Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____Автоматики і комп'ютеризованих технологій_____
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____перший (бакалаврський)_____

_____Розробка системи керування автономного мобільного робота_ _____
_____
(тема)

Виконав:
студент _IV_ курсу, групи _АКТАКІТ-20- 3___
Стеценко Катерина Костянтинівна_____
(прізвище, ініціали)

Спеціальність _151_____Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології_____
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми ___Освітньо-професійна_____
Освітня програма _____Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології_____
(повна назва освітньої програми)

Керівник ___проф. Євсєєв В.В._____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ ___Невлюдов І.Ш.__
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«____»_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Стеценко Катерині Костянтинівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи керування автономного мобільного робота

затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 544 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 11 06 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Пусковий струм для АМР = 2А, напруга = 5,25 В, реалізація функції сплячого режиму, освітленість приміщення = 958 Люкс.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз сучасних автономних мобільних роботів; 4.3 Розробка макету автономної мобільної роботи; 4.4 Розробка системи управління автономного мобільного робота; 4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt). – с. Формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання 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	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних автономних мобільних роботів	01.04.2024	виконано
2	Розробка макету автономної мобільної роботи	10.04.2024	виконано
3	Розробка системи управління автономного мобільного робота	12.04.2024	виконано
4	Експериментальне підтверження	14.04.2024	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	18.05.2024	виконано
6	Подання роботи на рецензію	31.05.2024	виконано
7	Подання роботи на підпис зав.кафедри	11.06.2024	

Дата видачі завдання 01 04 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ Професор Євсєєв В.В
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент(ка) ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на віповідне джерело.

" 11" червня 2024 р. Стеценко К.К.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 5 табл., 46 рис., 2 дод., 32 джерела.

АВТОНОМНИЙ МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ.

Мета роботи – розробка експериментального макета автономного мобільного робота на альтернативному живленні, для забезпечення збільшення автономного часу його роботи.

Об’єкт розробки – процес альтернативного живлення автомного мобільного робота.

Предмет розробки – методи, алгоритмічне та програмне забезпечення керуванням автономним мобільними роботи.

В даній кваліфікаційній роботі приведено аналіз сучасних автономних мобільних роботів було розглянуто їх конструкцію, системи керування та методи альтернативного живлення. В результаті аналізу було обрано сонячну енергію як джерело енергії.

Розроблено загальну структурну схема, вибрано апаратні модулі та на їх основі розроблено схему підключення. Для перевірки функціональності та демонстрації роботи апаратних модулів в автономному режимі було використано середовище моделювання Tinkercad.

На основі підготовленої структурної схеми та апаратної бази було створено макет автономного мобільного робота. Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення для керування пристроєм.

Проведене експериментальне дослідження розкрило реальні межі часу автономної роботи макета.

ABSTRACT

The explanatory note contains 79p., 5 tables, 46 drawings, 2 pp., 32 sources.

AUTONOMOUS MOBILE ROBOT, ALTERNATIVE POWER SOURCE, SOLAR ENERGY.

The aim of the work is to develop an experimental model of an autonomous mobile robot on alternative power supply to increase its autonomous operation time.

Object of development - the process of alternative power supply of an autonomous mobile robot.

Subject of development - methods, algorithmic and software for controlling an autonomous mobile robot.

In this qualification work, an analysis of modern autonomous mobile robots is presented, their design, control systems and methods of alternative power supply are considered. As a result of the analysis, solar energy was chosen as an energy source.

A general block diagram was developed, hardware modules were selected, and a wiring diagram was developed on their basis. The Tinkercad modelling environment was used to test the functionality and demonstrate the operation of the hardware modules in an offline mode.

Based on the prepared block diagram and hardware base, a mock-up of an autonomous mobile robot was created. An algorithm and software for controlling the device were developed.

The experimental study revealed the real limits of the model's autonomous operation time.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень 9
Вступ 10
1 Аналіз сучасних автономних мобільних роботів 13
1.1 Аналіз конструкцій автономних роботів 13
1.2 Аналіз систем керування автономних роботів 15
1.3 Аналіз методів альтернативного живлення автономних мобільних роботів 21
2 Розробка макету автономного мобільного робота 24
2.1 Розробка загальної структурної схеми автономного мобільного робота 24
2.2 Вибір апаратних модулів 26
2.3 Розробка схеми підключення 35
2.4 Розрахунок системи управління серводвигунами з зворотнім зв'язком 37
2.5 Моделювання автономного мобільного робота в середовищі Tinkercad 40
2.6 Збірка макету автономного мобільного робота 43
3. Розробка програми управління автономного мобільного робота 47
3.1 Вибір середи розробки 47
3.2 Розробка загального алгоритму роботи 51
3.3 Розробка алгоритму позиціонування сонячних панелей 53
3.4 Реалізація руху серводвигунами сонячних панелей 55
3.5 Компіляція та прошивання системи управління автономного мобільного робота 59
3.6 Проведення експерименту 61
3.7 Розрахунок освітлення 63

Висновки 67
Перелік джерел посилань 69
Додаток А Лістинг програми для керування автономного мобільного робота.. 73
Додаток Б Демонстраційний матеріал у вигляді презентацій 78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AMR – Автономний мобільний робот;

BEAM – Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics;

MP – Mobile platform;

RTC – Real time clock;

SLAM – Simultaneous localization and mapping;

SP – Solar panel;

USB – Universal Serial Bus.

ВСТУП

У наш час роботи стають все більш важливими, наближаючись до рівня людської інтелігенції та функціональності. Їх існування вимагає відповідності високим стандартам безпеки та ефективності, зокрема, у забезпеченні логічного та часового контролю, а також управління в обмеженому реальному часі. Здатність працювати самостійно, накопичувати та ефективно використовувати енергію для свого існування, а також приймати рішення на основі отриманих даних стають ключовими характеристиками сучасних автономних систем.

Автономні роботи, що є яскравим прикладом таких систем, складаються з комплексу електронних механізмів, що взаємодіють та співпрацюють з численними програмними компонентами. Ці компоненти поступово перетворюються на єдиний організм, здатний до самостійного функціонування та аналізу навколишнього середовища.

Створення автономного мобільного робота відкриває широкі можливості для дослідження різних методів альтернативного живлення та аналізу їх ефективності у практичних умовах. Аналізуючи їхню працездатність та продуктивність, є можливісь виявити їх сильні та слабкі сторони, а також визначити шляхи подальшого вдосконалення та оптимізації.

Таким чином метою кваліфікаційної роботи є розробка експериментального макета автономного мобільного робота на альтернативному живленні, для забезпечення збільшення автономного часу його роботи.

Об’єкт розробки – процес альтернативного живлення автомного мобільного робота.

Предмет розробки – методи, алгоритмічне та програмне забезпечення керуванням автономним мобільними роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– аналіз існуючих конструкцій автономних систем та систем керування автономними мобільними роботами;

– аналіз існуючих автономних систем та аналіз альтернативного живлення;

– вибір компонентів та на їх базі, здійснення розробки структурної схеми;

– розробка схеми підключення;

– розробка макету, його моделювання та створення алгоритму пошуку світла;

– збірка макету для проведення експеременту;

– розробка алгоритму позиціювання сонячних панелей;

– проведення дослідження часу життєздатності автономного робота.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], використовуючи навчальний посібник з дипломного проекту [2] та методичні вказівки [3].

Робота виконана відповідно до програми двостороннього міжнародного співробітництва укладеному між Харківським національним університетом радіоелектроніки та Навчальним закладом Кельнський університетом (Universität zu Köln) та Вищою технічною школою (Technische Hochschule Köln) за «Програмою професійного навчання в межах академічної мобільності студентів факультету Автоматики і комп’ютеризованих технологій Харківського національного університету радіоелектроніки», в рамках «InnoBioDiv» – інноваційного дослідження взаємодії рослин і середовища в мінливому кліматі, що поєднує біологію та сучасні технології Інтернету речей, проєкту «Plant-Ukraine» із залученням Харківського національного університету радіоелектроніки та Навчальних закладів Кельнський університет (Universität zu Köln) та Вищої технічної школи (Technische Hochschule Köln) за «Програмою професійного навчання в межах академічної мобільності студентів факультету Автоматики і комп’ютеризованих технологій Харківського національного університету радіоелектроніки». В ході проєкту було створено

автоматизовану систему поливу рослин із використанням роботизованої системи FarmBot та мови програмування Python.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

1.1 Аналіз конструкцій автономних роботів

Автономні роботи призначені для виконання завдань високого рівня самостійно або з дуже обмеженим зовнішнім контролем. В більшості випадків працюють у невизначеному і мінливому в часі середовищі, повинні відповідати обмеженням реального часу, щоб працювати належним чином, часто взаємодіють з іншими агентами, як з людьми, так і з іншими машинами. Приклад структурної схеми для автономного мобільного робота вказано на рисунку 1.1.

