько-Тихоокеанський регіон та Європа. Високі капітальні витрати та неадекватна інфраструктура загрожують розширенню сонячних систем в енергетичному секторі. Тому очікується, що інвестиції в сонячні трекери для виробництва електроенергії зростуть завдяки цілям зеленої енергетики. Зростання інвестицій

у численні проекти сонячних трекерів у країнах, що розвиваються, як очікується, збільшить частку сонячної енергії у структурі відновлюваної енергії, тим самим стимулюючи зростання ринку. Очікується, що державні стимули, оптимізований дизайн та постійні дослідження сонячних трекерів будуть стимулювати ринок сонячних трекерів. Крім того, STS максимізує ефективність використання простору, що життєво важливо як для систем з фіксованим нахилом, так і для рухомих систем. Екологічні проблеми, зростання цін на паливо та переваги відновлюваної енергії готові стимулювати розвиток світового ринку STS. Зростаючий попит на відновлювану енергію в усьому світі стимулює розширення сонячних трекерів, що призводить до швидкого розгортання фотоелектричної інфраструктури.

Фотоелектричні системи мають обмеження, включаючи високі капітальні витрати, низьку ефективність перетворення та залежність від зовнішніх факторів, таких як сонячна інсоляція та температура. Дослідники активно шукають рішення для покращення видобутку енергії з цих систем. Використовуються такі методи, як відстеження точки максимальної потужності (MPPT), реконфігурація масивів, управління температурою та багаторівневі конструкції перетворювачів. Зокрема, STS відіграють ключову роль у збільшенні вироблення сонячної енергії [1].

Сонячні трекери є важливими компонентами для підвищення ефективності фотоелектричних систем. Вони дозволяють динамічно змінювати положення сонячних панелей у напрямку максимальної освітленості протягом дня, що забезпечує значний приріст продуктивності. Нижче наведено приклади сучасних рішень, які використовуються як у промислових масштабах, так і в побуті.

EcoFlow Solar Tracker – побутовий одновісний трекер, що автоматично орієнтує сонячну панель на Сонце. Він забезпечує приріст продуктивності приблизно на 30 % порівняно з фіксованими системами, є сумісним із більшістю портативних панелей, має стійку конструкцію та просте управління.

На рисунку 1.2 показано компактну побутову систему трекінгу, що складається з опорної платформи, механізму повороту та сонячної панелі. Основний механізм орієнтації працює за допомогою однієї осі (схід – захід).



Рисунок 1.2 – EcoFlow Solar Tracker [2]

Nextracker NX Horizon (рис. 1.3) – одновісна промислова система з децентралізованим приводом. Система TrueCapture використовує хмарні обчислення та машинне навчання для динамічного регулювання кута панелей залежно від погодних умов. Такі трекери встановлюються на великих сонячних фермах і мають високу точність орієнтування.



Рисунок 1.3 – Nextracker NX Horizon [3]

Array Technologies DuraTrack HZ v3 (рис. 1.4) – високонадійна система одновісного трекінгу з пасивною технологією захисту від вітру. Ця система мінімізує потребу в технічному обслуговуванні та має низькі експлуатаційні витрати, що робить її популярною серед промислових користувачів.



Рисунок 1.4 – Array Technologies DuraTrack HZ v3 [4]

TrinaTracker Vanguard 2P (рис. 1.5) – двовісний трекер, оснащений інтелектуальними алгоритмами та системами моніторингу в реальному часі. Така система дозволяє досягати максимальної продуктивності навіть у складних кліматичних умовах, завдяки адаптації до зміни кута Сонця як протягом дня, так і протягом року.



Рисунок 1.5 – TrinaTracker Vanguard 2P [5]

Solarobot Dual-Axis Tracker (рис. 1.6) – українська розробка, призначена для побутових і малих комерційних установок. Вона має два серводвигуни для двовісного трекінгу, датчики освітленості та IoT-модуль для віддаленого моніторингу через мобільний застосунок.



Рисунок 1.6 – Solarobot Dual-Axis Tracker [6]

DIY-проекти на базі Arduino або ESP32 (рис. 1.7) – прості експериментальні рішення для ентузіастів і студентів, що дозволяють створювати власні двовісні трекери. Для цього використовуються мікроконтролер Arduino, чотири LDR-датчики, два серводвигуни (SG90 або MG996R) та модуль ESP8266 для IoT-зв'язку. Такі проекти часто застосовуються в навчальних і наукових цілях.

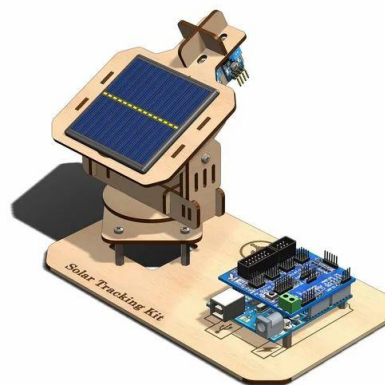


Рисунок 1.7 – DIY-трекер на Arduino [7]

## 1.2 Класифікація сонячних трекерів

Системи сонячного відстеження можна класифікувати за різними критеріями, включаючи тип системи керування, використовувані драйвери, реалізовану стратегію відстеження або ступінь свободи руху, яку демонструє система.

STS мають вирішальне значення для максимізації захоплення енергії у фотоелектричних системах, оптимізуючи вирівнювання фотоелектричних панелей відносно траєкторії сонця. Ці системи відіграють життєво важливу роль у різноманітних застосуваннях, від невеликих дахових установок [8] та фотоелектричних теплиць [9] до великомасштабних фотоелектричних електростанцій та гідроелектричних систем накопичення енергії з фотоелектричними насосами. STS підвищують виробництво енергії, постійно регулюючи орієнтацію панелей для підтримки перпендикулярності до падаючого сонячного випромінювання. Фундаментальна класифікація STS базується на їхніх ступенях свободи, класифікуючи їх на одноосьові (SAT) [10] та двоосьові (DAT) [11]. Кількість осей руху визначає складність системи та її здатність точно слідувати траєкторії сонця.

SAT обертаються навколо однієї осі, прагнучи підтримувати перпендикулярність до вхідного сонячного випромінювання [11]. Система SAST генерує на 34,6 % більше енергії, ніж фотоелектрична система з фіксованим нахилом (FTPV), споживаючи близько 7,8 % від загальної виробленої енергії, а її система електричного керування споживає приблизно 3,9 % від загальної виробленої енергії [12]. Існує кілька варіацій SAT, кожна з яких має свої особливості: Горизонтальний одноосьовий трекер (HSAT): Вісь обертання горизонтальна до землі [13]. Вертикальні одноосьові трекери (VSAT) можуть збирати до 96 % річної сонячної радіації, що захоплюється двоосьовими системами, з простішою механікою. Їх оптимальний кут нахилу тісно пов'язаний з широтою місця розташування, пропонуючи на 28 % більше енергії, ніж фіксовані панелі в регіонах з високою опроміненістю та на 16 % в регіонах з

низькою опроміненістю, що робить їх ефективним варіантом для неконцентрованих фотоелектричних систем. Орієнтація горизонтальної осі північ-південь, як правило, краща за орієнтацію схід-захід. Вертикальний одноосьовий трекер (VSAT): вісь обертання вертикальна до землі, зазвичай вирівняна за напрямком схід-захід. Їх також називають V-осьовими трекерами. Нахилений одноосьовий трекер: Вісь обертання нахилена під кутом між горизонталлю та вертикаллю. Полярно-вирівняний одноосьовий трекер (PSAT): Спеціальний тип нахиленого одноосьового трекера, де нахилена вісь вирівняна паралельно полярній осі Землі, фактично вказуючи на Полярну зірку.

На рисунку 1.8 показано різні конфігурації одноосьових трекерів: а) показано горизонтальний одноосьовий трекер (HSAT), б) представлено VSAT, та в) зображено полярно-вирівняний одноосьовий трекер (PSAT).

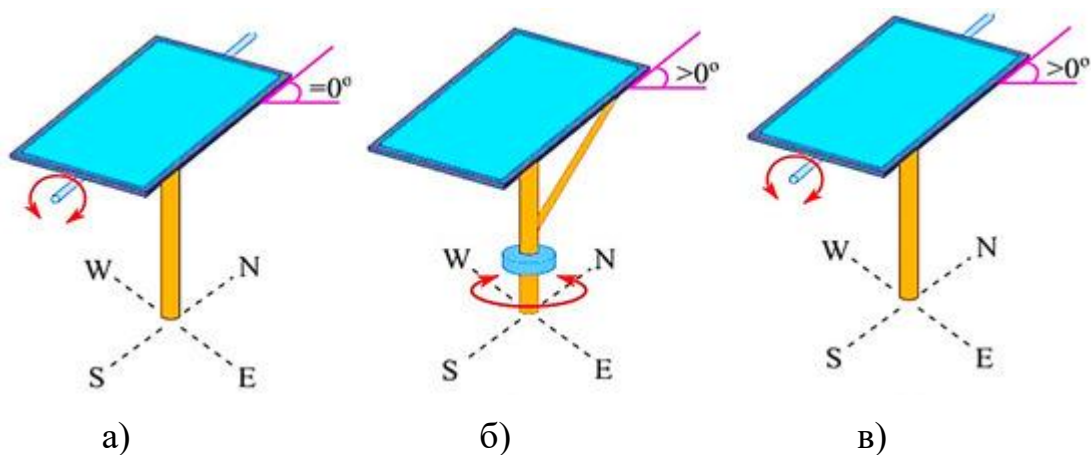


Рисунок 1.8 – Конфігурації одноосьових трекерів: а) HSAT, б) VSAT та в) PSAT

[13]

DAT мають дві осі обертання, що забезпечує чудову точність відстеження та максимізує захоплення сонячної енергії протягом дня та року [14]. У нещодавньому дослідженні було представлено детальний проект та експериментальну оцінку двоосьової системи відстеження, яка використовує підхід керування з розімкнутим контуром на основі фотодатчиків для відстеження азимутальних та зенітних кутів сонця з високою точністю.

Система відстеження була розроблена як повністю інтегроване електромеханічне рішення та випробувана в реальних умовах. Порівняльні результати показали, що запропонований двоосьовий трекер генерував понад 27 % більше електроенергії, ніж фіксована фотоелектрична система. Виміряні та розраховані кути сонячних променів показали близьке вирівнювання – у межах 3,6 % для азимутального відстеження – що підтверджує точність та надійність механізму керування. Незважаючи на незначні ранкові відхилення, спричинені затіненням датчиків, система підтримувала похибку відстеження менше  $1^\circ$  протягом годин пікового сонячного освітлення, що підтверджує її потенційну масштабованість для великих фотоелектричних установок. Додатковою інновацією у двоосьовому відстеженні є безсенсорна, але високоточна система із замкнутим циклом, яка інтегрує відстеження точки максимальної потужності (MPPT) безпосередньо в логіку керування сонячним трекером [14].

На відміну від звичайних безсенсорних трекерів, які працюють у розімкнутому циклі, використовуючи заздалегідь визначені сонячні траєкторії, запропонований метод динамічно регулює кути азимуту та висоти, постійно максимізуючи вихідну потужність фотоелектричного модуля. Блок MPPT використовує електричні дані в режимі реального часу для визначення оптимальної орієнтації, досягаючи мінімальної похибки відстеження всього  $0,11^\circ$ . Експериментальна перевірка продемонструвала сезонне покращення енергоефективності від 28,8 % взимку до 43,6 % влітку порівняно зі стаціонарними системами, при цьому окупність додаткових компонентів відстеження відбувається приблизно протягом 4,3 років.

