

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Протопопову Олексію Михайловичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Мікроконтролерний модуль зарядки пристроїв з сонячною панеллю _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 425 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 31 липня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____ завдання на кваліфікаційну роботу _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) аналіз проблеми та огляд існуючих рішень;

2) аналіз та вибір компонентів для пристрою

3) розробка програмного забезпечення

4) розробка корпусу пристроя

5) калібровка пристрою

6) висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій _____

Слайд-презентація – 11 с.

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблеми та огляд існуючих рішень	10.06.25-12.06.25	
2	Аналіз та вибір компонентів для пристрою	13.06.25-15.06.25	
3	Розробка програмного забезпечення	16.06.26-18.06.25	
4	Розробка корпусу пристрою	19.06.25-24.06.25	
5	Калібровка пристрою	25.06.25-01.07.25	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	02.07.25-06.07.25	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	07.07.25-09.07.25	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	10.07.25-17.07.25	

Дата видачі завдання “ 9 ” червня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Віталій МАРТОВИЦЬКИЙ
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 49 с., 11 рис., 1 табл., 2 дод., 7 джерел.

МІКРОКОНТРОЛЕР, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ФОТОРЕЗИСТОР, ARDUINO, СЕРВОПРИВІД, АКУМУЛЯТОР, ПОТУЖНІСТЬ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження пристрою для зарядки мобільних пристроїв із використанням сонячної панелі та мікроконтролера.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено існуючі пристрої із сонячними панелями, проаналізовано їхні переваги та недоліки, а також визначено основні вимоги до майбутньої конструкції. На основі проведеного аналізу були розроблені електричні та конструктивні схеми пристрою, підібрані оптимальні компоненти, за допомогою яких вдалося реалізувати працездатну модель. Для керування роботою системи в мікроконтролер було завантажено програму, що забезпечує автоматичне стеження за сонцем і регулювання положення панелі для досягнення максимального рівня освітленості.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 49 pages, 11 figures, 1 tables, 2 appendices, 7 sources.

MICROCONTROLLER, SOLAR PANEL, PHOTORESISTOR,
ARDUINO, SERVO DRIVE, BATTERY, POWER.

The major goal of this thesis is to develop and research a device for charging mobile devices using a solar panel and a microcontroller.

During the qualification work, existing devices with solar panels were studied, their advantages and disadvantages were analyzed, and the main requirements for the future design were determined. Based on the analysis, electrical and structural diagrams of the device were developed, and optimal components were selected, with the help of which it was possible to implement a working model. To control the operation of the system, a program was loaded into the microcontroller, which provides automatic tracking of the sun and adjustment of the panel position to achieve the maximum level of illumination.

ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Актуальність теми	10
1.2 Аналіз існуючих рішень	11
1.3 Постановка задачі.....	14
2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ.....	16
2.1 Опис мікроконтролера.....	16
2.2 Опис сонячної панелі.....	18
2.3 Опис сервопривіда	20
2.4 Опис фоторезистора.....	21
2.5 Опис акумулятора	23
2.6 Вивід інформації про потужність сонячної панелі.....	24
3 ПРОГРАМНА ТА ФІЗИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ	27
3.1 Програмна реалізація.....	27
3.2 Схема пристрою	32
3.3 Корпус пристрою	33
4 ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА	38
ВИСНОВКИ.....	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	41
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	42
ДОДАТОК Б	48

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

Вт – ват

кг – кілограм

ККД – коефіцієнт корисної дії

кОм – кілоом

мА/год – міліампер-година

мм – міліметр

ПВХ – полівинилхлорид

см – сантиметр

IDE – інтегроване середовище розробки (англ., integrated development environment)

USB – універсальна послідовна шина (англ., universal serial bus)

ВСТУП

У сучасному світі мобільні пристрої стали невід'ємною частиною нашого життя. Смартфони, планшети, ноутбуки та інші гаджети використовуються практично кожною людиною щодня для комунікації, доступу до інформації, розваг, роботи та навчання. Щоб забезпечити безперебійну роботу цих пристроїв, необхідно мати постійний доступ до джерел живлення. Проте, враховуючи мобільний стиль життя сучасної людини та різні життєві та часові складнощі, доступ до традиційних джерел електроенергії не завжди є можливим. Тому, для забезпечення автономності мобільних пристроїв у будь-якому потрібному місці, широко використовуються портативні зарядні пристрої повербанки.

Повербанки є зручним і практичним рішенням для забезпечення енергією мобільних пристроїв у ситуаціях, коли немає доступу до розетки. Проте, для їхнього функціонування необхідно періодично підзаряджати їх від традиційних джерел енергії, таких як розетки або USB-порти. Це, в свою чергу, обмежує автономність і робить повербанки залежними від доступності електричної мережі. Для вирішення цієї проблеми, все більше уваги привертають альтернативні джерела живлення, зокрема сонячна енергія, яка є екологічно чистим, поновлюваним і доступним ресурсом.

Метою даного проєкту є розробка мікроконтролерного модуля зарядки пристроїв, таких як телефони, повербанки та інші гаджети, за допомогою сонячної панелі. Використання сонячної енергії як джерела живлення для мобільних пристроїв дозволить значно підвищити їхню автономність. Це особливо актуально для ситуацій, коли доступ до традиційних джерел електроенергії обмежений або відсутній, наприклад, під час походів, подорожей чи в місцях із нестабільним електропостачанням.

У рамках даної роботи буде проведено детальний аналіз існуючих технологій сонячних зарядних пристроїв, розглянуто переваги та недоліки

різних підходів до їхньої конструкції. Будуть досліджені доступні типи сонячних панелей, їхня ефективність і можливості інтеграції з мікроконтролерними системами. На основі цього аналізу буде розроблено оптимальну схему, що включатиме мікроконтролер для покращення процесу заряджання.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Актуальність теми

В наш час люди користуються мобільними пристроями щодня – смартфони, планшети, смарт-годинники стали невід'ємною частиною нашого життя. Для їхньої роботи потрібна електроенергія, тому потрібно регулярно ставити їх на зарядку. Проте трапляються ситуації, коли електропостачання зникає, і люди залишаються без можливості зарядити свої пристрої. Звісно, іноді виручає повербанк, який був заряджений заздалегідь. Але буває й так, що повербанк також виявляється розрядженим, або його просто немає під рукою. Подібна ситуація може трапитися знезацька й з кожним. Вона особливо неприємна, якщо від електрики залежить зв'язок, робота або навіть елементарна безпека. У сучасних умовах, коли енергетична безпека стала ключовим фактором стабільності, альтернативні джерела живлення набувають дедалі більшого значення. В умовах аварійного або довготривалого відключення світла, яке може тривати кілька днів, варто мати надійне, автономне рішення. Саме тут на перший план виходять технології, здатні забезпечити мінімальні енергетичні потреби без прив'язки до централізованого живлення. Враховуючи кліматичні умови України, де сонячна активність протягом року є достатньо високою, використання сонячної енергії виглядає цілком доцільним.