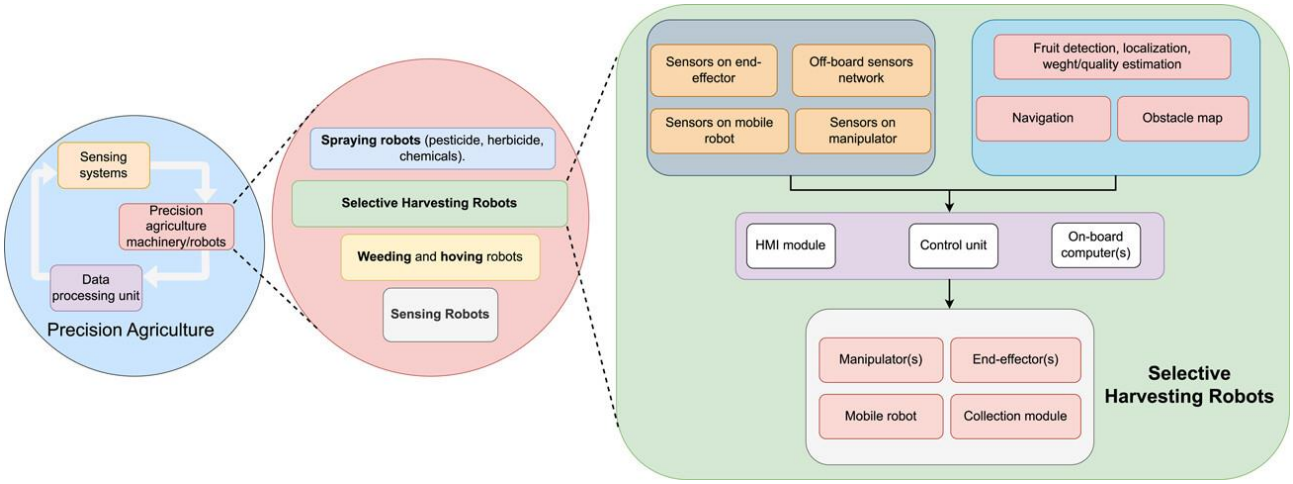


Рисунок 1.1 – Структурна схема автономних мобільних роботів [4]

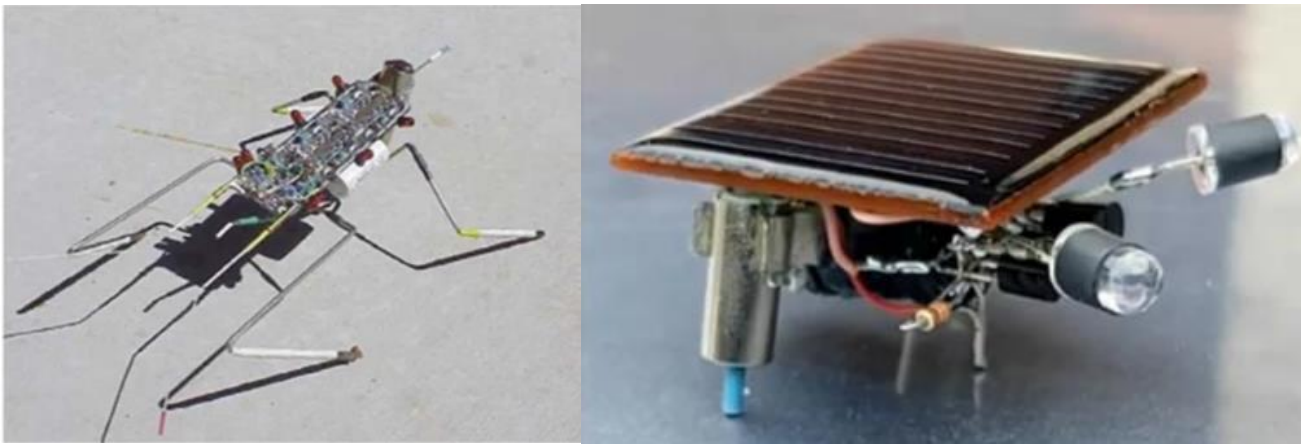
В переважній більшості автономні роботи спроектовані з включанням великої кількості датчиків, які надають змогу самостійно приймати рішення згідно прописаного сцинарію, орієнтуючись на зміни в оточенні. Це можуть бути камери, відстанцеві датчики, датчики температури, вологості, а також датчики зіткнень та виявлення об'єктів.

Вони використовують штучний інтелект під назвою SLAM (одночасна локалізація і картографування англійською мовою). Це дає їм змогу визначати своє місцезнаходження, уникати перешкод (об'єктів або людей), які, можливо, не були нанесені на карту на етапі дослідження, та оптимізувати свої маршрути.

Для постійного живлення своїх систем автономні роботи використовують альтернативні джерел живлення, сонячні панелі або інші джерела енергії. Це дозволяє їм працювати довгий час без зовнішнього живлення.

Конструкція автономного робота досить міцна та стабільна, для змоги безвідказно працювати в різноманітних умовах роботи, включаючи нерівні поверхні та перешкоди на шляху. Часто даний вид роботів об’єднують в мультиагентні групи для досягнення спільної мети.

Як приклад автономних роботів існують BEAM (рис. 1.2), зазвичай роботи такого конструкційного рішення мають непривабливий дизайн схожий на комах або просто достеменний вигляд з тваринними частинами тіла [5].



а) б)

а) BEAM robot with an insect-like shape [6];

б) Robot BEAM Photopoper [6]

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд типових автономних роботів

Це робиться для того, щоб імітувати реакцію на зовнішні подразники аналогічно до того, як це відбувається з біологічними об’єктами та адаптуватися під обставини.

Для того, щоб самостійно існувати загалом, використовують природні, само відновлювані джерела енергії такі, як сонце (сонячні панелі), тепло (термоелектричні генератори), механічну енергію (рух робота може створювати енергію, яка може бути перетворена на електричну енергію за допомогою генераторів) та інше. Різноманітні джерела енергії для змоги знаходитися в робочому стані, спираючись на біологічні інспірації та екологічно стійкі рішення, сприяють створенню біомехатронних систем, які можуть працювати в різних умовах.

Прийняття рішення має здійснюватися без прямого втручання людини в процес життедіяльності автономного робота. Різноманітні сенсори можуть бути використані для аналізу оточуючого середовища та прийняття відповідного рішення, основуючись на отриманих даних. Механізми можуть оснащуватися простими датчиками, такими як фоторезистори або механічні датчики.

Одним із важливих аспектів є ефективне використання отриманої енергії. Автономні роботи повинні бути здатні ефективно керувати своєю енергією та використовувати її для максимально продуктивних дій. Можуть бути використані апаратні рішення з використанням RTC або датчиків току та напруги, які допоможуть зрозуміти в якому стані знаходитися механізм.

Автономні роботи, що базуються на принципах BEAM, має обмежений функціонал, який включає в себе тільки дії без яких не можливо аналізувати чи отримувати енергію.

1.2 Аналіз систем керування автономних роботів

Системи управління автономних роботів відіграють ключову роль у майбутніх вдосконаленнях конструювання та керування роботами, оскільки

сприяють зменшенню втручання людини у процес роботи, підвищенню ефективності праці в несприятливих умовах, де управління на малих відстанях, пряме втручання неможливо або небезпечно.

Для того, щоб система мала змогу приймати рішення та була автономною в ній повинно міститися велика кількість сенсорів та датчиків для збору інформації про навколишнє середовище. Як приклад для визначення положення та орієнтації в просторі можуть бути використані гіроскопи та акселерометри, ультразвукові сенсори для відзначення відстаней до об'єктів або огороджень, термосенсори для аналізу теплового стану, фоторезистори для моніторингу освітленості та інше [7-8].

Системи керування роботами можуть поділятися на такі чотири види: обмежене послідовне керування, керуванням з відтворенням, програмне керування и інтелектуальне керування.

Обмежене послідовне керування – це метод керування промисловими роботами, при якому послідовні команди відправляються роботові, і він виконує їх послідовно без можливості одночасного виконання кількох завдань або оптимізації процесу виконання, прикладом може слугувати ABB IRB 2600 (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 – ABB IRB 2600 [9]

ABB IRB 2600 має програмований маршрут для збору деталей на конвеєрі, переміщення їх до визначених місць і складання їх в кінцевий виріб. Він не може змінювати свій маршрут або реагувати на перешкоди на шляху в реальному часі. Даний вид керування використовується в тих випадках, коли необхідно точне виконання певних послідовних дій без перерви або інтервенції.