Цей підхід поєднує економічну ефективність безсенсорних трекерів з точністю систем на основі датчиків, пропонуючи гібридне рішення, яке усуває типові обмеження обох. У дослідженні проаналізовано продуктивність двох двоосьових сонячних фотоелектричних систем відстеження протягом одного року, і показано, що система відстеження генерувала на 30,79 % більше електроенергії, ніж система з фіксованим нахилом, з річним виробництвом 15,07 МВт·год та співвідношенням енергії до потужності 1908 кВт·год/кВт·пк.

Виміряні та змодельовані значення енергії відрізнялися менш ніж на 5 %, що підтверджує надійність та точність системи [15].

У кількох дослідженнях порівнювали двоосьові системи відстеження з фотоелектричними системами з фіксованим нахилом, підкреслюючи значні переваги технології відстеження сонця в продуктивності.

Двоосьова система сонячного відстеження, розроблена для малих та середніх застосувань, показала збільшення виходу енергії на 24,6 % порівняно з фіксованою панеллю, нахиленою на  $30^\circ$ , у Шанхаї, Китай. Система використовує просту електромеханічну установку з кроковими двигунами та фотоелектричним методом відстеження, що забезпечує легкість встановлення та експлуатації. Хоча система ефективна для сонячних панелей малого масштабу, її конструкція та споживання енергії роблять її менш придатною для великих фотоелектричних систем. Однак, ця перевага в продуктивності досягається ціною підвищеної складності та витрат порівняно з SAT . DAT особливо важливі для застосувань концентрованої сонячної енергії (CSP), особливо для систем сонячних антен та сонячних веж, де великі відстані між відбивачами геліостатів та приймачем вимагають високої точності відстеження для мінімізації кутових помилок . Вибір між системами SAT та DAT залежить від конкретних вимог застосування, враховуючи такі фактори, як вартість, складність, коефіцієнт приросту енергії та вибір алгоритму керування. Хоча SAT пропонують економічно ефективно рішення для багатьох застосувань, DAT забезпечують чудову продуктивність для застосувань, що вимагають максимального захоплення енергії та точного відстеження, таких як системи CSP [16].

Для подальшої ілюстрації варіацій DAT (діафрагментних трансформаторів сонячної енергії) на рисунку 1.9 представлено дві поширені конфігурації. На рисунку 1.9а показано псевдоазимутальний DAT, у якому фотоелектрична панель обертається навколо горизонтальної осі схід-захід та вертикальної осі північ-південь, що дозволяє точно налаштувати як азимут сонця, так і висоту. На противагу цьому, на рисунку 1.9б зображено псевдоекваторіальний DAT, де панель зафіксована в азимутальному напрямку та обертається вздовж висоти

сонця та напрямку схід – захід, імітуючи обертання Землі. Ці конфігурації ілюструють, як механічна конструкція впливає на точність відстеження та застосування системи, особливо в місцях, що потребують високоточного вирівнювання сонця протягом дня.

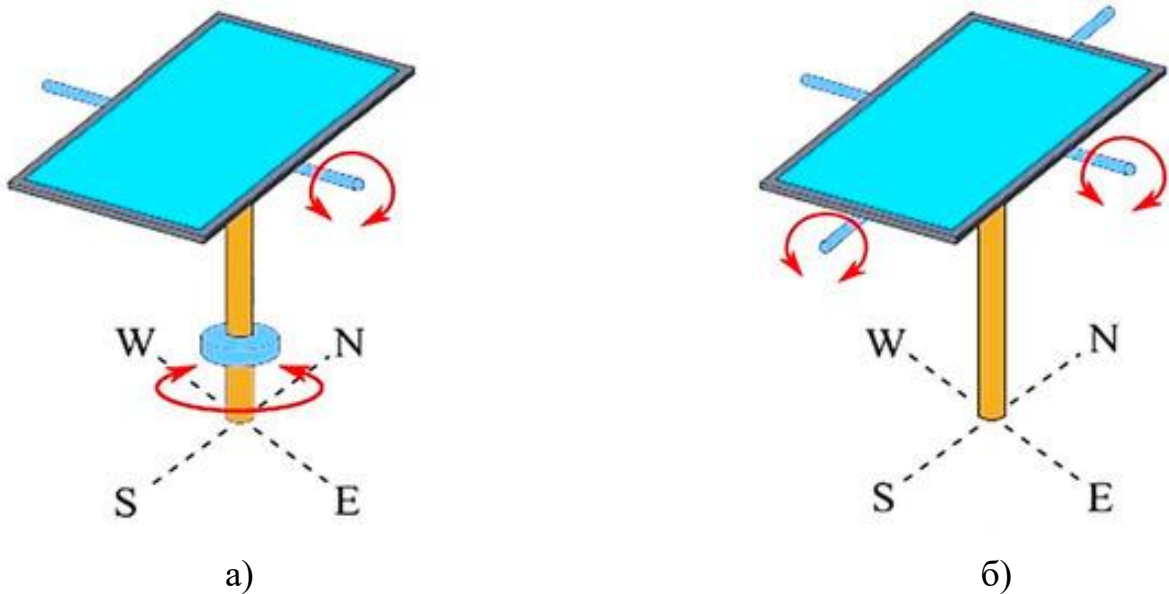


Рисунок 1.9 – Конфігурації двоосьових систем стеження за Сонцем: а) псевдоазимутальна DAST з обертанням за азимутом та висотою; б) псевдоекваторіальна DAST зі східно-західним відстеженням та відстеженням висоти Сонця [14]

Системи відстеження сонця класифікуються на основі їхніх механізмів приводу на п'ять основних типів: активне відстеження, пасивне відстеження, напівпасивне відстеження, ручне відстеження та астрономічне відстеження [16]. Кожен тип має різні принципи роботи, переваги та обмеження, що робить їх придатними для різних застосувань. Активна система відстеження є найбільш широко використовуваною та ретельно вивченою, оскільки вона спирається на схеми керування та датчики для оптимізації відстеження сонця ; астрономічне відстеження [17], з іншого боку, спирається на заздалегідь визначені дані про положення сонця, що робить його більш енергоефективним, оскільки усуває непотрібні втрати потужності через постійне калібрування. Тим часом, пасивні,

напівпасивні та системи ручного відстеження підкреслюють простоту, зменшення використання компонентів та економічну ефективність.

Активна система відстеження сонячної енергії зазвичай включає структуровану інтеграцію датчиків, блоків керування та виконавчих механізмів для динамічної орієнтації фотоелектричних панелей до сонця.

Як показано на рисунку 1.10, фотодетектори або датчики світла фіксують дані про положення сонця в режимі реального часу, які перетворюються на цифрові сигнали через аналого-цифровий інтерфейс. Ці сигнали обробляються мікроконтролером або блоком керування (наприклад, Arduino або ПЛК), який згодом спрямовує драйвер двигуна для активації двигуна постійного струму або електричного лінійного виконавчого механізму. Це контрольоване керування регулює орієнтацію системи відстеження фотоелектричних панелей, максимізуючи захоплення сонячного світла протягом дня.

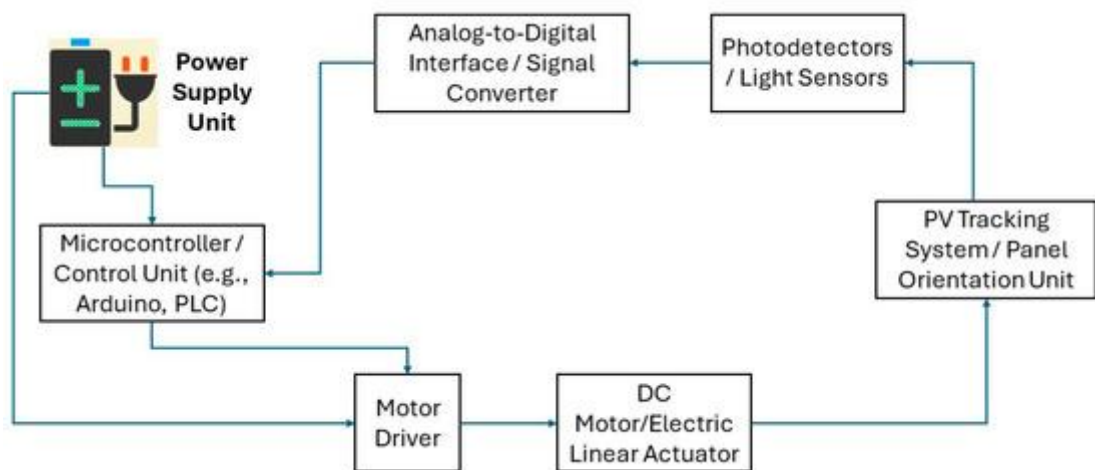


Рисунок 1.10 – Блок-схема активної системи стеження за сонцем [17]

На відміну від активних систем, пасивні сонячні трекери працюють без електромеханічних компонентів, спираючись на принципи теплового розширення для забезпечення руху [18]. Пасивні сонячні трекери працюють, використовуючи сонячне тепло для створення дисбалансу, що викликає рух у системі.

На рисунку 1.11 показано механізм пасивної системи відстеження сонячної енергії, яка використовує теплове розширення для полегшення орієнтації панелі. Коли сонце сходить на сході, сонячне тепло збільшує тиск у незатіненому циліндрі на західній стороні, змушуючи холодоагент потрапляти в затінений східний циліндр через з'єднувальну трубку. Це перенесення рідини змушує сонячну панель обернутися на схід, автоматично вирівнюючи її з траєкторією сонця. Алюмінієві тіньові пластини регулюють нагрівання рідини; коли один циліндр отримує більше сонячного світла, тиск його пари підвищується, проштовхуючи рідину до холоднішого, затіненого циліндра. Зміщувана вага рідини постійно регулює орієнтацію панелі приблизно на 15 градусів на годину, доки обидва циліндри не досягнуть рівного затінення. На заході сонця панель повернута на захід, залишаючись нерухомою протягом ночі, доки її не активує ранкове сонце, повторюючи щоденний цикл відстеження.