Одним із зручних і практичних рішень є невеличка сонячна панель. Вона може заряджати мобільні телефони, планшети, повербанки та інші пристрої протягом світлового дня. Окрім підзарядки гаджетів, така панель може використовуватися для забезпечення роботи нічних ліхтариків. Удень вона накопичує енергію, заряджаючи акумулятор, а вночі ця енергія використовується для освітлення. Це особливо корисно в сільській місцевості, на дачі, під час походів або в умовах надзвичайних ситуацій.

1.2 Аналіз існуючих рішень

На полицях сучасних магазинів часто можна побачити повербанки, у яких одна зі сторін обладнана невеликою сонячною панеллю (рисунок 1.1). З першого погляду це здається зручним і практичним рішенням. Але такі повербанки мають два критичних конструктивних недоліка. По-перше – це дуже мала потужність вбудованої сонячної панелі. Якщо розрахувати кількість енергії, яку вона здатна згенерувати за день, виявиться, що для повної зарядки внутрішнього акумулятора знадобиться понад тиждень щоденного перебування під прямим сонячним промінням за наявності безхмарної погоди. У реальних умовах, особливо в осінньо-зимовий період або в похмурі дні, цей процес ще довший, що робить таке джерело енергії малоприматним у практичному сенсі.



Рисунок 1.1 – Повербанк зі сонячною панеллю

Другий важливий недолік пов'язаний із технічними особливостями літій-іонних акумуляторів, які зазвичай можна зустріти в повербанках та інших пристроях. Коли пристрій тривалий час перебуває на сонці, корпус і внутрішні компоненти значно нагріваються. Такий перегрів може призвести до швидкої деградації акумулятора, зменшення його ємності та терміну

служби. У гіршому випадку перегрів може стати причиною роздування батареї або навіть її займання чи вибуху, що становить серйозну небезпеку для користувача [1].

Таким чином, хоч ідея повербанка із сонячною панеллю виглядає привабливо, на практиці вона має суттєві обмеження. Значно надійнішим і безпечнішим варіантом є окрема повноцінна сонячна панель із контролером заряду, до якої можна підключати звичайні повербанки або інші пристрої (рисунок 1.2), забезпечуючи стабільну та ефективну підзарядку без ризиків для здоров'я і техніки. Крім того, окрему панель можна підібрати з урахуванням необхідної потужності, залежно від потреб. Це дозволяє побудувати модульну систему енергозабезпечення, яка з часом може масштабуватись та доповнюватись іншими компонентами, наприклад, інверторами чи додатковими акумуляторами.



Рисунок 1.2 – Сонячна панель зі стабілізатором струму

Проте слід зазначити, що як у повербанків із вбудованими сонячними панелями, так і в окремих сонячних батареях існує спільний недолік, пов'язаний саме з фізичними властивостями сонячної енергії. Сонячна панель

надзвичайно чутлива до рівня освітленості: навіть часткове затінення значно знижує її ефективність. Але якщо тінь ще можна уникнути, обравши відповідне місце, то зміна кута падіння сонячних променів протягом доби є проблемою постійною (таблиця 1.1). Внаслідок цього спостерігаються суттєві коливання продуктивності навіть упродовж одного дня, що ускладнює прогнозування обсягів енергії, яку вдасться згенерувати.

Таблиця 1.1 – Недоліки та переваги існуючих рішень

Існуюче рішення:	Повербанк зі сонячною панеллю	Сонячна панель зі стабілізатором струму
Недоліки:	Небезпечне використання; Мала потужність.	Розмір відповідний до потужності обраної моделі; Немає акумулятора;
	Для збільшення потужності потрібно підправляти кут нахилу до положення сонця на небосхилі.	
Переваги:	Розмір; Наявність акумулятора.	Безпечне використання.

Для того щоб підтримувати максимальну ефективність роботи сонячної панелі, бажано змінювати її кут нахилу відповідно до положення сонця на небосхилі. У ранкові та вечірні години, коли сонце знаходиться низько, стаціонарно встановлена панель працює значно гірше, ніж у полудень. Тому для підвищення коефіцієнта корисної дії системи потрібно використати системи автоматичного стеження за сонцем (трекери), які дозволяють змінювати кут нахилу панелі протягом дня. Подібні системи можуть бути як механічними, так і електронними, і хоча вони збільшують вартість установки, економія енергії та зручність користування в довгостроковій перспективі виправдовують витрати.

1.3 Постановка задачі

Основна мета кваліфікаційної роботи полягає у створенні пристрою для заряджання мобільних пристроїв за допомогою сонячної панелі з використанням мікроконтролера, який автоматично змінюватиме кут нахилу панелі для стеження за рухом сонця. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити стабільне живлення гаджетів у польових або аварійних умовах, але й підвищити ефективність використання сонячної енергії. Зміна кута орієнтації панелі буде реалізована у горизонтальній та вертикальній площині, що дозволить максимально ефективно використовувати сонячне світло протягом усього світлового дня незалежно від пори року чи погодних умов.

У межах проєкту передбачено виконання таких основних завдань:

- розробка програмної частини – необхідно створити програмне забезпечення для мікроконтролера, яке реалізовуватиме логіку керування кутом нахилу сонячної панелі. Для цього мікроконтролер має зчитувати дані з датчиків освітленості (або модуля реального часу) й на основі отриманих значень приймати рішення щодо зміни положення панелі. Керування здійснюватиметься через подачу команд на сервоприводи, які відповідатимуть за зміну положення у вертикальному та горизонтальному напрямках. Таке рішення забезпечить динамічну адаптацію до змін освітленості й мінімізує втрати енергії упродовж доби;

- розробка корпусу моделі – потрібно спроектувати та виготовити корпус пристрою, у якому будуть розміщені всі основні компоненти: сонячна панель, мікроконтролер, датчики, сервоприводи, акумулятор тощо. Необхідно передбачити їхнє правильне розташування, надійне кріплення, зручність обслуговування, а також ефективну взаємодію між усіма елементами системи.

Фінальним етапом розробки стане тестування готового пристрою. Необхідно переконатися, що логіка роботи програмної частини відповідає очікуванням, сервоприводи мають достатню потужність для зміни кута

нахилу панелі та виконують команди мікроконтролера коректно. Також за допомогою амперметра слід виміряти кількість струму, який надходить від сонячної панелі до акумулятора, та скільки енергії споживає сама логічна частина пристрою. Це дозволить оцінити ефективність системи та підтвердити її працездатність у реальних умовах експлуатації, що є важливим критерієм для її подальшого практичного використання.

2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ

2.1 Опис мікроконтролера

У структурі пристрою мікроконтролер виконує роль керуючого елемента логічної частини. Його основним завданням є зчитування даних з датчиків освітленості або модуля реального часу, їх обробка та передача команд сервопривідам, що змінюють кут нахилу сонячної панелі у вертикальній та горизонтальній площині. Таким чином, мікроконтролер є ядром усього процесу управління. Уся логіка роботи побудована на порівняно нескладних обчисленнях, які не вимагають високої обчислювальної потужності чи великого обсягу оперативної пам'яті. Зокрема, операції порівняння значень освітленості, прийняття простих логічних рішень щодо коригування положення панелі та генерація ШІМ-сигналів не вимагають складної обробки або використання спеціалізованих процесорів. Це дозволяє застосовувати доступні за ціною та споживанням мікроконтролери.