Обмежене послідовне керування може бути ефективним у випадках, коли робот виконує дії у структурованих та передбачуваних умовах, де відомо, що не виникатимуть непередбачені ситуації або перешкоди. Однак він може бути менш ефективним у складних, змінних або непередбачуваних середовищах, де потрібна більша гнучкість та можливість адаптації.

Керуванням з відтворенням – це метод керування промисловими роботами, який полягає в записі послідовності дій, які виконує робот, і подальшому відтворенні цієї послідовності при необхідності. У цьому методі робот спочатку навчається виконувати певну послідовність дій шляхом запису цих дій з датчиків або спеціальної програми. Потім, коли потрібно виконати ту саму послідовність дій, робот може відтворити цю послідовність безпосередньо зі запису, не потребуючи введення нових команд в реальному часі.

Робот-візок на складських приміщеннях дозволяють автоматизувати процеси транспортування вантажів і підвищити швидкість, і якість їх обробки (рис. 1.4). Робот-візок власної розробки і збірки компанії Konsort призначений для перевезення вантажів вагою до 400 кг по території складу. Як приклад, даний вид робота виконує послідовні дії за для транспортування предметів по вказаним координатам по осям.

Метод часто використовується у випадках, коли послідовність дій робота є стандартною або повторюваною, і немає потреби в постійному контролі чи корекції. Наприклад, виробничі лінії, де роботи виконують однотипні завдання, можуть використовувати керування з відтворенням для автоматизації процесів виробництва. Дозволяє економити час та забезпечує стабільність виконання

завдань робота. Однак він може бути менш ефективним у випадках, коли потрібна гнучкість або адаптація до змінних умов чи завдань.

Рисунок 1.4 – Візок транспортувальний Unicraft VTR 12 [10]

Програмне керування – це метод керування промисловими роботами, при якому управління роботом здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення. В цьому випадку оператор або інженер програмує послідовність дій для робота, які потім виконуються автоматично без прямого втручання (рис. 1.5).

Один із конкретних прикладів цього типу робота – Kiva Systems. Ці роботи використовуються для автоматизації складських операцій. Вони програмуються для переміщення товарів від місця зберігання до місця вивантаження на основі попередньо заданих інструкцій та інформації про потрібні товари. Програмне керування дозволяє їм реагувати на зміни у складському середовищі та виконувати різноманітні завдання з високою точністю та ефективністю.

Програмне керування дозволяє створювати складні та гнучкі алгоритми керування, які можуть враховувати різноманітні умови та завдання. Воно дозволяє роботам виконувати різноманітні завдання, включаючи рух по заданим траєкторіям, збирання та обробку інформації з сенсорів, взаємодію з оточуючим середовищем тощо.

Рисунок 1.5 – Kiva robot [11]

Основні переваги програмного керування включають гнучкість, швидкість налаштування та змін, можливість автоматизації складних процесів та адаптації до різних умов роботи. Однак воно може вимагати значних знань програмування та високої кваліфікації операторів, а також зазнає впливу ризику програмних помилок.

Інтелектуальне керування – це метод управління промисловими роботами, який використовує різноманітні алгоритми та технології штучного інтелекту для прийняття рішень та адаптації до змінних умов роботи. Зазвичай цей підхід базується на використанні алгоритмів машинного навчання, нейронних мереж, еволюційного програмування та інших методів інтелектуального аналізу даних (рис. 1.6).

Spot володіє інтелектуальними функціями, такими як навігація в невідомих середовищах, визначення місцеположення об'єктів, уникнення перешкод і навіть виконання завдань у співпраці з іншими роботами. Його інтелектуальне керування базується на штучному інтелекті та алгоритмах

машинного навчання, що дозволяє йому адаптуватися до різноманітних сценаріїв і завдань.

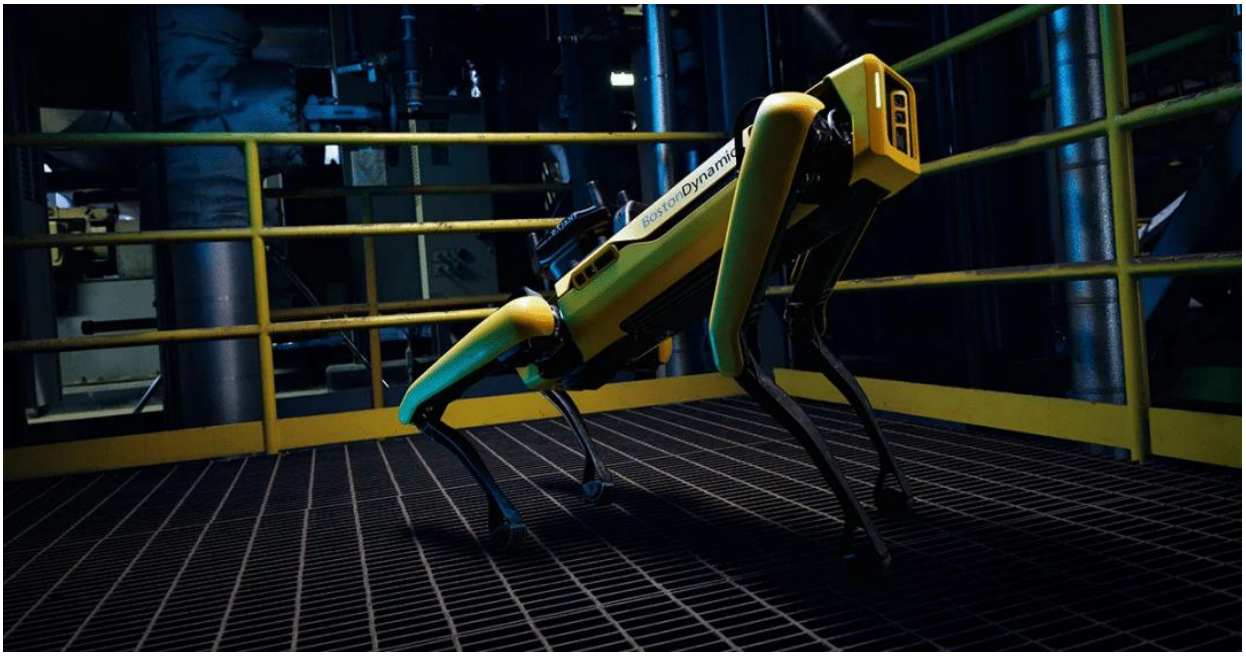


Рисунок 1.6 – Boston Dynamics Spot [12]

Основна ідея інтелектуального керування полягає в тому, щоб робот міг навчитися робити рішення на основі аналізу великої кількості даних та досвіду. Це дозволяє роботам адаптуватися до нових ситуацій, швидко вирішувати складні завдання та оптимізувати свою роботу.

Інтелектуальне керування може бути застосоване в різних галузях промисловості, включаючи виробництво, логістику, медицину, агропромисловий комплекс та інші. Воно дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати та покращити якість виробництва за рахунок автоматизації процесів та оптимізації управління.

У цілому, системи керування автономними роботами є ключовим компонентом для досягнення їхньої ефективності та успішності в різних сферах застосування. Розвиток цих систем допоможе вирішувати складні завдання та сприятиме подальшій автоматизації різних процесів у промисловості та інших галузях.

1.3 Аналіз методів альтернативного живлення автономних мобільних роботів

В рамках аналізу методів альтернативного живлення автономних мобільних роботів, особлива увага приділяється сонячній енергії. Використання сонячних панелей у якості джерела енергії виправдано через їхню практичність, довговічність та мінімальну потребу у технічному обслуговуванні. Це робить їх ефективним та економічно вигідним рішенням для живлення роботів у різних сферах, включаючи промисловість, побут та технології.

Автономні роботи на сонячних батареях призначені для навігації та проходження заданого маршруту, використовуючи сонячну енергію як основне джерело живлення. Вони використовують сонячні панелі для збирання сонячного світла і перетворення його в електричну енергію, яка живить їхні бортові системи і забезпечує рух по заданому маршруту. Концепція роботів на сонячних батареях, а саме роботів-слідопитів, поєднує в собі дві основні технології: робототехніку і сонячну енергію.