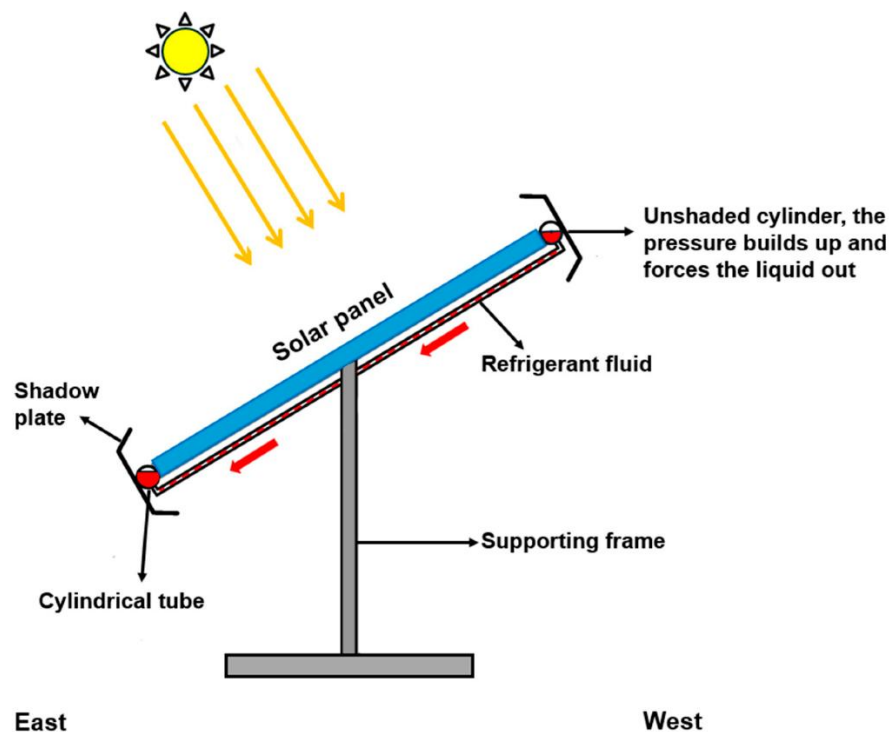


Рисунок 1.11 – Схема пасивного механізму відстеження сонячної активності з використанням теплового розширення, перенесення холодоагенту та тіньових пластин для досягнення безперервного вирівнювання сонячної активності [18]

### 1.3 Вплив IoT на автоматизацію систем трекінгу

Мікроконтролери відіграють вирішальну роль в обробці даних датчиків та виконанні налаштувань у режимі реального часу для оптимізації орієнтації панелі. До поширених мікроконтролерів належать мікроконтролер ATmega 328, AT89C51, мікроконтролер Arduino (ET-EASY MEGA 1280) та двоосьові системи відстеження сонячної енергії на основі ПЛК [19].

В роботі [20] запропонували метод реконфігурації Gorilla Troop у поєднанні з методом зв'язку по лінії електропередач (GTR-PLC) для підвищення продуктивності фотоелектричних систем в умовах часткового затінення. Цей недорогий підхід на основі мікроконтролера значно зменшує необхідну кількість перемикачів, спрощуючи архітектуру, одночасно ефективно контролюючи та зменшуючи втрати на затінення. Перевірена за допомогою симуляцій та тестування в реальному часі на масивах різних розмірів ( $5 \times 5$ ,  $9 \times 9$ ,  $2 \times 3$  та  $12 \times 4$ ), система досягла помітного середнього збільшення потужності на 38,37 % порівняно з існуючими методами, ефективності вилучення потужності 98,99 % та швидкого часу розрахунку в середньому лише 0,09 с, що демонструє її придатність для практичного впровадження в середовищах динамічного затінення.

В роботі [21] представляють удосконалений метод MPPT з інкрементальною провідністю (IMP-IC), реалізований на мікроконтролері ATmega328 з використанням Arduino Uno. Покращена стратегія впроваджує адаптивний механізм зміни розміру кроку та збурення струму, що значно підвищує ефективність відстеження (99,88 % динамічно) та швидкість відгуку (0,12 с) порівняно з традиційними методами. Низьковартісний підхід на основі мікроконтролера забезпечує надійне та економічно ефективне відстеження MPP для фотоелектричних систем за коливальних погодних умов.

У першому розділі було проведено ґрунтовний аналіз теоретичних основ і сучасних підходів до побудови систем сонячного трекінгу. Зокрема, розглянуто класифікацію трекерів за кількістю ступенів свободи (одновісні та двовісні),

типом приводу (активні та пасивні) та методами керування (системи з відкритим, замкненим або комбінованим контуром). Також було здійснено огляд сенсорних технологій, що застосовуються у трекерах, серед яких ключову роль відіграють оптичні сенсори, ультрафіолетові сенсори та навігаційні сенсори, зокрема IMU та GPS-модулі.

## РОЗДІЛ 2

### ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

#### 2.1 Вибір апаратних компонентів

Вибір апаратних компонентів є ключовим етапом розробки інтелектуального сонячного трекера, оскільки саме від їхньої сумісності, надійності та енергоефективності залежить стабільність роботи всієї системи.

Основним обчислювальним модулем проекту обрано мікроконтролер Arduino Uno, який має достатні технічні характеристики для реалізації алгоритмів керування та обробки даних з сенсорів, а також просту структуру програмування. Крім того, Arduino Uno забезпечує сумісність із широким спектром периферійних модулів, що дає змогу легко інтегрувати систему з іншими пристроями.

Arduino Uno (рис. 2.1) – це стандартна плата Arduino та можливо найбільш розповсюджена. Вона заснована на чипі Atmel ATmega328, що на борту має 32 КБ флеш-пам'яті, 2 Кб SRAM та 1 Кбайт EEPROM пам'яті [22].

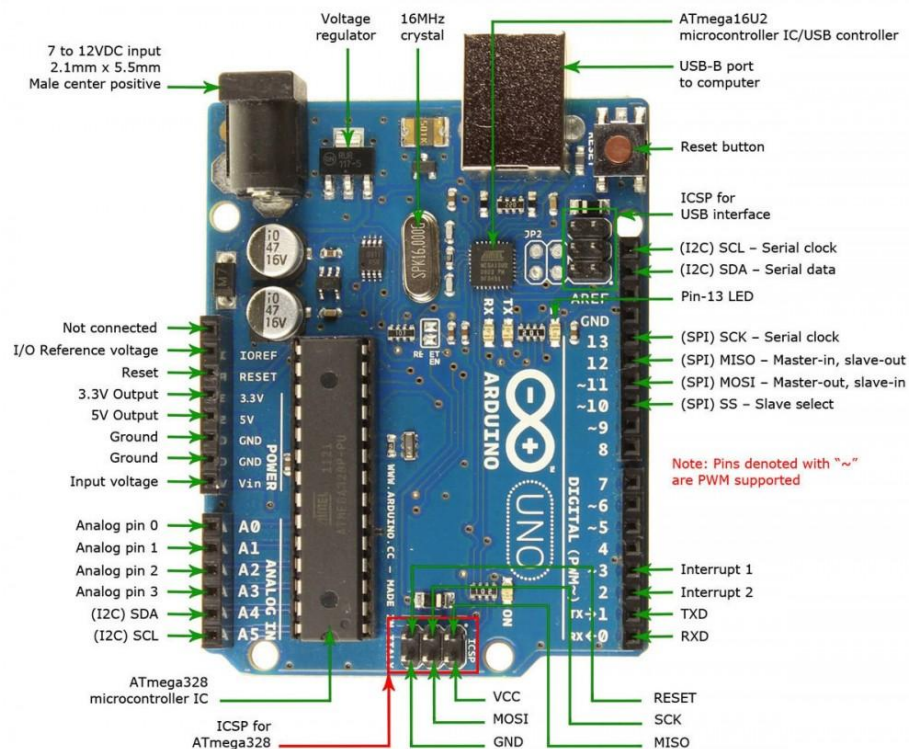


Рисунок 2.1 – Мікроконтролер Arduino Uno [22]

На периферії має 14 дискретних (цифрових) каналів вводу/виводу та 6 аналогових каналів вводу/виводу, це дуже різносторонні-корисні девайси, що дозволяють перекривати більшість любительських завдань у галузі мікроконтролерної техніки. Чіп ATmega16u2 на борту керує послідовним зв'язком.

Arduino Uno має простий у використанні USB-інтерфейс для завантаження програмного забезпечення через середовище розробки Arduino IDE. Структура плати дозволяє підключати додаткові модулі, сенсори, приводи та виконавчі механізми через стандартні гнізда. Завдяки великій кількості сумісних бібліотек та активній спільноті розробників Arduino Uno є універсальним рішенням для створення пристроїв на основі Інтернету речей (IoT), робототехнічних систем, автоматизованих трекерів та навчальних макетів.

Завдяки поєднанню доступної ціни, широких можливостей розширення та простоти використання, Arduino Uno широко використовується як основна платформа для проєктів, пов'язаних із сонячними трекерами, дистанційним моніторингом, енергоефективністю та автоматизацією побутових і промислових процесів.

Для визначення положення Сонця використано чотири фоторезистори (LDR), розташовані по кутах сенсорного блока. Вони дозволяють фіксувати рівень освітленості з різних напрямків, що забезпечує обчислення оптимального кута орієнтації панелі.

Модуль фоторезистора (LDR-модуль, light-dependent resistor) – це простий сенсорний компонент, який змінює свій опір залежно від рівня освітленості. Він використовується в різноманітних проєктах автоматизації, включаючи системи сонячного трекінгу, де дозволяє визначати напрямок найбільш інтенсивного сонячного світла [23].

Основу модуля складає LDR – напівпровідниковий резистор, який має високу провідність у яскравому світлі та низьку — в темряві. Для підключення до мікроконтролерів (наприклад, Arduino) LDR, як правило, інтегрується у

простий резистивний дільник, який перетворює зміну опору на зміну напруги, що зчитується аналоговим входом (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – LDR-модуль [23]

Основні характеристики модуля:

- робоча напруга 3,3-5 В;
- вихідний сигнал аналоговий (пропорційний рівню освітленості);
- діапазон робочої температури від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ;
- чутливість від кількох люксів до кількох тисяч люксів;

Використання модуля LDR у сонячному трекері дозволяє побудувати систему замкненого контуру, що автоматично коригує положення панелі відповідно до зміни кута падіння сонячних променів. Зазвичай для цього використовують чотири модулі, розташовані по кутах сенсорного блока, що дає змогу розраховувати напрямок найбільш яскравого джерела світла.

Модуль DHT22 – це цифровий сенсор, який використовується для вимірювання температури та вологості. Він є одним із найпопулярніших датчиків завдяки простоті підключення, низькій вартості та достатній точності для побутових і експериментальних проєктів, включаючи системи сонячного трекінгу, розумні будинки, метеостанції тощо [24].

Основні характеристики модуля DHT22:

- діапазон вимірювання температури:  $-40^{\circ}\text{C}$  ...  $+80^{\circ}\text{C}$ ;
- точність вимірювання температури:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- діапазон вимірювання вологості: 0 % ... 100 % RH;
- точність вимірювання вологості:  $\pm 2-5$  % RH;

- робоча напруга: 3,3-5,5 В;
- інтерфейс: цифровий, однопровідний;
- частота опитування: не частіше ніж 1 раз на 2 секунди.

DHT22 (рис. 2.3) має вбудований калібрований цифровий сигнал, що передається на мікроконтролер через один пін. Це значно спрощує підключення, оскільки немає потреби використовувати окремі АЦП (аналогово-цифрові перетворювачі). Для роботи модуля потрібен резистор між живленням і вихідним піном (наприклад, 4,7 кОм).

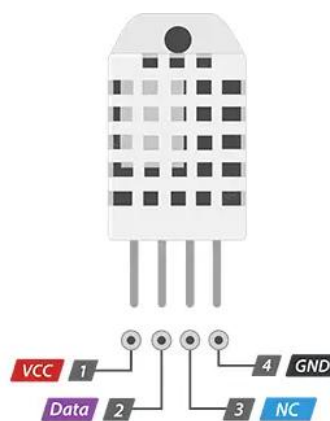


Рисунок 2.3 – Модуль DHT22 [24]

У проектах з сонячним трекером DHT22 можна використовувати для моніторингу температури панелі або навколишнього середовища, щоб реалізувати додаткові функції – наприклад, захист від перегріву, автоматичне регулювання режиму роботи тощо.