Також у даному проєкті не передбачається необхідність бездротового з'єднання з мережею або передавання даних на інші пристрої, що дозволяє уникнути використання складніших мікроконтролерів з розширеним функціоналом. Наприклад, мікроконтролери сімейства ESP (ESP8266, ESP32), хоч і мають значно більші можливості, зокрема вбудовані Wi-Fi та Bluetooth-модулі, більшу кількість ядер, розширені порти вводу-виводу, є надлишковими для завдань, поставлених у цьому проєкті [2]. Крім того, більша складність у роботі з ESP-платами вимагає поглиблених знань у сфері електроніки та програмування, що суперечить меті розробити простий, доступний і повторюваний пристрій.

Для проєкту Arduino Nano (рисунок 2.1) виявився більш доцільним вибором. Завдяки своїм компактним розмірам, низькому енергоспоживанню та достатній кількості цифрових входів і ШІМ-виходів, він повністю

задовольняє потреби проєкту. Arduino Nano побудований на базі мікроконтролера ATmega328P, що має 32 КБ флеш-пам'яті для зберігання програми, 2 КБ оперативної пам'яті. Ці ресурси достатні для реалізації всіх логічних процесів управління сонячною панеллю, а також зберігання основних параметрів у енергонезалежній пам'яті.

Arduino Nano має зручну підтримку в середовищі Arduino IDE, що суттєво спрощує процес програмування та налагодження системи. Завдяки широкій екосистемі бібліотек та відкритому коду реалізація алгоритмів управління займає мінімум часу. Широка спільнота користувачів, велика кількість навчальних матеріалів, прикладів коду та документації дозволяють легко знайти рішення типових проблем і значно прискорюють розробку.

Окрему увагу варто приділити підтримці бібліотеки Servo.h [3], яка спрощує реалізацію управління сервоприводами. З її допомогою можна легко задавати положення приводу в градусах без необхідності глибокого занурення в таймінги сигналу. Це робить роботу з сервоприводами інтуїтивно зрозумілою навіть для тих, хто лише починає знайомство з мікроконтролерами. Крім того, Arduino Nano має можливість живлення як від USB, так і від зовнішнього джерела, що забезпечує гнучкість в умовах польового використання.

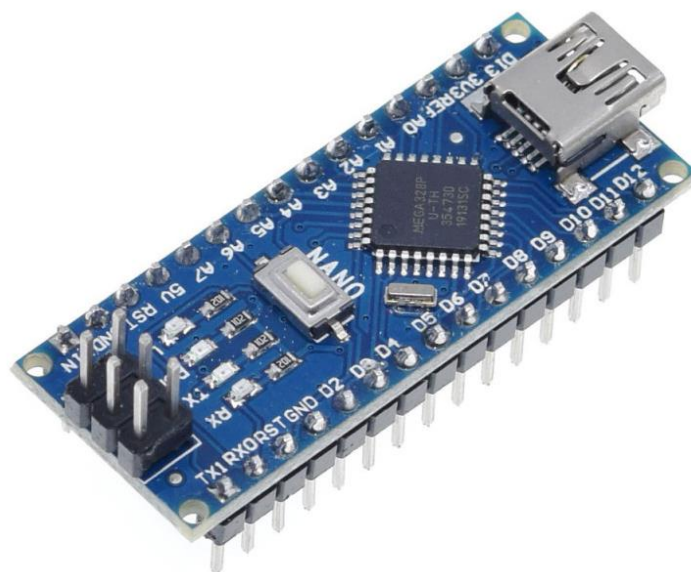


Рисунок 2.1 – Arduino nano

Таким чином, Arduino Nano є раціональним і ефективним вибором для побудови системи автоматичного стеження за сонцем, забезпечуючи необхідну функціональність без зайвих апаратних ресурсів. Його використання дозволяє не лише зменшити габарити і вартість системи, а й забезпечує стабільність роботи навіть у змінних умовах навколишнього середовища.

2.2 Опис сонячної панелі

Сонячна панель є ключовим елементом у побудові пристрою, адже саме вона забезпечує вироблення електроенергії, необхідної для заряджання мобільних пристроїв, а також живлення логічної частини системи. На сучасному ринку найпоширенішими є панелі, виготовлені на основі монокристалічних та полікристалічних фотоелементів. Монокристалічні панелі зазвичай характеризуються вищим ККД, однак і вищою ціною, тоді як полікристалічні є дещо дешевшими, але менш ефективними при слабкому освітленні. Коефіцієнт корисної дії монокристалічної панелі зазвичай становить 17-22 %, тоді як полікристалічні – в межах 14-17 %. Водночас, ефективність може змінюватися в залежності від температури навколишнього середовища, ступеня забруднення поверхні, кута падіння променів, хмарності тощо. Наприклад, при зростанні температури елементів на 10 градусів ККД панелі може знижуватися на 2-3 %. Ці фактори слід враховувати при проектуванні пристрою, особливо мобільного, який працює в різних погодних умовах.

У рамках даного проекту вибір між цими двома типами фотоелементів не є критично важливим, оскільки основну увагу зосереджено на таких параметрах, як потужність, розміри та вартість панелі. Потужність визначає, скільки енергії зможе генерувати система для зарядки акумулятора, а від розмірів панелі залежить розміри механічної конструкції. Занадто велика панель утруднює мобільність і вимагає міцнішого кріплення, тоді як занадто

мала – не забезпечить достатню кількість енергії. Для стабільної та достатньо ефективної роботи системи було визначено, що потужність сонячної панелі має становити в межах 10-15 Вт. Цього значення цілком достатньо для забезпечення зарядки зовнішнього акумулятора, а також створення мінімального запасу енергії на випадок похмурої погоди.

Як приклади придатних для використання моделей можна розглянути сонячні панелі Sclamp CL-1612 (номінальна потужність 12 Вт) та Sclamp CL-1615 (номінальна потужність 15 Вт) (рисунок 2.2) [4]. Обидві моделі мають приблизно однакові розміри, прийнятну вартість і забезпечують достатню вихідну потужність для живлення контролера заряду, сервопривідів та інших елементів схеми.



Рисунок 2.2 – Сонячна панель Sclamp CL-1615

Також ці сонячні панелі мають стабілізатори напруги в 5 Вольт, що дозволяє одразу їх використовувати для заряджання пристроїв або акумулятора без придбання окремого стабілізатора. Це значно спрощує схему підключення, знижує загальну вартість реалізації пристрою.

2.3 Опис сервопривіда

Сервопривід – це компактний електромеханічний пристрій, який поєднує в собі двигун, редуктор та контролер положення. Його головною особливістю є здатність точно утримувати або змінювати положення вихідного вала відповідно до заданого кута. Завдяки цьому сервоприводи широко використовуються в автоматизованих системах, включаючи робототехніку, системи стеження, мехатроніку, моделі з дистанційним керуванням тощо.