Роботи зазвичай мають датчики, двигуни і системи управління, які дозволяють їм виявляти і відстежувати певну траєкторію та коригувати свої рухи відповідно. Вони можуть використовуватися для різних завдань, таких як спостереження, моніторинг, сільськогосподарські роботи та навіть освітні цілі. Основним компонентом роботів-слідопитів на сонячних батареях є сонячна панель або масив сонячних панелей, які знаходяться на корпусі робота для максимального поглинання сонячного світла. Панелі містять фотоелектричні елементи, які перетворюють сонячну енергію в електричну.

Вироблена електроенергія зберігається в акумуляторах або конденсаторах, забезпечуючи живлення систем робота, включаючи його двигуни, датчики та схеми управління.

Роботи-слідопити на сонячних батареях (рис. 1.7) мають кілька переваг. Перш за все, вони використовують відновлювану енергію сонця, зменшуючи

або усуваючи потребу в зовнішніх джерелах живлення або частій заміні батарей. Вони не завдають шкоди навколишньому середовищу, оскільки під час роботи виробляють нульові викиди вуглекислого газу. Більше того, роботи на сонячних батареях можуть працювати протягом тривалого часу без ручного втручання, якщо є достатня кількість сонячного світла. Це робить їх ідеальними для застосування у віддалених або автономних місцях.

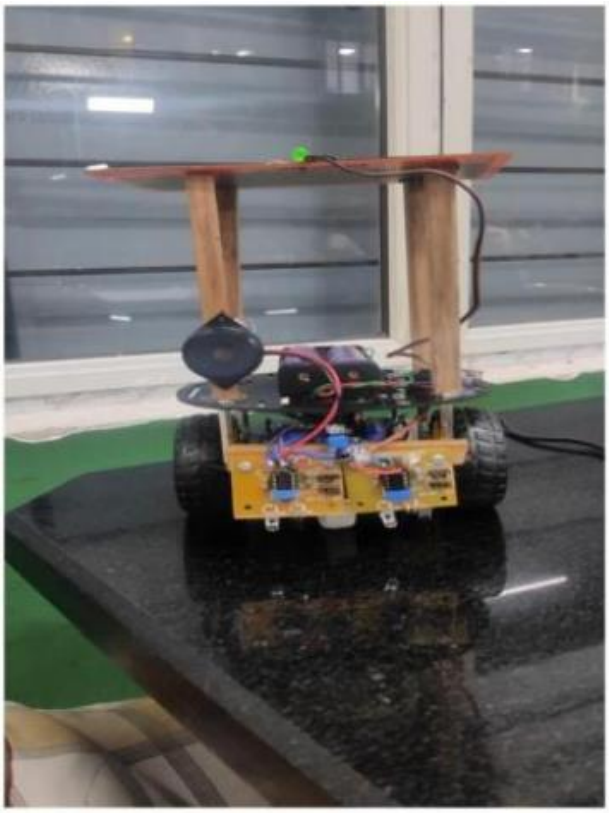


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд робота-слідопита на сонячних батареях [13]

Таким чином, роботи-слідопити на сонячних батареях поєднують в собі концепції робототехніки та сонячної енергії для створення автономних роботів, здатних переміщатися по заздалегідь визначеним маршрутам. Використовуючи енергію сонця, ці роботи можуть працювати ефективно і стабільно, що робить їх перспективним рішенням для різних галузей і застосувань.

Механічна конструкція робота зосереджена на стабільності, довговічності та інтеграції з сонячними панелями, акумуляторами, датчиками та системами

управління. Компактна і легка конструкція забезпечує ефективне виконання завдань з відстеження траєкторії руху.

Недоліками даного роботу є недостатньне позиціювння сонячних панелей, що є не ефетривним з точки зору сбору та накопиченню сонячної енргії для живлення.

Робот-слідопит не має можливості переходити в режим сну або виходити з нього, коли він не виконує активних завдань. Це призводить до постійного споживання енергії, навіть коли робот знаходиться в стані очікування.

2 РОЗРОБКА МАКЕТУ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

2.1 Розробка загальної структурної схеми автономного мобільного робота

Для початку було розроблено структурну схему системи управління автономного мобільного робота, яка зображує впровадження різноманітних компонентів, які забезпечують рух, сприймання навколишнього середовища, а також джерела живлення (рис. 2.1).

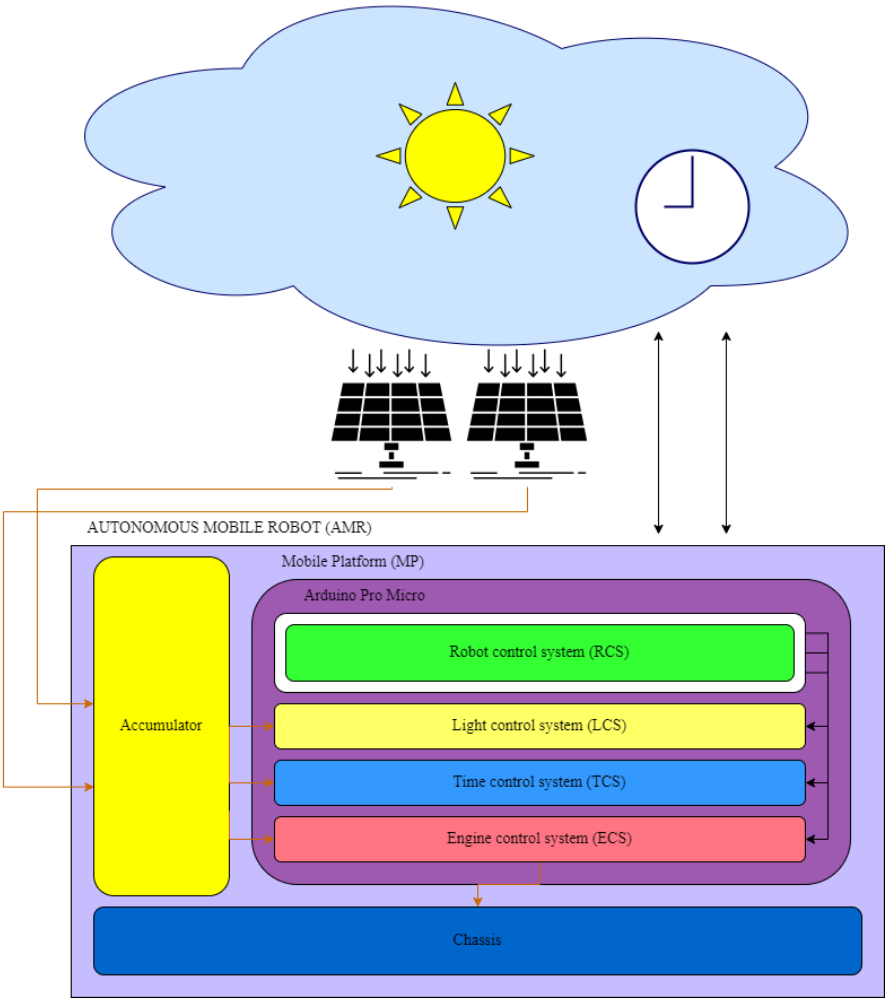


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи управління автономного мобільного робота

Дана структурна схема включає в себе перечень наступних компонентів:

– Solar panel – цей апаратний модуль відповідає за збір сонячної енергії та її перетворення на електричну енергію для живлення робота. Використання сонячних панелей є ключовим у розробці автономних роботів, оскільки це дозволяє їм працювати, відновлюваною енергією;

– Accumulator – забезпечує можливість зберігання електричного заряду, який використовується для живлення робота у тих випадках, коли сонячна панель не забезпечує достатньої енергії;

– Chassis – цей апаратний модуль відповідає за рухову платформу робота і включає в себе направлені колеса, що дозволяють роботу маневрувати у пошуках джерела енергії;

– Engine control system – даний модуль відповідає за керування рухом двигунів, забезпечуючи роботу здатність до переміщення та маневрування. Він приймає команди від мікроконтролера та керує швидкістю та напрямком руху робота;

– Light control system – цей компонент включає в себе фоторезистори для моніторингу рівня освітленості та серводвигуни, які налаштовують положення панелей для оптимального збору сонячної енергії;

– Time control system – модуль містить у собі годинник реального часу (RTC), який визначає поточний час та дозволяє роботу здійснювати переключення між режимами роботи та "сну" в залежності від графіка та обставин;

– Robot control system – даний апаратний модуль відповідає за аналіз та контроль всього процесу функціонування робота, забезпечуючи його ефективну роботу та взаємодію з навколишнім середовищем.