Модуль BH1750FVI (рис. 2.4) – це цифровий сенсор, призначений для вимірювання освітленості в діапазоні від 1 до 65 535 люксів. Він вирізняється високою точністю, простотою використання та наявністю інтерфейсу I<sup>2</sup>C, що забезпечує швидке й надійне підключення до мікроконтролерів, таких як Arduino, ESP32, STM32 тощо. На відміну від аналогових LDR (фоторезисторів), BH1750FVI видає вже оброблені цифрові значення освітленості, що дозволяє уникнути похибок перетворення та спрощує програмну обробку даних [25].

Основні характеристики:

- діапазон вимірювання освітленості: 1 ... 65 535 lx;
- інтерфейс: цифровий, I<sup>2</sup>C (підтримує частоти до 400 кГц);
- робоча напруга: 2,4 В...3,6 В (деякі модулі мають вбудований стабілізатор для роботи від 5 В);
- чутливість: автоматичне перемикання діапазону (high/low resolution mode);
- робочий струм: близько 0,12 мА у режимі вимірювання;
- робоча температура: –40° С ... +85° С.



Рисунок 2.4 – Цифровий модуль інтенсивності світла BH1750FVI [25]

Сонячний USB-модуль зарядки (рис. 2.5) – це компактний пристрій, призначений для перетворення сонячної енергії на стабілізовану електричну енергію з вихідною напругою 5 В, яка подається на стандартний USB-порт. Такий модуль широко використовується для зарядки мобільних телефонів, портативних пристроїв, повербанків, а також для живлення мікроконтролерних систем Arduino, ESP32, Raspberry Pi та IoT-пристроїв у польових умовах.



Рисунок 2.5 – Цифровий модуль інтенсивності світла BH1750FVI [26]

Основні характеристики:

- вхідна напруга: залежить від сонячної панелі (зазвичай 6-7 В);
- вихідна напруга: 5 В (USB-стандарт);
- максимальний вихідний струм: від 0,5 А до 2 А (залежно від моделі);
- ККД перетворення: ~80–90 %;
- вбудовані захисти: від перенапруги, короткого замикання, перегріву;
- розміри сонячної панелі: від 50 × 50 мм до 180 × 280 мм (залежно від потужності).

Модуль I2C1602 (рис. 2.7) – це текстовий LCD-дисплей на 16 символів у 2 рядках (16×2), оснащений додатковою платою з I<sup>2</sup>C-конвертером (зазвичай на базі мікросхеми PCF8574), що дозволяє значно спростити підключення дисплея до мікроконтролерів Arduino, ESP32, STM32 тощо.

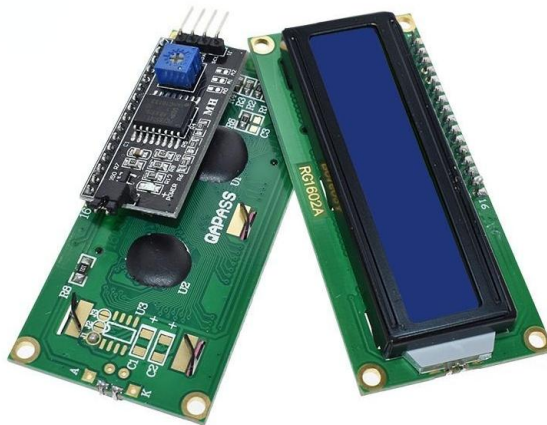


Рисунок 2.6 – Модуль I2C1602 [27]

Стандартний LCD 1602 потребує підключення щонайменше 6-8 цифрових ліній, але завдяки I<sup>2</sup>C-інтерфейсу можна скоротити це до всього двох дротів (SDA та SCL), що підвищує зручність, зменшує кількість з'єднань та звільняє порти мікроконтролера.

Основні характеристики модуля I2C1602 [27]:

- дисплей: 16 символів × 2 рядки (символи 5×8 пікселів);
- контролер дисплея: HD44780 або сумісний;
- інтерфейс: I<sup>2</sup>C (через PCF8574);

- адреса I<sup>2</sup>C: зазвичай 0x27 або 0x3F (налаштовується перемичками);
- робоча напруга: 5 В (деякі моделі можуть працювати від 3,3 В);
- регулювання контрасту: потенціометр на платі;
- підсвітка: синя або зелена (може вимикатись/вмикатись через окремий пін);
- частота I<sup>2</sup>C: до 100 – 400 кГц.

Можливість паралельного підключення: для збільшення вихідної потужності

Сонячна панель з монтажною стрічкою (рис. 2.7) – це невеликий фотоелектричний модуль, який призначений для експериментальних, побутових і навчальних проєктів, що потребують автономного живлення. Завдяки компактним розмірам, легкій вазі та наявності дротів для підключення, такі панелі зручно інтегрувати у невеликі системи, зокрема мікроконтролерні установки, сонячні трекери, датчики та IoT-пристрої.



Рисунок 2.7 – Сонячна панель [28]

Основні характеристики:

- тип елементів: монокристалічні або полікристалічні кремнієві комірки;
- напруга на виході: зазвичай 5 В, 6 В або 12 В (залежить від моделі);
- струм на виході: від 100 мА до 500 мА (типово для компактних моделей);
- потужність: від 0,5 Вт до 6 Вт;
- розміри: від 60 × 60 мм до 150 × 200 мм;

– монтаж: за допомогою двосторонньої монтажної стрічки (складова комплекту) або гвинтів;

– вихідні дроти: підготовлені для прямого підключення (зазвичай червоний +, чорний –).

Модуль зарядки смартфонів (рис. 2.8) – це компактний електронний пристрій, призначений для стабілізації напруги та струму, що подаються від джерела живлення (наприклад, сонячної панелі, акумулятора чи павербанка), до параметрів, сумісних із мобільними гаджетами. Найпоширенішим є USB-модуль зарядки з вихідною напругою 5 В і струмом до 1-2 А, оснащений схемами захисту та стабілізації.



Рисунок 2.8 – Сонячна панель [29]

Основні характеристики модуля:

– вхідна напруга: 4,5 В-6 В (для моделей, що працюють із сонячними панелями, – до 7 В);

– вихідна напруга: 5 В (USB-стандарт);

– вихідний струм: 1-2 А (залежить від моделі);

– коефіцієнт корисної дії (ККД): 80–95 %;

– захисти: від перевантаження, короткого замикання, перегріву, надмірного розряду акумулятора;

– інтерфейси: USB-A, micro-USB, Type-C (залежить від модуля);

Модуль складається з DC-DC перетворювача (step-down або step-up), конденсаторів, резисторів, стабілізатора напруги, USB-порту для підключення

смартфона та, в окремих випадках, контролера заряду, якщо підключається акумулятор. Він має компактний розмір і призначений для використання в автономних енергосистемах, що живляться від відновлюваних джерел (сонячні, вітрові панелі).

Сервопривід Q180 (рис. 2.9) – це електромеханічний пристрій, призначений для точного позиціонування в межах визначеного кута (зазвичай  $0^{\circ}$ – $180^{\circ}$ ). Він широко використовується в автоматизованих системах, включаючи сонячні трекери, роботи, маніпулятори, а також у радіокерованих моделях та навчальних макетах на базі Arduino.



Рисунок 2.9 – Сервопривід [30]

Основні характеристики Q180 (типові для цієї серії):

- кут повороту:  $0^{\circ}$  ...  $180^{\circ}$ ;
- напруга живлення: 4,8 В-6 В;
- робочий струм (без навантаження): близько 150–250 мА;
- максимальний струм (при блокуванні): до 1 А;
- час повороту:  $\sim 0,12$ - $0,15$  с/ $60^{\circ}$  при 6 В;
- момент сили:  $\sim 1,8$ - $2,5$  кг·см (залежить від конкретної моделі);
- інтерфейс управління: ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), ширина імпульсу 1–2 мс, частота  $\sim 50$  Гц;
- вага: близько 20-25 г.

Серво складається з моторчика постійного струму, редуктора, плати управління та потенціометра, який визначає поточне положення вала. Завдяки зворотному зв'язку сервопривід точно реагує на заданий сигнал керування, змінюючи положення з високою точністю.

Живлення системи забезпечується за допомогою зовнішнього блоку живлення (5 В, 2 А), який підключається до Arduino та сервоприводів через стабілізатор напруги. Також у систему включено елементи захисту, зокрема резистори для обмеження струму на входах Arduino та конденсатори для згладжування пульсацій живлення.

Таким чином, обрані апаратні компоненти забезпечують реалізацію всіх необхідних функцій системи: визначення положення Сонця, керування рухом панелі, передавання даних через IoT, а також простоту масштабування й адаптації системи під інші задачі.

## **2.2 Принципова схема підключення модулів сонячного трекера**

Розробка принципової схеми підключення модулів сонячного трекера є основним етапом, який визначає правильну взаємодію всіх апаратних компонентів системи. Основою побудови є мікроконтролерна плата Arduino Uno (або сумісна, наприклад, Keyestudio), яка забезпечує обробку даних з сенсорів, керування виконавчими механізмами та зв'язок із зовнішніми модулями.

У схемі підключення сенсорна частина (рис. 2.10) реалізується через чотири фоторезистори (LDR), які формують аналогові сигнали, що під'єднуються до аналогових входів А0-А3. Для підвищення точності вимірювання освітленості можна додатково використовувати цифровий модуль BH1750FVI, який підключається через I<sup>2</sup>C-шину (лінії SDA та SCL на А4 і А5 відповідно).

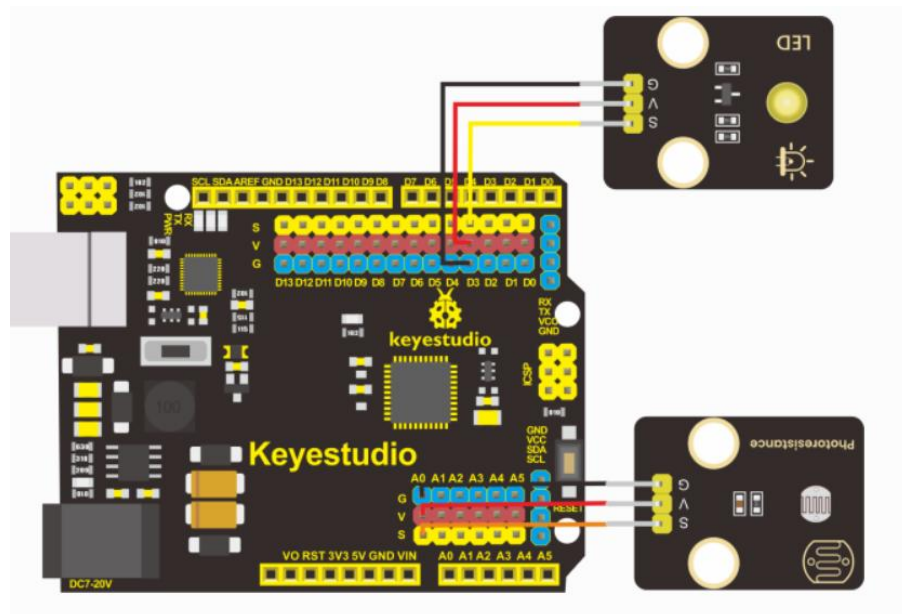


Рисунок 2.10 – Схема підключення фоторезистора

Виконавча частина системи (рис. 2.11) представлена двома сервоприводами Q180, підключеними до цифрових пінів D9 і D10, які забезпечують рух панелі навколо двох осей. Для керування кутом повороту сервоприводи отримують широтно-імпульсні сигнали (ШІМ) безпосередньо від Arduino.