Основним параметром, що характеризує сервопривід, є крутний момент, тобто зусилля, яке він може створювати на валу. У технічних специфікаціях цей параметр часто подається в кг/см (кілограм-сантиметр). Наприклад, момент 2 кг/см означає, що сервопривід може утримати навантаження 2 кг на плечі 1 см. Для пристроїв, які виконують механічне позиціонування, такі як: 3д-принтери, маніпулятори, сонячні панелі тощо, важливо враховувати не лише вагу самої панелі, а й силу опору вітру або перекосу при зміні кута нахилу.

У більшості недорогих сервопривідів також є обмеження по діапазону обертання – зазвичай 180° або 270°. Проте при використанні двох сервопривідів (одного для обертання панелі у горизонтальній площині, а іншого у вертикальній) можна досягти достатнього простору для повноцінного відстеження положення сонця протягом усього дня. Хоча технічно це не буде повноцінне покриття 360 градусів у кожній площині, але для завдань стеження за сонцем у відкритому просторі цього більш ніж достатньо.

Для реалізації даного проєкту було обрано один із найпоширеніших сервопривідів моделі SG90 (рисунок 2.3). Він має компактні розміри, невелику масу та крутний момент близько 2 кг/см, чого достатньо для переміщення сонячної панелі з невеликою вагою [5].



Рисунок 2.3 – Сервопривід SG90

Крім того, SG90 є сумісним з Arduino-платами, добре підтримується відповідними бібліотеками (зокрема, Servo.h), і має широке застосування в розробках. Також слід додати наявність у продажі аналогів від різних виробників.

2.4 Опис фоторезистора

Стаціонарні сонячні панелі, які встановлюються на промислових об'єктах або сонячних фермах, зазвичай мають фіксоване положення, орієнтоване під оптимальним кутом відповідно до географічного розташування та сезону. У деяких випадках для підвищення ефективності використовуються автоматизовані системи слідування за сонцем, які

працюють на основі модуля реального часу (RTC). Такі системи не бачать сонце безпосередньо, а обчислюють його положення на основі часу, дати та геокоординат, що робить їх ефективними у фіксованому середовищі з точно відомими координатами установки.

У нашому проєкті передбачається використання мобільного або змінного за розташуванням пристрою, тому застосування лише модуля реального часу без урахування фактичного освітлення є недоцільним. У таких умовах необхідно використовувати систему активного виявлення джерела світла. Це дає змогу пристрою в реальному часі реагувати на зміну положення сонця незалежно від географічного розташування.

Для цього планується використання фоторезисторів (рисунок 2.4) – недорогих і простих у використанні світлочувливих компонентів, які змінюють свій опір залежно від інтенсивності падаючого світла [6]. Принцип їх дії базується на фотопровідності – при збільшенні освітлення опір падає, а при затемненні – зростає. Ця властивість дозволяє легко перетворювати освітленість у зміну напруги на роздільному резистивному дільнику, який підключається до аналогового входу мікроконтролера.



Рисунок 2.4 – Фоторезистори

Зазвичай у системах відстеження застосовують чотири фоторезистори, розташовані по кутах хрестоподібного елемента з перегородками. Коли сонячне світло падає рівномірно, всі фоторезистори отримують однакову

кількість світла, і мікроконтролер не подає команд на зміну положення. Якщо ж освітлення з одного боку більше, ніж з іншого – це викликає дисбаланс у показаннях фоторезисторів. Мікроконтролер аналізує цю різницю і подає керуючі сигнали на сервопривіди, які змінюють кут нахилу панелі так, щоб орієнтувати її на сонце. Таке розташування дає можливість створити просту, але ефективну систему автоматичного стеження, що не залежить від точного часу, координат чи складних математичних моделей[7].

2.5 Опис акумулятора

Акумулятор у даному проєкті відіграє роль проміжного накопичувача енергії, який дозволяє забезпечити автономну роботу системи протягом доби. Впродовж світлого часу акумулятор заряджається від сонячної панелі, накопичуючи енергію для подальшого використання. Увечері або вночі накопичений заряд може бути використаний для підзарядки зовнішніх мобільних пристроїв (наприклад, смартфона або планшета), або для живлення вбудованих елементів – таких як світлодіодна підсвітка, нічник тощо.

В якості контролера заряду пропонується використання готової плати, яка зазвичай встановлюється в недорогих повербанках (рисунок 2.5). Такі плати є компактними, широко доступними, мають низьку вартість і вже інтегрують основні функції захисту: від перезаряду, надмірного розряду, короткого замикання, перенапруги тощо. Також вони містять готові роз'єми для підключення джерела живлення (сонячної панелі) та споживача (зарядка мобільного пристрою), що значно спрощує інтеграцію в конструкцію. Крім того, мікроконтролер та сервопривіди також можуть житися від цієї системи, підключившись до відповідного виходу контролера заряду.

Що стосується вибору акумулятора, то його ємність підбирається відповідно до розмірів корпусу, доступного простору в корпусі та цільового призначення системи. Наприклад, для простої системи, яка забезпечує заряд

одного смартфона на день або живить світлодіодну лампу кілька годин, достатньо акумулятора ємністю від 2000 до 5000 мА/год. Якщо ж передбачається більш інтенсивне використання або живлення декількох пристроїв, ємність може бути збільшена до 10000 мА/год і більше.

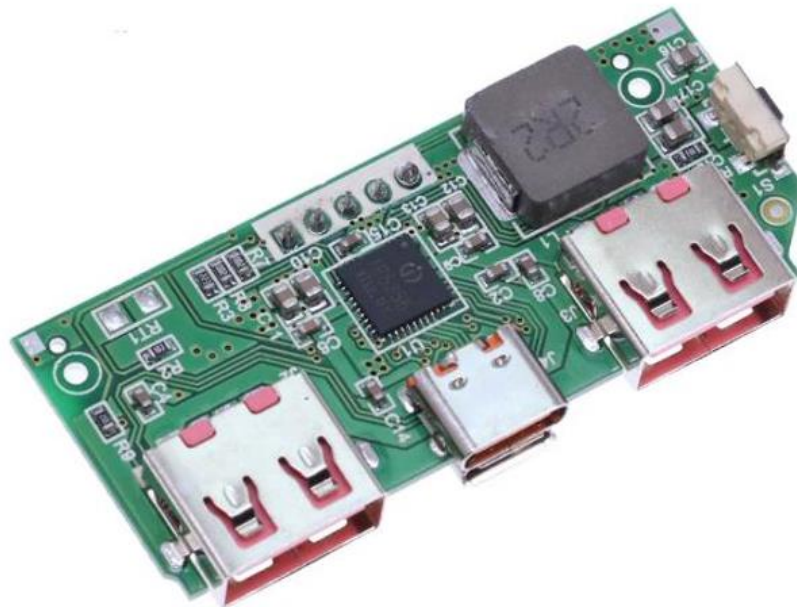


Рисунок 2.5 – Плата контролер повербанка

Окрему увагу варто приділити типу акумулятора. Найчастіше використовуються літій-іонні (Li-ion) або літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) акумулятори. Перші мають вищу енергетичну щільність, але менший ресурс циклів, тоді як LiFePO₄ – безпечніші, стабільніші при високих температурах, з довшим терміном служби. Вибір залежить від бюджету, габаритів і цілей застосування. Для проекту було взято літій-іонний акумулятор який був разом із платою контролю заряду.