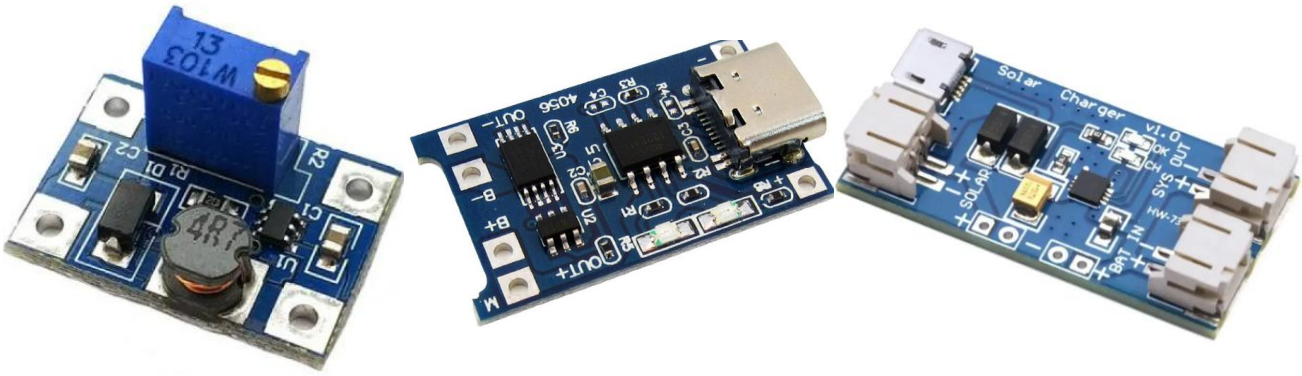
Ця структурна схема візуалізує взаємозв'язок між усіма компонентами робота та їхнє функціональне призначення, що дозволяє роботу ефективно працювати в автономному режимі та забезпечує його здатність до пошуку та використання сонячного джерела.

2.2 Вибір апаратних модулів

Визначення компонентів для створення автономного мобільного робота – одне з перших завдань, яке вимагає ретельного підбору компонентів, які оптимально поєднують біологічні принципи, технічні характкристики та ціну. Визначення правильної комбінації компонентів мало вирішальне значення для досягнення максимальної ефективності та надійності.

Панель перетворює сонячне випромінювання в електричну енергію, яка використовується для живлення та зарядки акумуляторів. Це не тільки забезпечує енергію для пошуку світла, але й дозволяє роботу працювати в режимі слабкого освітлення.

Автономний робот отримує енергію від сонячних панелей розміром 80 мм x 45 мм з вихідною напругою 5 В, для того щоб обрати модуль (рис. 2.2), який найкраще підходить під дані умови, було розроблено таблицю для порівняння (табл. 2.1).



а) б) в)

а) модуль SX1308 [14];

б) модуль Li-ion 1S TP4056 Type-C [15];

в) модуль Li-Ion 1S CN3065 [16]

Рисунок 2.2 – Модулі для перетворення сонячної енергії в електричну

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик модулів заряджання

№	Характеристики	SX1308 [14]	Li-ion 1S TP4056 [15]	Li-Ion 1S CN3065 [16]
1	Вхідна напруга	2 - 24 В	4 - 8 В	4,4 - 6 В
2	Вихідна напруга	5 - 28 В	4,2 В	4,2 В
3	Максимальна сила струму	4А	1А	500 мА
4	Вбудований контролер заряду	Так	Так	Так
5	ККД	90 - 95%	85 - 90%	80 - 85%
6	Тип підключення	Клеми	USB Type-C	Клеми
7	Розміри	23 мм х 16 мм х 13 мм	26 мм х 18 мм х 4 мм	20 мм х 40 мм
8	Ціна	~ 24 грн.	~ 30 грн.	~ 78 грн.

Експериментальним шляхом було виявлено, що сонячні панелі надають 0,1 мА в гарних умовах, тому вибір було зупинено на SX1308.

SX1308 призначений для роботи з джерелами енергії, такими як сонячні панелі, а також джерелами постійного струму. Він є ефективним контролером заряду, який дозволяє оптимально використовувати енергію, зібрану від сонячних панелей або інших джерел. Через свої функціональності та надійності модуль SX1308 дозволяє максимізувати використання доступної енергії та забезпечує стабільне живлення для пристроїв, які працюють в умовах обмеженого джерела енергії. Він порівняно з іншими має вищий ККД (90-95%)

порівняно з іншими модулями, що означає менші енергетичні втрати під час зарядки або роботи пристрою.

Використання серводвигунів дозволяє роботу оптимально розташувати сонячну панель вертикально та горизонтально, щоб максимізувати збір сонячної енергії (рис. 2.3). Для цього було обрано SG90 і SG92R, які порівняно в таблиці 2.2.

а) б) в)

а) серводвигун SG90 [17];

б) серводвигун SG92R [18];

в) серводвигун EMAX ES08MA II [19]

Рисунок 2.3 – Серводвигуни для руху сонячних панелей

Таблиця 2.2 – Порівняння характеристик серводвигунів

№	Характеристики	SG90 [17]	SG92R [18]	EMAX ES08MA II [19]
1	2	3	4	5
1	Обертаючий момент	2 кг/см	2,5 кг / см	1,6 - 2 кг/см
2	Робоча напруга	3,5 - 5 В	4,8 В	4,8 - 6,0 В
3	Робочий струм	5 мА	5 мА	5 мА

Продвження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
4	Розміри	33 мм x 30 мм x 13 мм	23 мм x 12,2 мм x 27 мм	23 мм x 11,5 мм x 24 мм
5	Ціна	~ 69 грн.	~ 78 грн.	~ 441 грн.

Порівнюючи SG90 і SG92R, можна побачити, що SG90 має менший обертаючий момент (2 кг/см), ніж SG92R (2,5 кг/см), що може бути недоліком при русі або пресуванні важких об’єктив, де потрібна більша сила. Однак SG90 працює в широкому діапазоні напруги (3,5-5 В), що буде зручно для реалізації моделі автономного мобільного робота, де використовується джерело з різною потенціально різною напругою при певних умовах.

SG90 має дещо нижчу ціну порівняно з альтернативою SG92R. Це робить його більш доступним для використання у даному проекті з обмеженим бюджетом.

SG90 має низьке споживання енергії, всього 5 мА. Це означає, що він ефективно використовує енергію і може працювати довше від батарей або акумуляторів. Розміри SG90 (33 мм x 30 мм x 13 мм) дозволяють легко і зручно інтегрувати його в конструкцію сонячних панелей без значного збільшення їх розмірів. Навіть з меншим обертаючим моментом порівняно з SG92R, SG90 все ще може виконувати більшість завдань, пов'язаних з рухом сонячних панелей, особливо в зв'язку з його низькими вимогами до енергії та широким діапазоном напруги.

Отже, у контексті запланованого проекту з рухом сонячних панелей, серводвигун SG90 видається кращим вибором з огляду на свою вартість, ефективність і можливості роботи в різних умовах.

Щоб отримувати дані про освітленість навколо сонячних панелей, було вирішено користуватися чотирма фоторизисторами. Вибрані датчики визначають здатність робота взаємодіяти з навколишнім середовищем.

Використання фоторезисторів для реагування на світло створює можливість для робота реагувати на зовнішні подразники, тобто вони використовуються для визначення освітленості по периметру панелі, передають інформацію на Arduino, який аналізує інформацію для визначення ступеня обертання серводвигунів. Оптимальне розміщення цих датчиків дозволяє роботу ефективно взаємодіяти з навколишнім світом і виконувати заплановані завдання.

Керування всього механізму – це найважливіша задача для змоги правильно та точно виконати задані умов, тому було ретельно підібрано варіанти плат для робота (рис. 2.4), які занесені в таблицю 2.3.

Мікроконтролер Arduino Micro Pro має достатню потужність та функціональність для ефективного керування всіма необхідними компонентами вашого проекту. Вона має достатньо вбудованих ресурсів для програмування складних алгоритмів керування рухом, обробки сигналів від фоторезисторів та роботи з RTC.

Arduino Micro Pro сумісна з Arduino IDE та іншими середовищами програмування, що робить її дуже зручною для розробки програмного забезпечення. Вона також має достатньо портів вводу/виводу для підключення всіх необхідних датчиків та пристроїв.