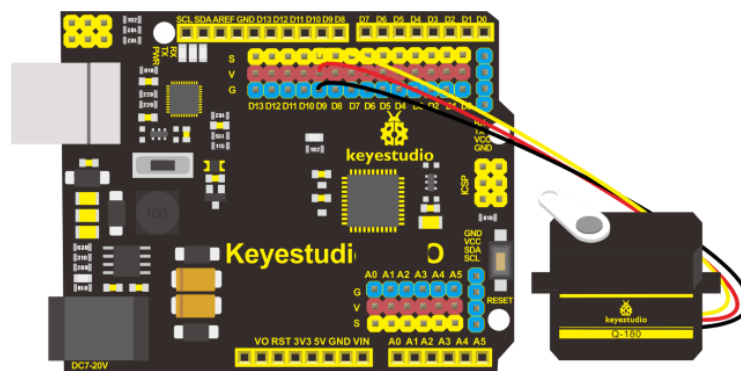


Рисунок 2.11 – Схема підключення сервоприводів

Для моніторингу даних локально використовується LCD-дисплей 1602 із модулем I<sup>2</sup>C, підключений на ті ж лінії SDA та SCL (через шину, що дозволяє паралельну роботу кількох пристроїв). Це дає змогу виводити на екран

інформацію про поточні показники освітленості, кут нахилу, температуру чи стан системи (рис. 2.12).

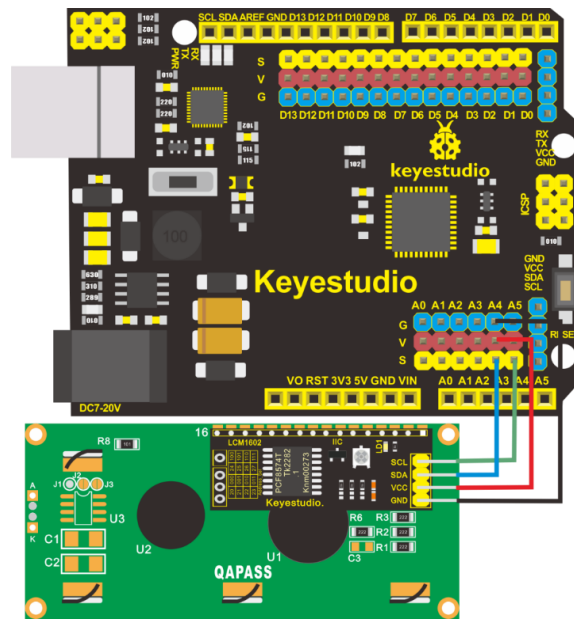


Рисунок 2.12 – Схема підключення LCD Display Module

Щодо живлення, схема (рис. 2.13) передбачає використання сонячної панелі (наприклад, 6 В, 1,5 Вт), підключеної через модуль зарядки (Smart Phone Charging Module), який стабілізує напругу на 5 В та забезпечує живлення Arduino й сервоприводів. Акумулятор (Li-ion 3,7 В) під'єднується через модуль керування зарядом для накопичення енергії та живлення системи у разі недостатньої сонячної активності.

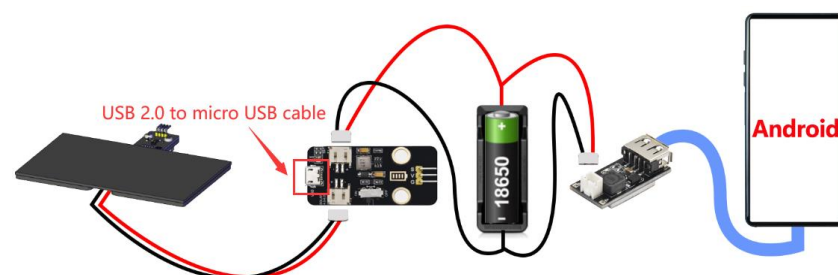


Рисунок 2.13 – Схема підключення модулів зарядки [31]

Таким чином, принципова схема поєднує:

– сенсорну частину (LDR, BH1750FVI, DHT22);

- обчислювальну частину (Arduino Uno);
- виконавчі модулі (сервоприводи);
- комунікаційні модулі (I<sup>2</sup>C-дисплей, ESP8266 для IoT);
- блок живлення (сонячна панель, акумулятор, стабілізатори).

Було дійснено детальне проектування апаратної частини інтелектуального сонячного трека з використанням технологій IoT. Проведено обґрунтований вибір основних апаратних компонентів: мікроконтролера Arduino Uno (Keystudio), модулів сенсорів (фоторезистори, DHT22, BH1750), сервоприводів SG90, модулів живлення та дисплея I2C1602.

Було розроблено принципову схему підключення всіх елементів системи, яка забезпечує їхню коректну взаємодію, а також розглянуто варіанти стабільного живлення від сонячної панелі з використанням акумуляторних модулів та USB-зарядки

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

#### 3.1 Монтаж та налаштування апаратної частини

Монтаж апаратної частини інтелектуального сонячного трекера передбачає збирання всіх раніше спроектованих модулів у єдину робочу систему. На цьому етапі основною задачею є забезпечення правильної комутації живлення, сенсорних ліній, ліній керування та виконавчих механізмів згідно з розробленою принциповою схемою.

Першим кроком (рис. 3.1) є підготовка основи і встановлення дисплея та батарейного блоку.

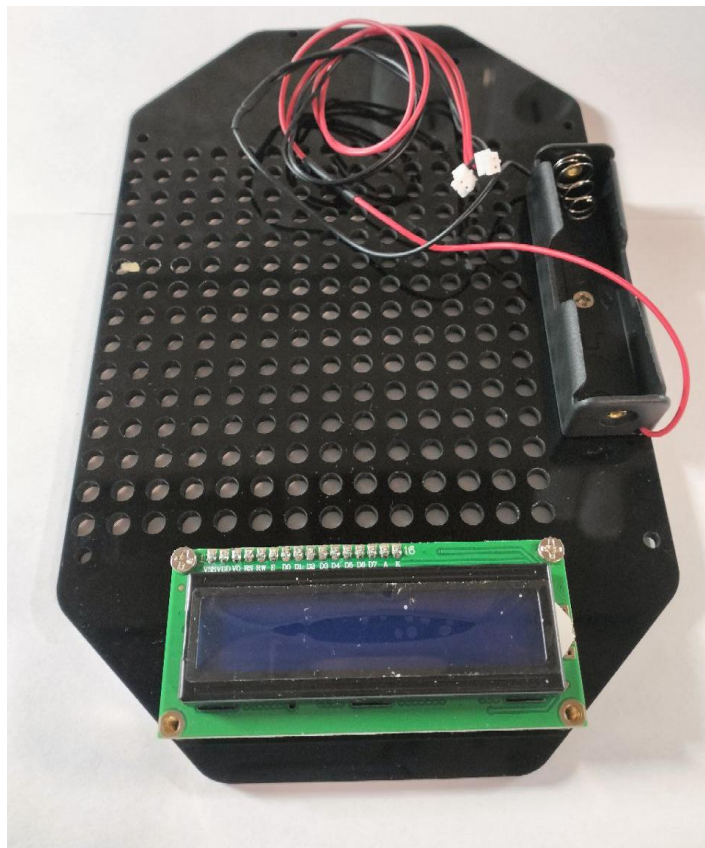


Рисунок 3.1 – Монтаж дисплея та батарейного блоку

Другим кроком (рис. 3.2) є підготовка мікроконтролерної плати Arduino Uno (Keyestudio) та її закріплення на макетній основі.

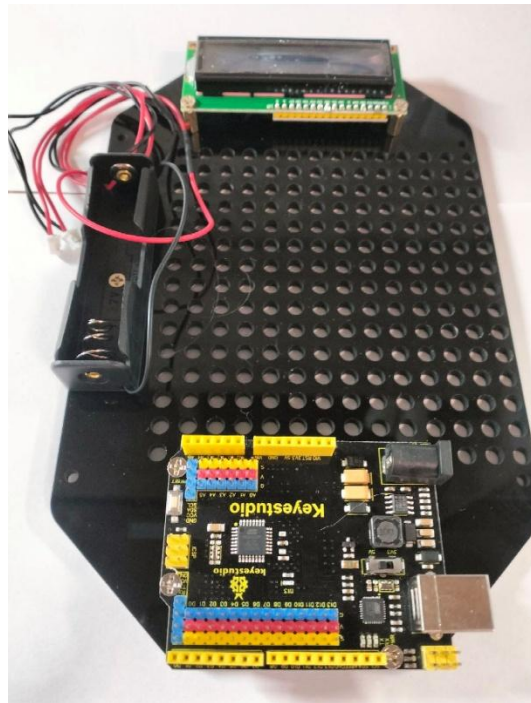


Рисунок 3.2 – Монтаж дисплея та батарейного блоку

Третім кроком (рис. 3.3) є встановлення модуля живлення літійової батареї та модуля заряджання.



Рисунок 3.3 – Монтаж модуля живлення літійової батареї та модуля заряджання.

На четвертому кроці (рис. 3.4) підключаємо модуль температури й вологості DHT22 підключається до цифрового піну D6, а цифровий сенсор освітленості BH1750 – до шин SDA та SCL, що відповідають пінам A4 та A5 Arduino. Підключення LCD-дисплея I2C1602, який виводить на екран інформацію про поточні параметри роботи системи, здійснюється до пінів A4 та A5.