2.6 Вивід інформації про потужність сонячної панелі

Для ефективної роботи сонячної системи важливо не лише забезпечити заряд акумулятора, а й мати можливість відстежувати параметри енергії, яку виробляє панель у реальному часі. Це дозволяє оперативно виявляти збої в

роботі, оцінювати ефективність зарядки за різних умов освітлення та контролювати загальний енергетичний баланс пристрою. З цією метою доцільно між виходом сонячної панелі та входом на плату контролера заряду встановити USB-мультиметр. Ідеальним варіантом для цього є недорогі, але функціональні моделі типу KWS-V20 або KWS-V21 (рисунок 2.6). Ці мультиметри мають вбудований дисплей, який відображає такі ключові параметри, як:

- напруга (V), яку виробляє сонячна панель;
- сила струму (A), яка проходить до контролера заряду;
- кількість заряду, накопиченого в акумуляторі в мА/год.



Рисунок 2.6 – Юсб-мультиметр KWS-V21

Завдяки наочності і простоті використання, USB-мультиметр дозволяє швидко визначити, чи працює система у нормальному режимі. Наприклад, зменшення струму за стабільної напруги може вказувати на забруднення панелі або недостатнє освітлення. У випадку, коли струм перевищує звичні значення – можлива несправність у регуляторі заряду.

Окрім моніторингу заряду, цей пристрій також можна використати для тестування логічної частини – підключивши мультиметр між акумулятором і логічною частиною, можна заміряти реальне споживання струму всією

електронікою. Це дозволяє переконатися, що пристрій працює в енергетичному балансі та не споживає більше, ніж виробляє, або ніж може забезпечити акумулятор. В деяких випадках мультиметр можна модернізувати додаванням Bluetooth-модуля, який дозволяє дистанційно зчитувати дані у додатку на смартфоні.

3 ПРОГРАМНА ТА ФІЗИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Для реалізації даного проєкту потрібно виконати дві поставлені задачі:

- створення програмного забезпечення – потрібно розробити програму для мікроконтролера, яка реалізовуватиме алгоритм керування кутом нахилу сонячної панелі. Для цього мікроконтролер повинен зчитувати інформацію з датчиків освітленості та, аналізуючи ці дані, визначати необхідність зміни положення панелі. Керування положенням здійснюється за допомогою команд до сервоприводів, що відповідають за обертання панелі у вертикальній та горизонтальній площинах;

- проєктування та виготовлення корпусу – необхідно розробити конструкцію корпусу, у якому будуть розміщені всі ключові компоненти системи: мікроконтролер, сонячна панель, датчики, сервоприводи, акумулятор тощо. Потрібно забезпечити правильне компонування елементів, їхнє надійне закріплення, легкість доступу для обслуговування, а також ефективну інтеграцію всіх частин у єдину функціональну систему.

3.2 Програмна реалізація

Arduino є однією з найпопулярніших платформ для розробки, тому для неї існує велика кількість середовищ програмування, які дозволяють створювати код для мікроконтролерів. Кожне з цих середовищ має свої сильні й слабкі сторони, відрізняється функціональністю, зручністю інтерфейсу. Проте, незмінним лідером серед інструментів початкового рівня залишається

Arduino IDE – офіційне середовище, розроблене самою компанією Arduino. Його перевага полягає в простоті використання та наявності всіх необхідних інструментів для базової розробки: написання та редагування

коду, компіляція, завантаження скетчу на плату й перегляд інформації через монітор послідовного порту. Для тих, хто має досвід роботи у професійних середовищах, таких як JetBrains IDEA, Microsoft Visual Studio чи Quartus, Arduino IDE може здатися занадто простою, навіть аскетичною. Вона не пропонує складних засобів автозаповнення, розширеної відладки чи гнучкого керування проектами. Але саме ця простота дозволяє зосередитись лише на коді без зайвого відволікання.

Програми, які створюються в Arduino IDE, називаються скетчами. Вони пишуться у вбудованому текстовому редакторі, що має базові функції для комфортної роботи з текстом: пошук, заміна, копіювання, вставка. Після створення, скетчі зберігаються у вигляді файлів із розширенням .ino. Також у вікні середовища розміщується інформаційна панель, яка повідомляє користувача про помилки в коді, результати компіляції, процес завантаження прошивки тощо. Враховуючи простоту, офіційність та достатній набір функцій, для реалізації програмної частини мого проекту було обрано саме Arduino IDE.

У коді пристрою задіяні дві основні функції: `setup()` і `loop()`. Перша функція викликається один раз під час старту пристрою та відповідає за початкову ініціалізацію – зокрема, за прив'язку сервоприводів до відповідних пінів. Друга функція `loop()` – працює у безперервному циклі, здійснюючи зчитування показників з датчиків та керуючи рухом панелі на основі отриманих даних.

На початку скетчу необхідно підключити бібліотеку `Servo.h`, яка забезпечує зручне та інтуїтивно зрозуміле керування сервоприводами через стандартні функції. Без цієї бібліотеки реалізація точного керування кутом повороту була б складнішою та вимагала б роботи з широтно-імпульсною модуляцією вручну. Після підключення бібліотеки оголошуються глобальні змінні, що використовуватимуться у програмі на всіх її етапах. Зокрема, створюються дві змінні типу `Servo`, які відповідають за управління вертикальним і горизонтальним сервоприводами, а також чотири змінні типу

int, призначені для зберігання значень, зчитаних із фоторезисторів. Ці змінні дозволяють оперативно аналізувати рівень освітлення в кожній з контрольованих точок і приймати рішення про зміну положення панелі (лістинг 3.1).

Лістинг 3.1 – Глобальні змінні

```
#include <Servo.h>
Servo servoVert;
Servo servoHoriz;
int leftPotValue;
int rightPotValue;
int lowerPotValue;
int upperPotValue;
```

Наступним кроком є реалізація функції setup(), у якій відбувається прив'язка сервопривідів до цифрових пінів плати. У цьому прикладі вертикальний сервопривід підключено до другого цифрового піна, а горизонтальний – до третього (лістинг 3.2). Це дозволяє надалі зручно керувати їхнім положенням за допомогою методів з бібліотеки.