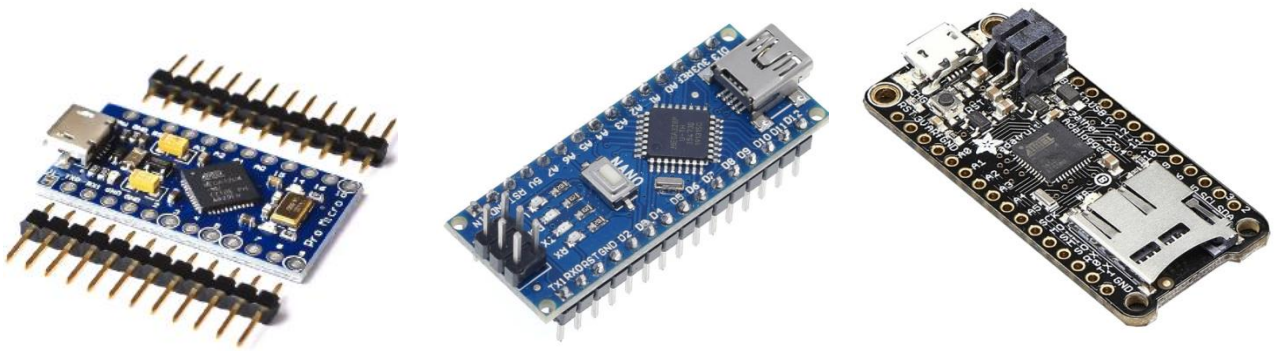
Arduino Micro Pro відома своєю надійністю та стабільністю роботи, що робить її ідеальним вибором для стабільних проектів.

Завдяки своїм компактним розмірам, Arduino Micro Pro легко може бути вбудована у конструкцію робота без зайвого об'єму.

Arduino Micro Pro користується широкою підтримкою спільноти користувачів, що означає, що ви можете знайти багато ресурсів, документації та підказок для розв'язання будь-яких проблем, які виникнуть під час розробки.

Отже, Arduino Micro Pro є оптимальним вибором для створення автономного мобільного робота, оскільки вона надійно керуватиме всіма

компонентами проекту і забезпечить ефективну роботу робота в умовах достатньої и нестатньої освітленості.



а) б) в)

а) Arduino Micro Pro [20];

б) Arduino Nano [21];

в) Adafruit feather [22]

Рисунок 2.4 – Мікроконтролери для керування BEAM-робота

Таблиця 2.3 – Порівняння характеристик мікроконтролерів

№	Характеристики	Arduino Micro Pro [20]	Arduino Nano [21]	Adafruit feather [22]
1	2	3	4	5
1	Розмір	18 мм х 33 мм	18,5 мм х 43 мм	54 мм х 23 мм
2	Мікроконтролер	ATmega32u4	ATmega328	ATSAMD21G18
3	Напруга живлення	5 В	5 В	3,3 В
4	Вбудована пам'ять	32 КБ	32 КБ	32 КБ
5	Вбудовані Інтерфейси	USB, UART, I2C, SPI, GPIO	USB, UART, I2C, SPI, GPIO	USB, UART, I2C, SPI, GPIO

Продвження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
6	Сумісність	Arduino IDE	Arduino IDE	Arduino IDE
7	Ціна	~ 250 грн.	~ 191 грн.	~ 1386 грн.

Системи аналізу часу для збору енергії (рис. 2.5), отриманої від сонячної панелі, також були проаналізовані та занесені в табл. 2.4.

а) б) в)

а) DS3231 Real Time Clock (RTC) [23];

б) PCF8563 Real Time Clock (RTC) [24];

в) DS1307 Real Time Clock (RTC) [25]

Рисунок 2.5 – Real Time Clock

Таблиця 2.4 – Порівняння характеристик RTC

№	Характеристики	DS3231 RTC [23]	PCF8563 RTC [24]	DS1307 RTC [25]
1	2	3	4	5
1	Точність	Дуже висока	Добра	Помірна
2	Інтерфейс зв'язку	I2C	I2C	I2C
3	Діапазон напруги	3,0 - 5,5В	1 - 5,5 В	4.5 – 5,5 В

Продвження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
4	Вбудована температура	Так	Ні	Ні
5	Вбудований календар	Так	Так	Так
6	Робоча температура	- 40 °C до +85 °C	- 40 °C до +85 °C	- 40 °C до +85 °C
7	Імпульс збіжності	Ні	Так	Так
8	Внутрішній регулятор	Так	Так	Ні
9	Ціна	~ 85 грн.	~ 59 грн.	~ 30 грн.

DS3231 RTC є кращим вибором з трьох RTC модулів, бо має дуже високу точність у порівнянні з іншими модулями. Його здатність забезпечувати точний час і дату з дуже малим відхиленням зробить його надійним рішенням для багатьох додатків, де критично важлива точність.

Працює в широкому діапазоні напруги, що дає більшу гнучкість при інтеграції, особливо коли використовуються акумуляторні джерела живлення.

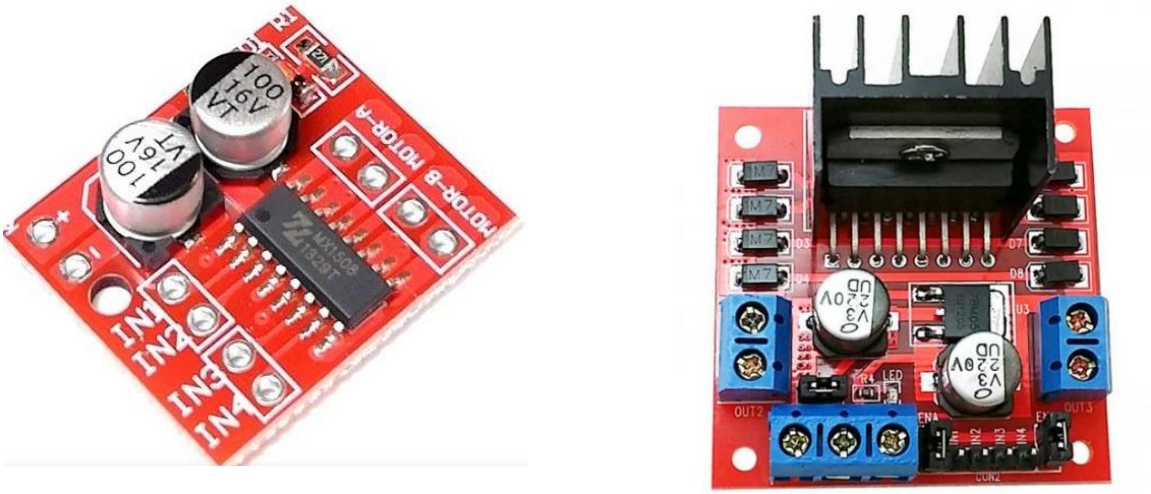
DS3231 має дуже низьке споживання енергії, що робить його ідеальним для використання в пристроях, які працюють від акумуляторних джерел живлення або від енергоефективних джерел.

Узагальнюючи, DS3231 RTC володіє високою точністю, широким діапазоном напруги, вбудованим температурним сенсором, стандартним інтерфейсом зв'язку та низьким споживанням енергії, що робить його найкращим вибором серед запропонованих RTC модулів.

Він дозволить роботу оцінювати певні часові проміжки в яких може надаватися більша кількісь єнергії для споживання її та, у разі недостатності, самостійно переходити в сплячий режим для економії ресурсу.

Сплячий режим буде активований, коли стрілка годинника перейде проміжок в вісімнадцять нуль нуль. Цей далекоглядний підхід спрямований на оптимізацію використання енергії та підвищення автономності робота в різних умовах навколишнього середовища.

Занесинні дані про драйвери для керування моторами (рис. 2.6), можливо переглянути в таблиці 2.5.



а) б)

а) Driver motor MX1508 [26];

б) Driver motor L298N [27]

Рисунок 2.6 – Motor drivers

Таблиця 2.5 – Порівняння характеристик Motor driver

№	Характеристики	Driver motor MX1508 [26]	Driver motor L298N [27]
1	2	3	4
1	Напруга живлення	2 - 10 В	5 - 35 В
2	Струм	2 А	2 А

Продвження таблиці 2.5

1	2	3	4
3	Чип	MX1508	L298N
4	Тип контролю	PWM	PWM
5	Розміри	25 мм x 21 мм x 5 мм	43 мм x 43 мм x 27 мм
6	Ціна	~ 26 грн.	~ 115 грн.

На основі представлених характеристик можна зробити висновок, що драйвер мотора MX1508 має кілька переваг порівняно з драйвером мотора L298N.

MX1508 працює в широкому діапазоні напруги від 2 В до 10 В, що дає більшу гнучкість вибору джерела живлення. У порівнянні, L298N потребує від 5 В до 35 В, що може бути обмежуючим для деяких додатків.