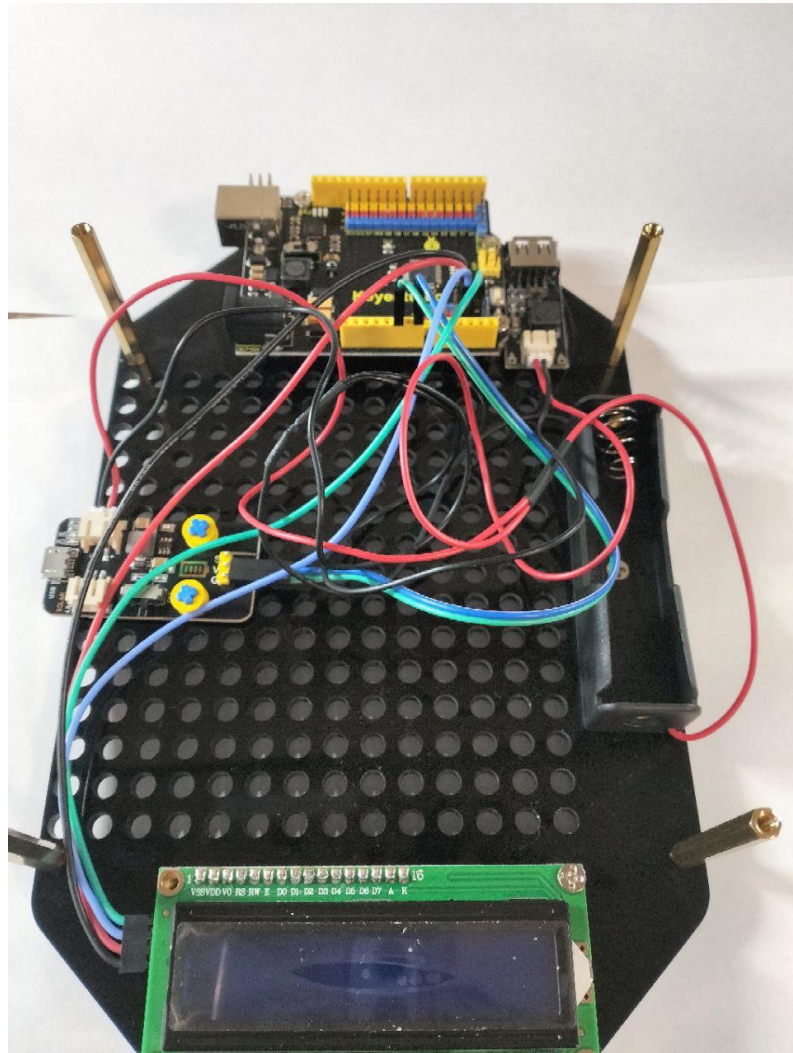


Рисунок 3.4 – Підключення датчиків

На п'ятому кроці (рис. 3.5) виконується підключення сервоприводів Q180, які монтуються на рухомій частині конструкції для забезпечення повороту сонячної панелі. Сигнальні дроти сервоприводів під'єднуються до цифрових

пінів D9 та D10, а лінії живлення – безпосередньо до стабілізованого джерела 5 В.

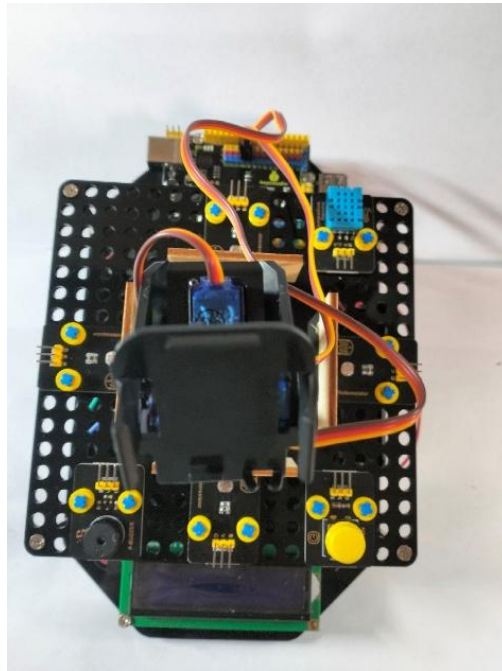


Рисунок 3.5 – Підключення сервоприводів

Особлива увага приділяється організації живлення системи. Для цього використовується сонячна панель, підключена через сонячний USB-модуль зарядки, що забезпечує стабільне напруження. За потреби додатковий акумулятор (типу 18650) підключається через модуль управління зарядом, що дозволяє накопичувати енергію для автономної роботи у разі низької сонячної активності (рис. 3.6).

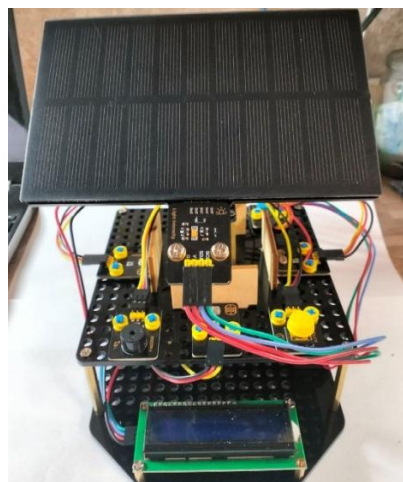


Рисунок 3.6 – Підключення живлення системи

На завершальному етапі виконується тестування окремих модулів на працездатність, перевіряється правильність підключень, відсутність коротких замикань, стабільність живлення та коректність передачі сигналів між компонентами. Після монтажу система готова до завантаження програмного забезпечення.

### **3.2 Програмування Arduino**

На цьому етапі було розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, яке забезпечує збір даних із сенсорів, обробку отриманих значень та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів. Для реалізації алгоритмів використовувалося середовище розробки Arduino IDE, яке забезпечує просте програмування мікроконтролера за допомогою мови C/C++ з використанням відкритих бібліотек.

Програмний код був структурований таким чином, щоб відокремити основні логічні блоки:

- збір даних: модулі BH1750 (сенсор освітленості) та DHT11 (температура і вологість) передають дані через відповідні бібліотеки, а фоторезистори зчитуються через аналогові входи мікроконтролера;

- аналіз даних: алгоритм порівнює значення фоторезисторів по горизонталі (лівий – правий) і вертикалі (верхній – нижній), щоб визначити відхилення від оптимального напрямку на джерело світла;

- формування керуючих сигналів: на основі аналізу даних розраховуються нові кути повороту сервоприводів, які передаються за допомогою широтно-імпульсних сигналів (ШИМ);

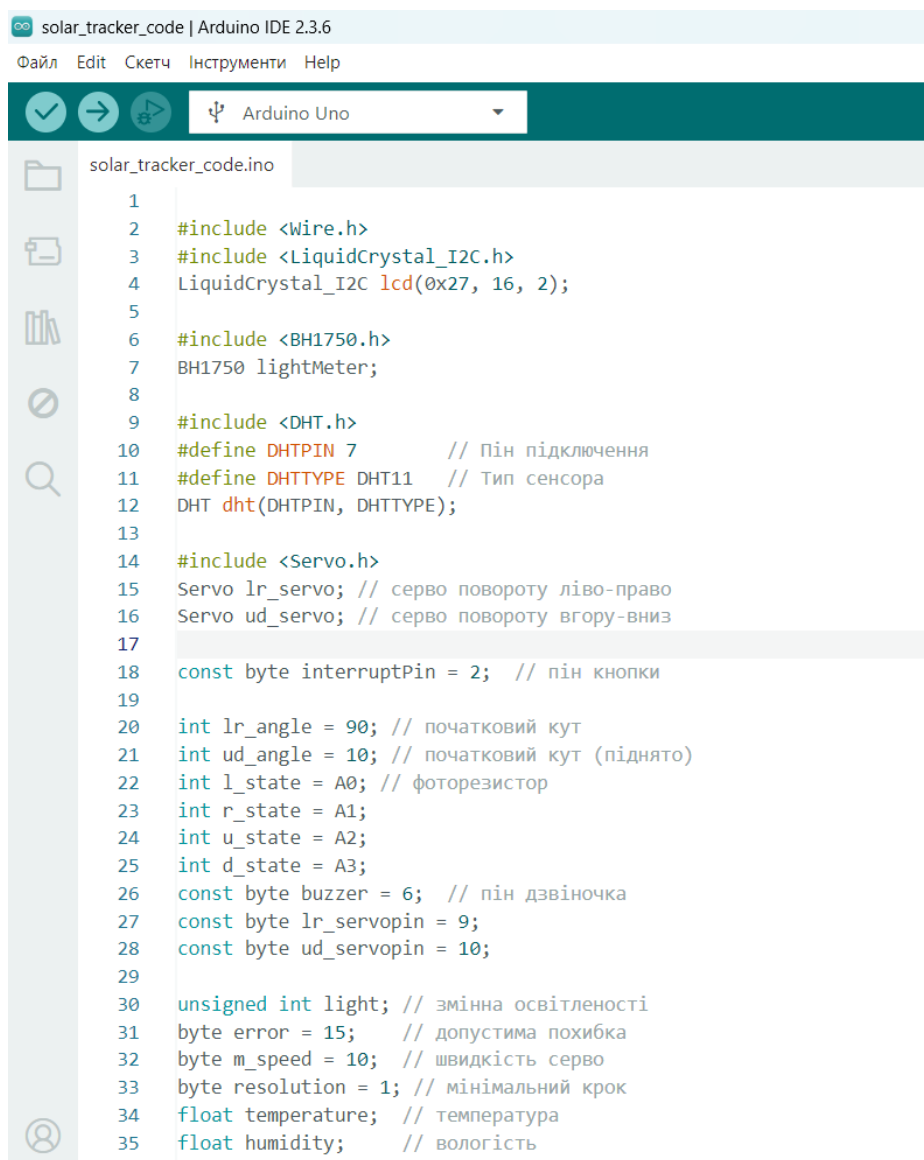
- відображення інформації: значення освітленості, температури, вологості, а також поточні кути сервоприводів та роздільна здатність налаштування виводяться на LCD-дисплей за допомогою I<sup>2</sup>C-інтерфейсу.

Окрім основного алгоритму керування, програмне забезпечення реалізує функцію зміни роздільної здатності (кроку) серво за допомогою зовнішньої

кнопки. Це дозволяє гнучко налаштувати чутливість системи до змін освітленості.

У процесі розробки використовувались такі бібліотеки, як `Wire.h`, `LiquidCrystal_I2C.h`, `BH1750.h`, `DHT.h` та `Servo.h`, які забезпечили швидку інтеграцію сенсорних та виконавчих модулів. Програмний код було перевірено за допомогою монітора порту Arduino IDE для виявлення помилок під час зчитування даних, що дозволило виконати налагодження та оптимізацію роботи алгоритмів.

Для завантаження коду (Додаток А) на мікроконтролер використали середовище Arduino IDE (рис. 3.7).



```

solar_tracker_code | Arduino IDE 2.3.6
Файл Edit Скетч Інструменти Help
Arduino Uno
solar_tracker_code.ino
1
2 #include <Wire.h>
3 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
5
6 #include <BH1750.h>
7 BH1750 lightMeter;
8
9 #include <DHT.h>
10 #define DHTPIN 7 // Пін підключення
11 #define DHTTYPE DHT11 // Тип сенсора
12 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
13
14 #include <Servo.h>
15 Servo lr_servo; // серво повороту ліво-право
16 Servo ud_servo; // серво повороту вгору-вниз
17
18 const byte interruptPin = 2; // пін кнопки
19
20 int lr_angle = 90; // початковий кут
21 int ud_angle = 10; // початковий кут (піднято)
22 int l_state = A0; // фоторезистор
23 int r_state = A1;
24 int u_state = A2;
25 int d_state = A3;
26 const byte buzzer = 6; // пін дзвіночка
27 const byte lr_servopin = 9;
28 const byte ud_servopin = 10;
29
30 unsigned int light; // змінна освітленості
31 byte error = 15; // допустима похибка
32 byte m_speed = 10; // швидкість серво
33 byte resolution = 1; // мінімальний крок
34 float temperature; // температура
35 float humidity; // вологість
36

```

Рисунок 3.7 – Код в середовищі Arduino IDE

Після успішного завантаження коду увімкніть живлення модуля зарядки та натисніть кнопку живлення на платі керування на 5 В (рис. 3.8).