Лістинг 3.2 – Функція setup()

```
void setup() {
  servoVert.attach(2);
  servoHoriz.attach(3);
}
```

Після завершення початкової ініціалізації компонентів у функції setup(), мікроконтролер переходить до виконання основного циклу роботи, який реалізовано у функції loop(). Саме в цьому циклі безперервно відбувається зчитування аналогових сигналів з фоторезисторів, підключених до аналогових входів Arduino – зокрема, до пінів A0, A1, A2 та A3 (лістинг 3.3). Кожен із цих датчиків відповідає за контроль рівня освітлення в окремій частині простору навколо сонячної панелі. Зчитані значення є основою для подальшого аналізу.

Лістинг 3.3 – Зчитування аналогового сигналу з 4 пінів

```
void loop() {
  leftPotValue = analogRead(A0);
  rightPotValue = analogRead(A3);
  lowerPotValue = analogRead(A1);
  upperPotValue = analogRead(A2);
}
```

Після отримання значень від сенсорів, програма виконує їх порівняння. У випадку, коли різниця між показниками перевищує певний поріг мікроконтролер приймає рішення про зміну кута нахилу сонячної панелі. Залежно від того, яка частина отримує більше світла, пристрій змінює положення у вертикальній площині (лістинг 3.4).

Лістинг 3.4 – Обробка значень з вертикальних фоторезисторів

```
int VertNow = servoVert.read();
if (abs(lowerPotValue - upperPotValue) > 30) {
  if (lowerPotValue > upperPotValue) {
    servoVert.write(VertNow + 2);
  } else {
    servoVert.write(VertNow - 2);
  }
}
```

Така логіка дозволяє максимально точно орієнтувати панель, проте необхідно враховувати ситуації, коли сервопривід переходить межу в 90 градусів. У такому випадку логіка зміщується: фоторезистори, які були зліва, тепер опиняються справа, і навпаки (рисунок 3.1). Тому в програмі передбачено додаткову умову, яка враховує поточний кут нахилу панелі та адаптує поведінку пристрою залежно від його положення (лістинг 3.5).

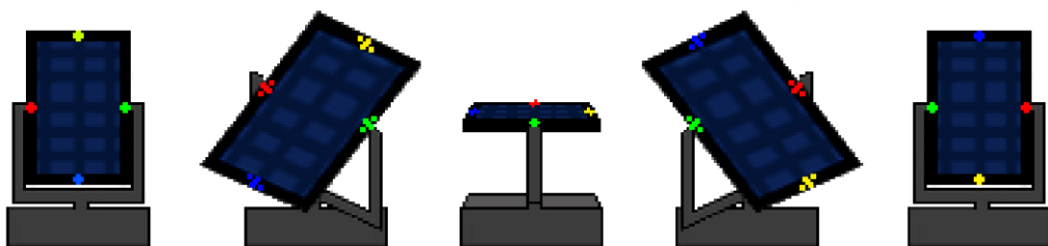


Рисунок 3.1 – Поворот панелі вертикальним сервопривідом

Лістинг 3.5 – Обробка значень з горизонтальних фоторезисторів

```
int HorizNow = servoHoriz.read();
  if (VertNow < 90) {
    if (abs(leftPotValue - rightPotValue) > 30){
      if (leftPotValue > rightPotValue){
        servoHoriz.write(HorizNow + 2);
      } else {
        servoHoriz.write(HorizNow - 2);
      }
    }
  } else {
    if (abs(leftPotValue - rightPotValue) > 30){
      if (leftPotValue > rightPotValue){
        servoHoriz.write(HorizNow - 2);
      } else {
        servoHoriz.write(HorizNow + 2);
      }
    }
  }
}
```

Для забезпечення гнучкості налаштування й адаптації до різних умов освітлення в програмному коді передбачено два основні параметри, які користувач може змінювати вручну:

- перший параметр відповідає за чутливість системи – це граничне значення різниці сигналів між фоторезисторами на одній площині, яке визначає, чи варто змінювати положення панелі. Якщо різниця між значеннями перевищує це порогове значення, система вважає, що необхідно скоригувати кут нахилу. У наведеному прикладі ця величина становить 30 одиниць;

- другий параметр визначає крок повороту панелі – тобто, на скільки градусів змінюється її положення після кожного циклу обробки сигналу. У прикладі значення цього параметра становить 2 градуси.

Залежно від обраних сервопривідів, точності датчиків або бажаної швидкості реагування системи, обидва ці параметри можна легко відкалібрувати, змінюючи відповідні значення у програмному коді. Завдяки цьому пристрій зберігає свою універсальність і може бути адаптований до різних умов.

3.2 Схема пристрою

Основою функціонування пристрою є схема, що забезпечує коректну взаємодію між всіма його компонентами. Сонячна панель з'єднується зі стабілізатором напруги, який вирівнює вихідну напругу до 5 Вольт. Це дозволяє безпечно підключити її до плати контролю заряду акумулятора. Такий стабілізатор іноді вже входить до комплекту з самою панеллю, що значно спрощує монтаж. Енергія, накопичена в акумуляторі, розподіляється двома окремими лініями: одна веде до USB-портів, що дозволяють заряджати зовнішні пристрої (мобільні телефони, ліхтарі тощо), інша – до живлення самої логічної частини пристрою, тобто сервопривідів та мікроконтролера Arduino Nano. Для зручності та безпеки на цій лінії встановлено перемикач, що дозволяє вмикати або вимикати керування пристроєм вручну (рисунок 3.2.)

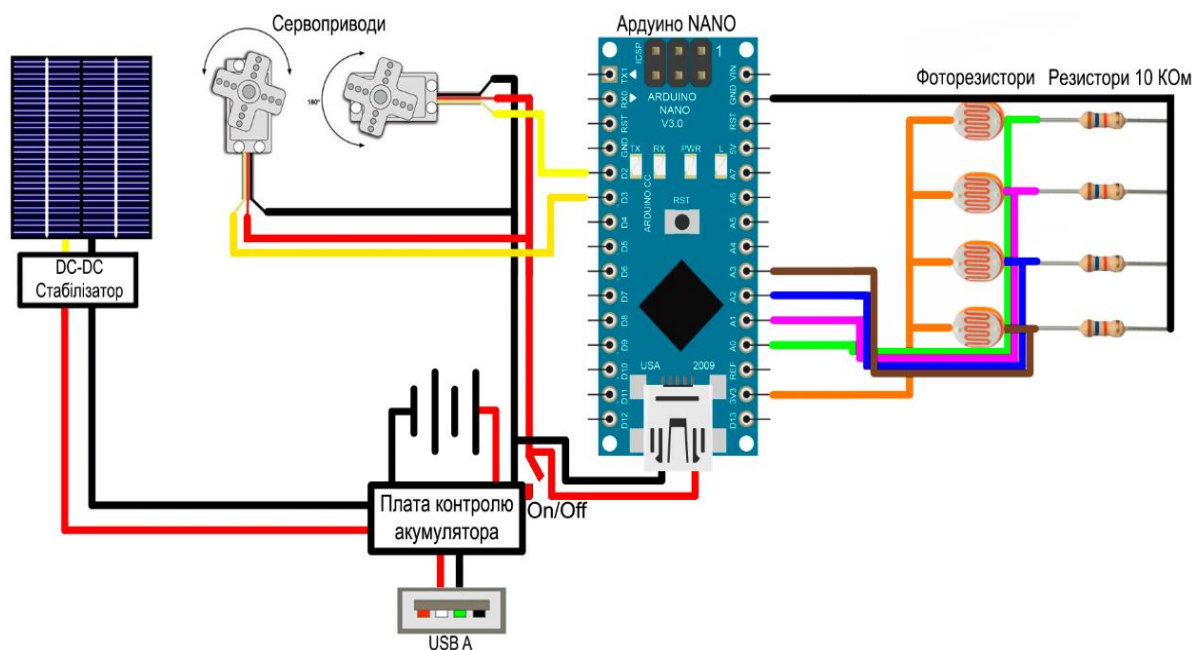


Рисунок 3.2 – Схема пристрою

Крім основних вузлів, схема передбачає підключення двох сервопривідів до цифрових пінів Arduino. Вони відповідають за поворот панелі у горизонтальній та вертикальній площинах. Також до аналогових