MX1508 має значно менші розміри (25 мм x 21 мм x 5 мм) порівняно з L298N (43 мм x 43 мм x 27 мм). Це робить MX1508 більш компактним. MX1508 значно дешевший, приблизно в п'ять разів, ніж L298N.

Отже, MX1508 може бути кращим вибором для нашого проекту, де важливі компактність, гнучкість вибору джерела живлення і низька вартість.

2.3 Розробка схеми підключення

Підсумовуючи попередній розділ з підбором компонентів, в цьому етапі роботи була розроблена схема підключення. Ця схема є важливим кроком у реалізації проекту, оскільки вона визначає спосіб взаємодії між різними компонентами системи та забезпечує їх правильну роботу.

В ході аналізу компонентів було виділено три основні групи: система збору та накопичення енергії, система аналізу навколишнього середовища та система руху.

Перша група складається з компонентів, що відповідають за систему збору та накопичення енергії. Сюди включаються сонячні панелі, модуль перетворення енергії та акумулятори, які забезпечують живлення робота та накопичують енергію для подальшого використання.

Друга група компонентів становить систему аналізу навколишнього середовища. Вона включає в себе фоторезистори та модуль RTC (Real-Time Clock), які виступають у ролі сенсорів для збору інформації про освітленість та час доби. Ця інформація допомагає роботу в прийнятті рішень щодо оптимального використання енергії та руху.

Третя група компонентів становить систему руху, що включає в себе двигуни, мотори та серводвигуни. Ці компоненти забезпечують рух та маневреність робота, дозволяючи йому виконувати різноманітні завдання, такі як пошук джерел енергії та оптимальне розташування сонячних панелей для максимального збору сонячної енергії.

Розроблена схема підключення враховує всі необхідні компоненти та їх взаємозв'язок, що дозволяє системі ефективно функціонувати у автономному режимі та досягати поставлених цілей (рис. 2.7).

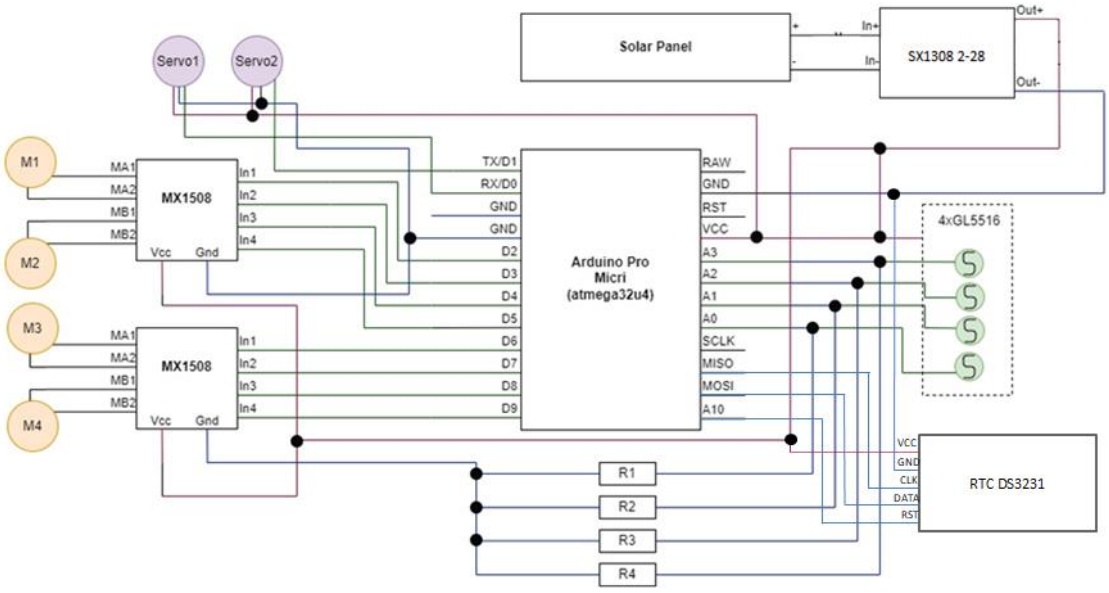


Рисунок 2.7 – Схема підключення автономного мобільного робота

2.4 Розрахунок системи управління серводвигунами з зворотнім звязком

Для серводвигуна в автономному мобільному роботі передавальна функція описує, як вихідне положення або швидкість двигуна залежить від вхідного сигналу керування. Розглянемо типову модель керування серводвигуном зі зворотним зв'язком (рис. 2.8).

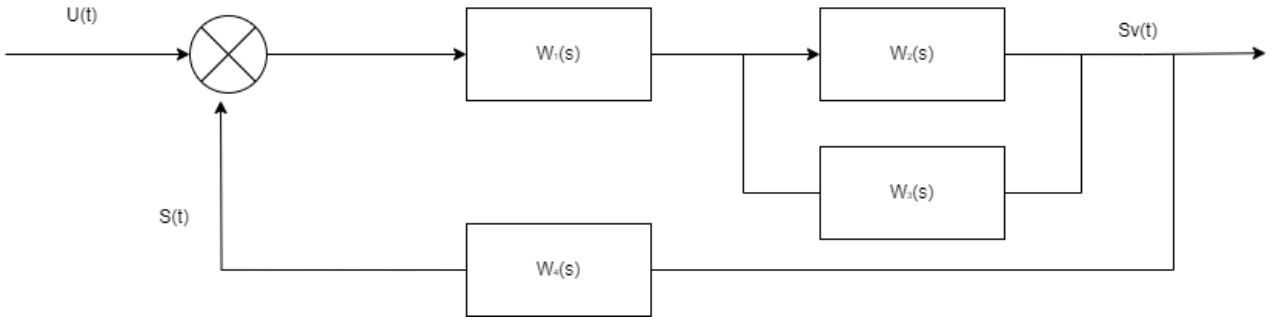


Рисунок 2.8 – Структурна схема серводвигуна з передаточною функцією для автономного мобільного робота

Суматор на схемі приймає два вхідних сигнали, бажане значення U(t) і зворотний сигнал S(t). Суматор обчислює різницю сігналів E(t)=U(t)−S(t). Різниця сигналів E(t), що є виходом суматора, подається на контролер $W_1(s)$. Контролер обчислює керуючий сигнал на основі цієї різниці.

Вихід контролера подається на першу передаточну функцію серводвигуна $W_2(s)$. Вихід першої передаточної функції $W_2(s)$ далі подається на другу передаточну функцію $W_3(s)$, яка може представляти електричну частину двигуна, включаючи індуктивність і опір обмоток.

Вихід другої передаточної функції $W_4(s)$ є вихідним сигналом системи Sv(t), що відповідає фактичному положенню.

Вихідний сигнал Sv(t) також подається на вхід системи зворотного зв'язку. Сигнал зворотного зв'язку S(t) віднімається на суматорі від вхідного сигналу U(t) для обчислення нової різниці сигналів E(t).

Модель керування серводвигуном включає в себе контролер, серводвигун як об'єкт управління, систему зворотного зв'язку з датчиками і суматор для визначення помилки. Ця модель забезпечує точний контроль над положенням і швидкістю автономного мобільного робота, дозволяючи йому ефективно виконувати свої завдання.

Об'єктом управління в системі є серводвигун, який використовується для приводу рухомих частин автономного мобільного робота. Серводвигун постійного струму є основним елементом, який перетворює електричну енергію в механічний рух. У нашому випадку, серводвигун є двигуном з керуванням від якоря, де крутний момент двигуна пропорційний струму якоря, а зворотна ЕРС пропорційна кутовій швидкості вала.

Загалом, крутний момент, що генерується двигуном постійного струму, пропорційний струму якоря і напруженості магнітного поля. У цьому прикладі ми припустимо, що магнітне поле постійне і, отже, крутний момент двигуна пропорційний лише струму якоря і з постійним коефіцієнтом K_t, як показано в рівнянні нижче (2.1). Такий двигун називається двигуном з керуванням від якоря.

$$T = K_t i. \tag{2.1}$$

Зворотна ЕРС, e, пропорційна кутовій швидкості вала з постійним коефіцієнтом K_e (2.2).

$$e = K_c \dot{\theta}. \tag{2.2}$$

В одиницях СІ постійні моменту двигуна і зворотної ЕРС рівні, тобто $K_t = K_e$; тому ми будемо використовувати K для представлення як постійної моменту двигуна, так і постійної зворотної ЕРС.

З наведеної формули (2.2) можемо вивести наступні керуючі рівняння (2.3 – 2.4), засновані на 2-му законі Ньютона і законі напруги Кірхгофа.