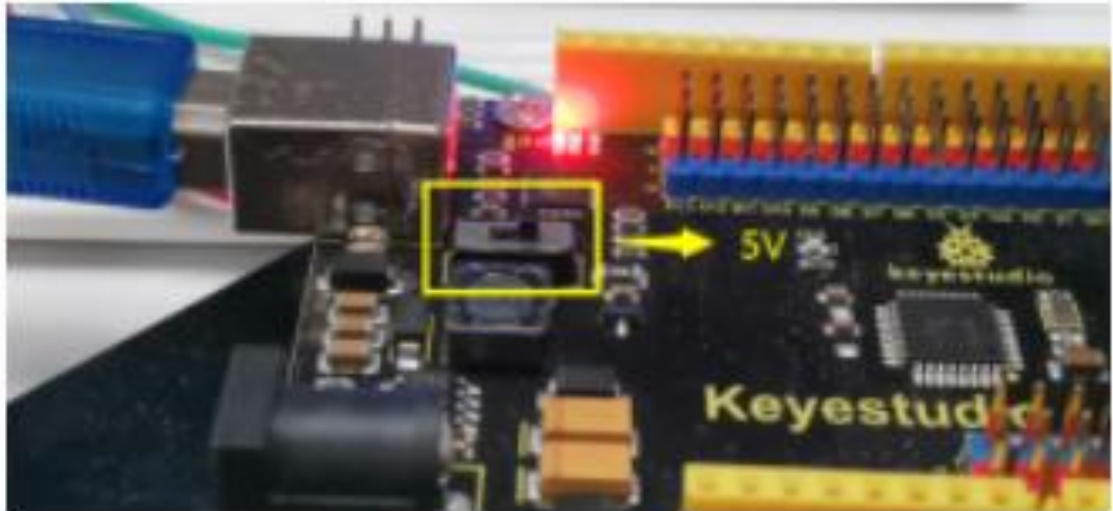


Рисунок 3.8 – Включення живлення

Сервопривід повернеться на початковий кут. Коли датчик навколишнього освітлення виявить зміни інтенсивності світла, сервоприводи повернуть сонячну панель у положення, де світло найсильніше, а LCD1602 покаже значення інтенсивності світла, температури та вологості, виявлені ВН1750 та ХНТ11 відповідно.

Якщо ви відчуваєте, що сонячна панель обертається занадто повільно або вона трясеться, ви можете налаштувати швидкість обертання сервоприводу за допомогою кнопочного модуля.

Наприклад, протягом заданого часу сервопривід обертається на  $1^\circ$  щоразу. Після натискання кнопки сервопривід обертатиметься на  $2^\circ$  щоразу протягом того ж часу.

Натисніть цю кнопку ще раз, і сервопривід обертатиметься на  $3^\circ$  щоразу за той самий час. Аналогічно, сервопривід можна налаштувати на поворот до  $5^\circ$  щоразу за той самий час.

### 3.3 Тестування сонячного трекера

Після завершення розробки апаратної частини та програмного забезпечення було проведено практичне тестування роботи системи сонячного трекера. Мета тестування – перевірити коректність функціонування алгоритмів визначення напрямку на максимальне освітлення, роботу сенсорних модулів, точність позиціонування сервоприводів, а також стабільність роботи в реальних умовах.

Тестування проводилося в умовах змінного освітлення як на відкритому просторі, так і в лабораторному середовищі. Під час перевірки було зафіксовано, що система успішно реагує на зміну рівня освітленості, визначаючи напрямок найбільшої інтенсивності світла за допомогою фоторезисторів. Модуль BH1750 дозволяв точно вимірювати рівень освітленості у люксах, що забезпечувало додатковий контроль, а сенсор DHT11 надавав дані про температуру та вологість, які також відображалися на LCD-дисплеї (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Дані про температуру та вологість

Рух сервоприводів S180 відбувався плавно та з очікуваною точністю, а алгоритми корекції кута повороту працювали стабільно навіть за наявності зовнішніх перешкод, таких як тінь або короткочасне перекриття світлового потоку. Система демонструвала можливість регулювання роздільної здатності за допомогою кнопки, що дозволяло користувачеві налаштовувати чутливість до змін освітлення (рис. 3.10).

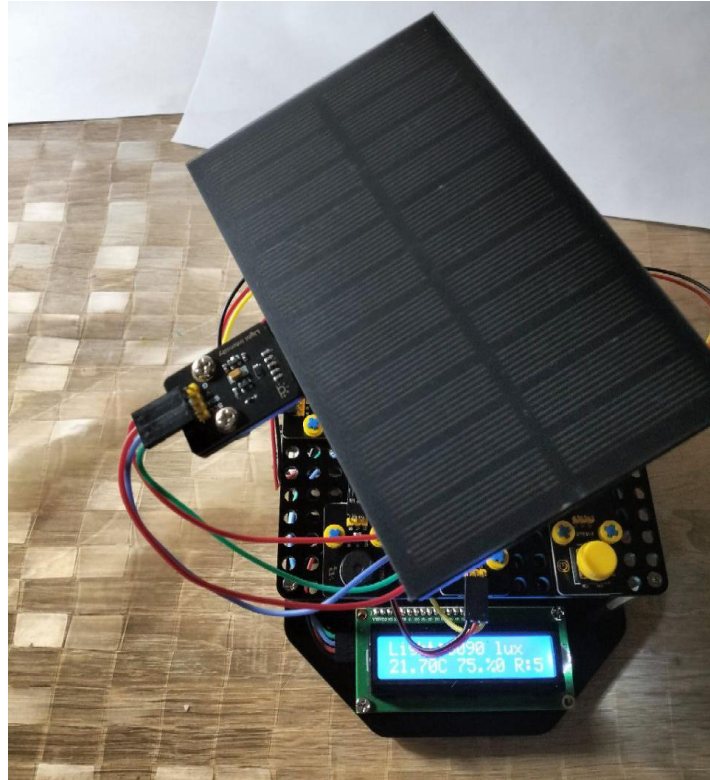


Рисунок 3.10 – Сонячний трекер

Загалом проведене тестування підтвердило працездатність розробленої системи та її здатність виконувати функції автоматичного трекінгу за джерелом світла. Отримані результати свідчать про можливість подальшого використання трекера для підвищення ефективності сонячних панелей у реальних застосуваннях, а також про перспективи інтеграції IoT-функцій для дистанційного моніторингу та управління.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено глибокий аналіз сучасних рішень у сфері сонячного трекінгу, класифіковано основні типи систем, розглянуто переваги та недоліки механічних і цифрових рішень, а також визначено перспективи впровадження IoT-технологій для віддаленого моніторингу та управління.

Під час проєктування власного прототипу було обґрунтовано вибір апаратних компонентів, зокрема мікроконтролерної плати Arduino Uno, сенсорів освітленості (фоторезисторів, BH1750), датчика температури та вологості (DHT11), а також виконавчих механізмів (сервоприводів SG90). Розроблено принципову схему підключення модулів, що забезпечує точне відстеження сонячного положення у двох площинах (горизонтальній та вертикальній), а також можливість масштабування системи за рахунок підключення додаткових сенсорів чи IoT-модулів.

Особлива увага приділялася розробці програмного забезпечення, реалізованого в середовищі Arduino IDE. Алгоритми управління враховують показники освітленості, похибки, роздільну здатність руху сервоприводів та налаштування користувача. Для забезпечення користувацького інтерфейсу використовувався LCD-дисплей із I<sup>2</sup>C-інтерфейсом, що дозволяє відображати в реальному часі поточні значення освітленості, температури, вологості та стану системи.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили працездатність системи та продемонстрували її здатність ефективно реагувати на зміну умов навколишнього середовища. Система коректно визначала напрямок на джерело максимальної освітленості, адаптувала кут положення сонячної панелі, а також відображала зібрані дані для подальшого аналізу. Завдяки використанню IoT-технологій трекер має потенціал для підключення до хмарних платформ, що відкриває нові можливості для аналітики, прогнозування роботи системи та оптимізації енергоспоживання.

Загалом розроблений інтелектуальний сонячний трекер демонструє високий рівень функціональності, надійності та ефективності, що дозволяє рекомендувати його як основу для побудови сучасних автономних енергетичних систем. Результати роботи можуть бути використані як для впровадження у побутових умовах (наприклад, на приватних будинках), так і для масштабованих промислових рішень, де потрібен гнучкий підхід до підвищення продуктивності фотоелектричних установок. Отримані результати створюють ґрунт для подальших досліджень у сфері автоматизації, IoT та енергоефективних технологій.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Review and Comparative Analysis of Solar Tracking Systems. *Energies. Mdpi.* URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/10/2553> (дата звернення: 02.02.2025).
2. EcoFlow Solar Tracker. *Prom.* URL: [https://images.prom.ua/6488764155\\_w640\\_h640\\_solnechnyj-treker-ecoflow.jpg](https://images.prom.ua/6488764155_w640_h640_solnechnyj-treker-ecoflow.jpg) (дата звернення: 02.02.2025).
3. Nextracker NX Horizon. *Gstatic.* URL: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRDPPvhILKverW8DeL7VwEgFhq-VS8u48rT5w&s> (дата звернення: 02.02.2025).
4. Array Technologies DuraTrack HZ v3. *Gstatic.* URL: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRejLq51vbE0SZecZNE9kApBt08mLrzNzcf0w&s> (дата звернення: 02.02.2025).
5. TrinaTracker Vanguard 2P. *Trinasolar.* URL: <https://www.trinasolar.com/en-glb/TrinaTracker> (дата звернення: 02.02.2025).
6. Solarobot DualAxis Tracker. *Ebayimg.* URL: <https://surl.li/oshbdw> (дата звернення: 02.02.2025).
7. DIYтрекер на Arduino. *Imimg.* URL: <https://https://surl.li/htfgbh> (дата звернення: 02.02.2025).
8. Бенседдік З., Мортаді М., Дерраз А., Ахачад М., Радоін Х., Махдауї М. За межами традиційних фотоелектричних систем: щорічне дослідження щодо використання теплових технологій, технологій фазового переходу та термоелектричних генераторів для оптимізації продуктивності в різних кліматичних умовах // *Applied Thermal Engineering.* 2025. Vol. 268. Article no. 125967.
9. Фераун Х., Фазілат М., Дермуш Р., Бентуба С., Таджін М., Зіюї Н. Квантове відстеження точки максимальної потужності (QMPPT) для оптимального вилучення сонячної енергії // *Systems and Soft Computing.* 2024. Vol. 6. Article no. 200118.

10. Application of one-axis sun tracking system. *Sciencedirect.* URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890409002349> (дата звернення: 02.02.2025).

11. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Sciencedirect.* URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148105003526> (дата звернення: 02.02.2025).

12. Лю Ю., Сяо З., Хуан Ю., Ма Ю., Ян З. Проектування та аналіз квазідвовісного сонячного трекера // *Energies*. 2025. Vol. 18. Article no. 1554.

13. Осман І.С., Алмадані І.К., Харірі Н.Г., Мааталла Т.С. Експериментальне дослідження та порівняння чистого енергетичного виходу з використанням систем стеження за сонячною енергією на основі керування // *International Journal of Photoenergy*. 2022. Vol. 2022. Article no. 7715214.

14. Шан Х., Шен В. Розробка та впровадження двоосьової системи сонячного стеження // *Energies*. 2023. Vol. 16. Article no. 6330.

15. Solar tracking systems: Advancements, challenges, and future directions. *ScienceDirect*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724006164> (дата звернення: 02.03.2025).

16. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types. *Sciencedirect* URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118301886?via%3Di> (дата звернення: 02.03.2025).