входів підключаються чотири фоторезистори, що зчитують рівень освітленості в різних напрямках. Живлення фоторезисторів здійснюється через пін 5V, а їхні сигнальні виходи підключені до резисторів на 10 кОм, які виконують роль підтягуючих та з'єднані із загальною «землею» (GND). Така електрична схема дозволяє досягти стабільної та автономної роботи пристрою протягом усього світлового дня.

3.3 Корпус пристрою

Механічна частина пристрою реалізована у вигляді корпусу, що складається з двох основних частин. Нижня частина виконана у формі прямокутної коробки. У її внутрішньому просторі розміщені акумулятор та плата контролю заряду, а на зовнішній стороні знаходяться USB-порти для заряджання мобільних пристроїв, а також перемикач, що вмикає або вимикає логічну частину пристрою. Така компоновка дозволяє зручно обслуговувати внутрішні елементи, забезпечує надійний захист від механічного пошкодження та відкритий доступ до основних елементів керування.

Габарити нижньої частини корпусу при використанні сонячної панелі потужністю 12 Вт (розміром 350×225 мм) становлять орієнтовно:

- 300 мм у глибину;
- 190 мм у ширину;
- 60 мм у висоту.

Ці розміри забезпечують достатній внутрішній об'єм для розміщення всіх електронних компонентів і при цьому зберігають компактність конструкції.

Верхня частина пристрою представлена у вигляді U-подібної рамки, що монтується до основи через підшипник і горизонтальний сервопривід. Така рамка дозволяє здійснювати обертання панелі навколо вертикальної осі. На одному з рогів цієї рамки закріплений вертикальний сервопривід, що відповідає за зміну кута нахилу панелі у вертикальній площині. Протилежна

вершина конструкції виконує роль опори з віссю, що рівномірно розподіляє навантаження по конструкції. Завдяки такій симетричній будові забезпечується стабільність руху та знижується знос елементів кріплення.

Типові розміри верхньої частини:

- висота рамки – приблизно 240 мм;
- ширина «рогів» – близько 20 мм;
- висота основи рамки – 25 мм;
- ширина основи рамки – близько 260 мм.

Для встановлення сервопривіду на одному з кінців передбачене підвищення розміром 80 мм заввишки та 40 мм завширшки, що дозволяє надійно зафіксувати привід і забезпечити точну передачу обертового моменту (рисунок 3.3).

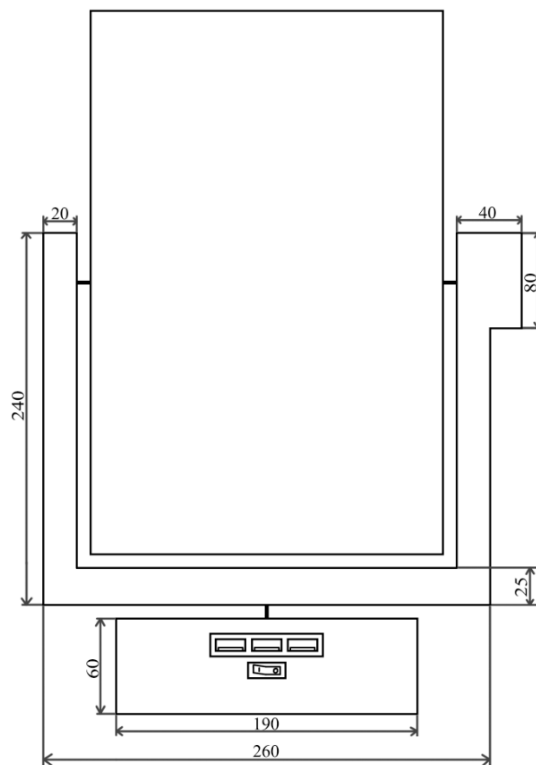


Рисунок 3.3 – Розміри корпусу

Для виготовлення корпусу було використано фанеру, оскільки цей матеріал легко обробляється, має достатню міцність, та доступний у побутових умовах. Фанера особливо зручна на етапі розробки прототипу,

адже не потребує складного обладнання. Проте, через її сприйнятливість до вологи, конструкцію бажано експлуатувати в сухих умовах або додатково покрити вологостійким лаком. Саме така реалізація корпусу з фанери наведена на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Готовий корпус пристроя зі сонячною панеллю

Альтернативним матеріалом для корпусу може бути пластик – наприклад, ПВХ або акрил. Він забезпечує більш точну геометрію, меншу вагу та кращу вологостійкість. Особливо ефективно використовувати пластик у поєднанні з 3D-друком або лазерною різкою. Це дозволяє створити компактний і привабливий корпус, однак вимагає наявності спеціального обладнання або послуг друку.

Додатковим конструктивним рішенням стало розміщення мікроконтролера у верхній частині корпусу. Це дозволило мінімізувати кількість проводів, що проходять між нижньою та верхньою частинами. У результаті лише три проводи йдуть знизу вгору: перший – від панелі до акумулятора, другий – від акумулятора до мікроконтролера, третій – сигнальний провід для керування горизонтальним сервопривідом. Але і зараз вони є недоліком, бо ці проводи не дають можливість обертатися горизонтальному сервопривіду на всі 180 градусів. При подальшій розробці цей недолік буде прибран. Візуалізацію розташування елементів у корпусі наведено на рисунку 3.5.