17. Муса А., Алозі Е., Сулейман С.А., Оджо Дж.А., Імойзе А.Л. Огляд систем сонячного фотоелектричного відстеження на основі часу // *Information*. – 2023. Vol. 14. Article no. 211.

18. Кумар Р., Нандан Прасад К., Кант Пасван М. Пасивна система сонячного стеження на основі SDLSTM з двоосьовим положенням сонячного водонагрівача // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2025. Vol. 58. Article no. 103220.

19. Дас М. Дослідження впливу двовісної системи сонячного стеження з ПЛК на теплові характеристики сонячного повітряного колектора // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021. Vol. 28. Article no. 101692.

20. Альджафарі Б., Сатпаті П.Р., Таніканті С.Б., Крішна Мадеті С.Р. Надійний підхід GTR-PLC для підвищення потужності та онлайн-моніторингу сонячних фотоелектричних панелей під час часткового затінення // *Energy*. 2024. Vol. 303. Article no. 131839.

21. Челлахі А., ель Бейд С., ель Маргічі М., Буабдаллі Е.М. Змінена низьковитратна непряма стратегія MPPT з ПІД-контролером для підвищення ефективності фотоелектричної системи // *Results in Engineering*. 2024. Vol. 24. Article no. 103526.

22. Плата контролера Arduino UNO R3. *Geekmatic*. URL: [https://geekmatic.in.ua/ua/arduino\\_uno\\_r3](https://geekmatic.in.ua/ua/arduino_uno_r3) (дата звернення: 20.04.2025).

23. LDR-модуль. *Robostore*. URL: <https://robostore.com.ua/ua/moduli-i-datchiki/datchiki-osveshennosti/modul-s-fotorezistorom-ky-018/> (дата звернення: 20.04.2025).

24. DHT22. *Lastminuteengineers*. URL: <https://lastminuteengineers.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/> (дата звернення: 20.04.2025).

25. Цифровий модуль інтенсивності світла BH1750FVI. *Ardushop*. [https://ardushop.in.ua/image/cache/catalog/Products/Sensors/Light%20Sensor/1-Digital Light-Sensor-GY-302-BH1750FVI-600x600.jpg](https://ardushop.in.ua/image/cache/catalog/Products/Sensors/Light%20Sensor/1-Digital%20Light-Sensor-GY-302-BH1750FVI-600x600.jpg) (дата звернення: 02.02.2025).

26. Solar USB Charging Module. *Stall*. URL: [https://stall.ua/uk/product/10285/?srsltid=AfmBOooV\\_0hnFw4MIs2hNXHhvVWTcQ1ytEtBun7GDltX92uGSBTwBWW1](https://stall.ua/uk/product/10285/?srsltid=AfmBOooV_0hnFw4MIs2hNXHhvVWTcQ1ytEtBun7GDltX92uGSBTwBWW1) (дата звернення: 30.04.2025).

27. Модуль I2C1602. *Coolbe*. URL: <https://www.coolbe.com/uk/products/6224692f5f0e5f01204f4993> (дата звернення: 30.04.2025).

28. Solar Panel with Tape And Wire. *Keystudio*. URL: [https://docs.keystudio.com/projects/KS0530/en/latest/\\_images/819548145faaf66964051973d6a2d7ed.png](https://docs.keystudio.com/projects/KS0530/en/latest/_images/819548145faaf66964051973d6a2d7ed.png) (дата звернення: 30.04.2025).

29. Smart Phone Charging Module. *Amazon*. URL: <https://www.amazon.in/xcluma-charging-lithium-protection-function/dp/B09B2SPY32> (дата звернення: 30.04.2025).

30. Сервопривід. *Arduino*. URL: [https://arduino.ua/products\\_pictures/large\\_ARC115-4.jpg](https://arduino.ua/products_pictures/large_ARC115-4.jpg) (дата звернення: 30.04.2025).

31. Схема підключення модулів. *Keyestudio*. URL: [https://docs.keyestudio.com/projects/KS0530/en/latest/\\_images/408f1214fddca0970bd688.png](https://docs.keyestudio.com/projects/KS0530/en/latest/_images/408f1214fddca0970bd688.png) (дата звернення: 30.04.2025).

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### Код мікроконтролера

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
#include <BH1750.h>
BH1750 lightMeter;
#include <dht11.h>    //include the library code:
dht11 DHT;
#define DHT11_PIN 7 //define the DHT11 as the digital pin 7
#include <Servo.h>
Servo lr_servo;//define the name of the servo rotating right and left
Servo ud_servo;//efine the name of the servo rotating upwards and downwards
const byte interruptPin = 2; //the pin of button;the corruption is
disrupted
int lr_angle = 90;//set the initial angle to 90 degree
int ud_angle = 10;//set the initial angle to 10 degree;keep the solar panels
upright to detect the strongest light
int l_state = A0;//define the analog voltage input of the photoresistors
int r_state = A1;
int u_state = A2;
int d_state = A3;
const byte buzzer = 6; //set the pin of the buzzer to digital pin 6
const byte lr_servopin = 9;//define the control signal pin of the servo
rotating right and lef
const byte ud_servopin = 10;//define the control signal pin of the servo
rotating clockwise and anticlockwise
unsigned int light; //save the variable of light intensity
byte error = 15;//Define the error range to prevent vibration
byte m_speed = 10;//set delay time to adjust the speed of servo;the longer
the time, the smaller the speed
byte resolution = 1; //set the rotation accuracy of the servo, the minimum
rotation angle
int temperature; //save the variable of temperature
int humidity; //save the variable of humidity
void setup() {
  Serial.begin(9600); //define the serial baud rate
  // Initialize the I2C bus (BH1750 library doesn't do this automatically)
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  lr_servo.attach(lr_servopin); // set the control pin of servo
  ud_servo.attach(ud_servopin); // set the control pin of servo
  pinMode(l_state, INPUT); //set the mode of pin
  pinMode(r_state, INPUT);
  pinMode(u_state, INPUT);
  pinMode(d_state, INPUT);

```

```

    pinMode(interruptPin, INPUT_PULLUP); //the button pin is set to input
pull-up mode
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), adjust_resolution,
FALLING); //xternal interrupt touch type is falling edge; adjust_resolution
is interrupt service function ISR
    lcd.init();           // initialize the LCD
    lcd.backlight();     //set LCD backlight
    lr_servo.write(lr_angle);//return to initial angle
    delay(1000);
    ud_servo.write(ud_angle);
    delay(1000);
}

void loop() {
    ServoAction(); //servo performs the action
    read_light(); //read the light intensity of bh1750
    read_dht11(); //read the value of temperature and humidity
    LcdShowValue(); //Lcd shows the values of light intensity, temperature and
humidity
    //erial monitor displays the resistance of the photoresistor and the angle
of servo
    /*Serial.print(" L ");
    Serial.print(L);
    Serial.print(" R ");
    Serial.print(R);
    Serial.print(" U ");
    Serial.print(U);
    Serial.print(" D ");
    Serial.print(D);
    Serial.print(" ud_angle ");
    Serial.print(ud_angle);
    Serial.print(" lr_angle ");
    Serial.println(lr_angle);*/
    // delay(1000);//During the test, the serial port data is received too
fast, and it can be adjusted by adding delay time */
}
/*****the function of the servo*****/
void ServoAction(){
    int L = analogRead(l_state);//read the analog voltage value of the sensor,
0-1023
    int R = analogRead(r_state);
    int U = analogRead(u_state);
    int D = analogRead(d_state);
    /*****system adjusting left and right序
*****/
    // abs() is the absolute value function
    if (abs(L - R) > error && L > R) { //Determine whether the error is within
the acceptable range, otherwise adjust the steering gear
        lr_angle -= resolution;//reduce the angle
        // lr_servo.attach(lr_servopin); // connect servo
        if (lr_angle < 0) { //limit the rotation angle of the servo

```

```

    lr_angle = 0;
}
lr_servo.write(lr_angle); //output the angle of the servooutput the
angle of servo
delay(m_speed);
}
else if (abs(L - R) > error && L < R) { //Determine whether the error is
within the acceptable range, otherwise adjust the steering gear
    lr_angle += resolution;//increase the angle
    //    lr_servo.attach(lr_servopin);    // connect servo
    if (lr_angle > 180) { //limit the rotation angle of servo
        lr_angle = 180;
    }
    lr_servo.write(lr_angle); //output the angle of servo
    delay(m_speed);

}
else if (abs(L - R) <= error) { //Determine whether the error is within
the acceptable range, otherwise adjust the steering gear
    //    lr_servo.detach(); //release the pin of servo
    lr_servo.write(lr_angle); //output the angle of servo
}
/*****system adjusting up and down*****/
if (abs(U - D) > error && U >= D) { //Determine whether the error is
within the acceptable range, otherwise adjust the steering gear
    ud_angle -= resolution;//reduce the angle
    //    ud_servo.attach(ud_servopin); // connect servo
    if (ud_angle < 10) { //limit the rotation angle of servo
        ud_angle = 10;
    }
    ud_servo.write(ud_angle); //output the angle of servo
    delay(m_speed);
}
else if (abs(U - D) > error && U < D) { //Determine whether the error is
within the acceptable range, otherwise adjust the steering gear
    ud_angle += resolution;//increase the angle
    //    ud_servo.attach(ud_servopin); // connect servo
    if (ud_angle > 90) { //limit the rotation angle of servo
        ud_angle = 90;
    }
    ud_servo.write(ud_angle); //output the angle of servo
    delay(m_speed);
}
else if (abs(U - D) <= error) { //Determine whether the error is within
the acceptable range. If it is, keep it stable and make no change in angle
    //    ud_servo.detach(); //release the pin of servo
    ud_servo.write(ud_angle); //output the angle of servo
}
}
}
void LcdShowValue() {
    char str1[5];

```

```

char str2[2];
char str3[2];
dtostrf(light, -5, 0, str1); //Format the light value data as a string,
left-aligned
dtostrf(temperature, -2, 0, str2);
dtostrf(humidity, -2, 0, str3);
//LCD1602 display
//display the value of the light intensity
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Light:");
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print(str1);
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print("lux");
//display the value of temperature and humidity
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(temperature);
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print(humidity);
lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print("%");
//show the accuracy of rotation
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("res:");
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print(resolution);
/*if (light < 10) {
  lcd.setCursor(7, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(light);
} else if (light < 100) {
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(light);
} else if (light < 1000) {
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(light);
} else if (light < 10000) {
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(light);
} else if (light < 100000) {
  lcd.setCursor(10, 0);
  lcd.print("      ");

```

```

        lcd.setCursor(6, 0);
        lcd.print(light);
    }*/
}
void read_light(){
    light = lightMeter.readLightLevel(); //read the light intensity detected
by BH1750
}

void read_dht11(){
    int chk;
    chk = DHT.read(DHT11_PIN); // read data
    switch (chk) {
        case DHTLIB_OK:
            break;
        case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM: //check and return error
            break;
        case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT: //Timeout and return error
            break;
        default:
            break;
    }
    temperature = DHT.temperature;
    humidity = DHT.humidity;
}
/*****function disrupts service*****/
void adjust_resolution() {
    tone(buzzer, 800, 100);
    delay(10); //delay to eliminate vibration
    if (!digitalRead(interruptPin)){
        if(resolution < 5){
            resolution++;
        }else{
            resolution = 1;
        }
    }
}
}

```