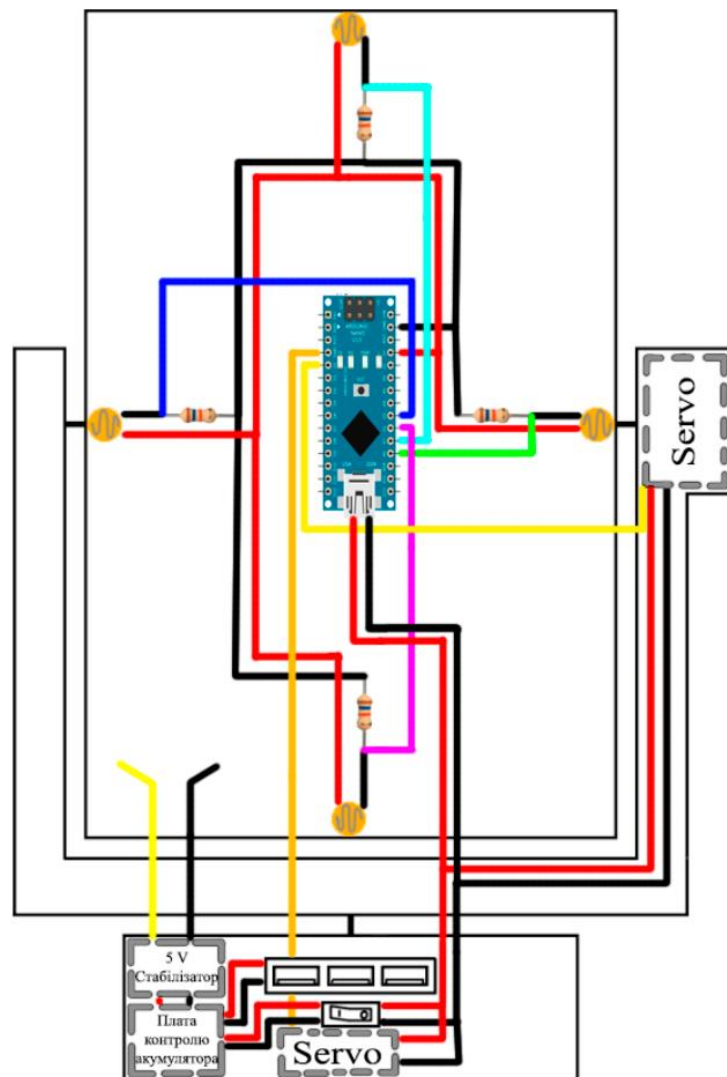


Рисунок 3.5 – Схема пристрою в корпусі

Ця конструкція корпусу максимально проста. У разі необхідності цей корпус буде легко доробити, зокрема додати декоративні елементи, адаптувати його до нових умов експлуатації. Окрему увагу необхідно приділити внутрішній організації простору корпусу. Зокрема, слід більш детально проробити схему розміщення проводів усередині корпусу щоб прибрати недолік.

4 ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА

Перед початком роботи пристрій необхідно правильно встановити. Його слід розташувати на відкритій місцевості, бажано на рівній поверхні, де протягом дня на сонячну панель не буде потрапляти тінь від будівель, дерев чи інших предметів, які можуть заважати ефективному захопленню сонячного світла. Перед увімкненням рекомендується переконатися, що поверхня панелі чиста, видалити з неї бруд який може знижувати продуктивність роботи системи. Після цього можна увімкнути логічну частину пристрою за допомогою перемикача.

Як тільки пристрій активується, він розпочне автоматичний процес стеження за сонцем. Мікроконтролер буде безперервно аналізувати сигнали, що надходять від фоторезисторів, і на основі цих даних керуватиме обертанням панелі. Поворот здійснюється обережно, плавними рухами і невеликими кроками, що дозволяє максимально точно орієнтувати панель у бік найбільшого освітлення. Такий алгоритм роботи забезпечує стабільну і ефективну роботу пристрою протягом усього світлового дня.

Живлення всієї системи забезпечується від акумулятора, який заряджається від сонячної панелі через стабілізатор напруги і контролер заряду. Акумулятор постачає енергію не лише для живлення логічної частини – мікроконтролера та сервопривідів – а й для зовнішніх пристроїв, що підключаються через USB-порти. Завдяки тому, що сила струму, яку виробляє сонячна панель, суттєво перевищує споживання логічної частини пристрою, акумулятор при ясній погоді безперервно накопичує заряд. Саме тому пристрій доцільно залишати на відкритому місці протягом усього дня, щоб акумулятор встиг накопичити достатньо енергії для подальшого використання вночі. Після заходу сонця, коли сонячне світло більше не надходить на панель, накопичена енергія акумулятора може використовуватися для заряджання мобільних пристроїв через USB-порти

або для живлення інших приладів. Пристрій чудово підходить для роботи разом із світлодіодними лампами, оскільки така комбінація дозволяє створити повністю автономну систему освітлення. Протягом дня акумулятор заряджається від сонячної енергії, а вночі живить лампи, забезпечуючи стабільне та економне освітлення без потреби підключення до загальної електромережі.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено пристрій для автоматичного стеження за сонцем із сонячною панеллю під керуванням мікроконтролера. У конструкції використовуються сервопривіди, фоторезистори та мікроконтролер на базі Arduino Nano, що дозволяє точно орієнтувати панель у напрямку максимального освітлення протягом дня. Живлення пристрою забезпечується від акумулятора, який заряджається сонячною енергією; накопичений заряд можна використовувати для живлення зовнішніх пристроїв або систем освітлення.

Було змодельовано та зібрано працездатну конструкцію. У цій конфігурації каркас пристрою не має зовнішньої декоративної оболонки, що впливає на його зовнішній вигляд. Використані компоненти є бюджетними та доступними за ціною.

Для роботи пристрою було створено програмне забезпечення, яке забезпечує стабільну роботу системи та є уніфікованим для використання з різними моделями фоторезисторів і сервопривідів. У разі заміни цих компонентів програмний код потребуватиме лише мінімальних калібрувань без суттєвих змін.

Подальші можливості модернізації пристрою включають заміну сонячної панелі на більш потужну, розробку естетичного та зручного корпусу в якому проводи не будуть заважати обертатися на 360 градусів, а також створення системи швидкої заміни або доповнення кількості акумуляторів для підвищення автономності роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Journal.vencon.ua: Чому вибухає акумулятор: причини і як цього уникнути [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL:https://journal.vencon.ua/ua/pochemu-vzryvayutsya-akkumulyatory](http://www.journal.vencon.ua/ua/pochemu-vzryvayutsya-akkumulyatory)
2. Elprocus.com: Difference between ESP32 vs Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL:https://www.elprocus.com/difference-between-esp32-vs-arduino/](http://www.elprocus.com/difference-between-esp32-vs-arduino/)
3. Docs.Arduino: Servo [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL: https://docs.arduino.cc/libraries/servo/](http://docs.arduino.cc/libraries/servo/)
4. Prom.ua: Каталог сонячних панелей Cclamp [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL:https://prom.ua/Cclamp.html?category=52806](http://www.prom.ua/Cclamp.html?category=52806)
5. Mini-Tech.co.ua: Сервопривід SG90 micro servo 9g [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL: https://www.mini-tech.com.ua/ua/servomotor-sg90](http://www.mini-tech.com.ua/ua/servomotor-sg90)
6. uk.wikipedia.org: Фоторезистор [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/Фоторезистор](http://www.uk.wikipedia.org/wiki/Фоторезистор)
7. Instructables: Arduino and LDR [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www/ URL: https://www.instructables.com/Arduino-and-a-LDR-Light-Dependent-Resistor/](http://www.instructables.com/Arduino-and-a-LDR-Light-Dependent-Resistor/)