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki, \tag{2.3}$$

$$L\frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta}. \tag{2.4}$$

Отже, передавальна функція G(s) серводвигуна можна представити таким чином (2.5):

$$G(s) = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2}, \tag{2.5}$$

де J – момент інерції ротора;

b – коефіцієнт в'язкого тертя;

K – коефіцієнт посилення двигуна;

L – індуктивність обмотки;

R – опір обмотки.

Для спрощення аналізу часто припускають, що електрична постійна часу двигуна мала порівняно з механічною, що дає змогу знехтувати L. У цьому разі передавальна функція може бути спрощена до такого вигляду (2.6):

$$G(s) = \frac{K}{Js^2 + bs + K}. \tag{2.6}$$

Щоб побудувати графік часової характеристики, знайдемо функцію перехідного процесу θ(t) для вхідного сигналу у вигляді одиничного ступінчастого впливу.

Для стандартної форми другого порядку передавальної функції (2.7):

$$G(s) = \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2}, \quad (2.7)$$

де ω_n – натуральна частота;

ζ – коефіцієнт демпфірування.

Для побудови графіку передаточної перехідного процесу функції використано Python та його бібліотеки для моделювання та візуалізації, такі як scipy і matplotlib (рис. 2.9).

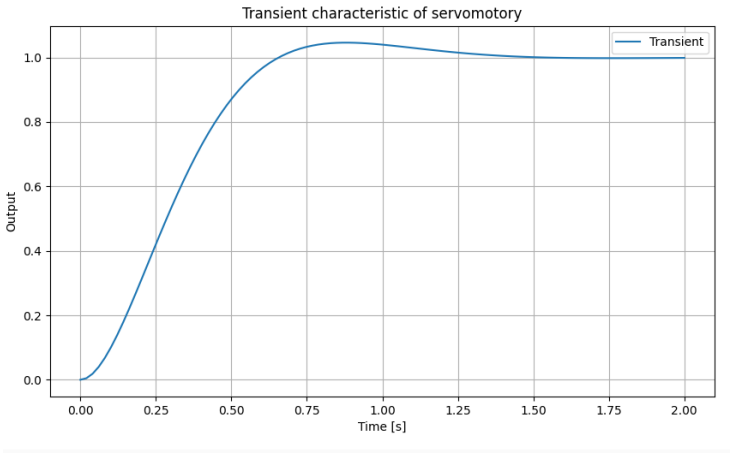


Рисунок 2.9 – Графік перехідного процесу

Графік показує, як система реагує на одиничний ступінчастий вплив із часом, демонструючи перехідний процес серводвигуна.

2.5 Моделювання автономного мобільного робота в середовищі Tinkercad

Для створення моделі управління автономним мобільним роботом використано середовище Tinkercad. Він обраний як середовище для розробки з кількох ключових причин.

По-перше, це онлайн платформа, що означає, що ви можете працювати над своїми проектами з будь-якого пристрою, який має доступ до Інтернету, без необхідності встановлення додаткових програм або налаштувань.

По-друге, Tinkercad має інтуїтивний і простий у використанні інтерфейс, що дозволяє навіть початківцям швидко оволодіти основами моделювання та програмування. Він надає зручні інструменти для створення 3D-моделей, проектування електричних схем та програмування мікроконтролерів.

По-третє, Tinkercad має широку базу даних електронних компонентів і сенсорів, що дозволяє легко вибирати та додавати потрібні компоненти до проекту. Це зробить процес моделювання більш приємним та ефективним.

Нарешті, Tinkercad підтримує спільноту користувачів, де можливо знайти відповіді на свої питання, поділитися своїми проектами та отримати поради від інших ентузіастів. Це створює стимулююче середовище для навчання та співпраці.

Отже, Tinkercad вибраний як ідеальне середовище для розробки, оскільки він поєднує в собі простоту використання, багатий функціонал та можливість співпраці з іншими користувачами.

Змодельована схема (рис. 2.10) ілюструє функціонування робота та його реакції на освітлення.

У запропонованій схемі робота забезпечується можливість переміщення в фізичному світі за допомогою серводвигунів, що рухають сонячну панель для насичення енергії та забезпечення «життя». Серводвигуни забезпечують рух та маневреність робота, регулюючи його положення у горизонтальному та вертикальному напрямках для оптимального збору сонячної енергії.

Фоторезистори вимірюють рівень освітленості в навколишньому середовищі, задяки функціоналу Tinkercad є можливість імітувати рівень отримуваної сонячної енергії, та передають ці дані Arduino Uno для аналізу та вироблення відповідних команд для серводвигунів та моторів. Сонячна панель перетворює сонячне випромінювання на електричну енергію для живлення

робота та зарядки батареї. Збережена енергія дозволяє роботу працювати упродовж певного періоду, проте в економічному режимі в разі недостатньої освітленості.

Два мотори забезпечують рух робота, а драйвер L293D дозволяє Arduino Uno керувати швидкістю та напрямком обертання моторів. Arduino Uno відповідає за програмування та керування всіма компонентами автономного мобільного робота, отримуючи дані від фоторезисторів та відслідковуючи стан сонячної панелі та батареї.

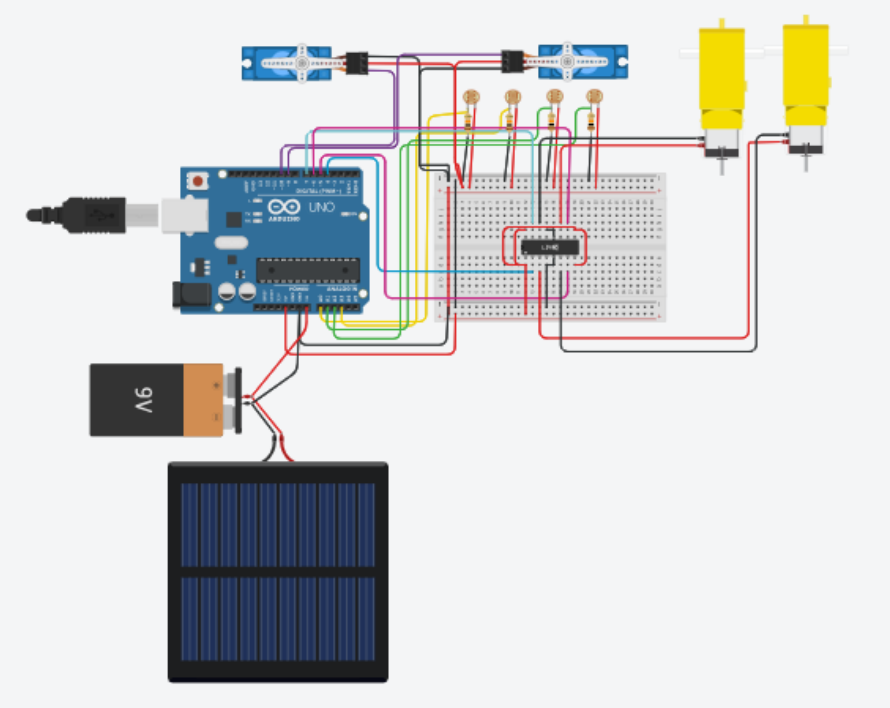


Рисунок 2.10 – Змодельована схема реалізації запропонованого автономного мобільного робота

Мікроконтролер, Arduino Uno, який було обрано в якості системи керування всіма компонентами автономного мобільного робота. Вона отримує дані від фоторезисторів, обраховує найкраще положення для живлення, відправляє відповідні команди до серводвигунів та моторів, постійно моніторить джерело освітленості та час за для подальшої конфігурації.

Змодельована схема демонструє спільну роботу між компонентами в автономному режимі, дозволяючи роботу ефективно функціонувати та забезпечуючи його здатність до пошуку та використання сонячного джерела енергії.

2.6 Збірка макету автономного мобільного робота

Основуючись на перегляді проектної документації, було підготовлено всі необхідні компоненти для збірки автономного мобільного робота. Процес збірки було розділено на кілька етапів, щоб краще організувати роботу.

Підготовка компонентів, у цьому етапі було перевірено наявність всіх необхідних компонентів та їх коректність. Після цього компоненти було розділено на групи відповідно до їх функціонального призначення.

Спочатку було зібрано основну платформу робота, на якій будуть розміщені всі інші компоненти. Це включало в себе прикріплення базової конструкції, на яку будуть монтуватись інші елементи (рис. 2.11). Обрано було металево опорну платформу для міцного позиціювання системи. Чотори мотори було зеднано з двума драйверами.

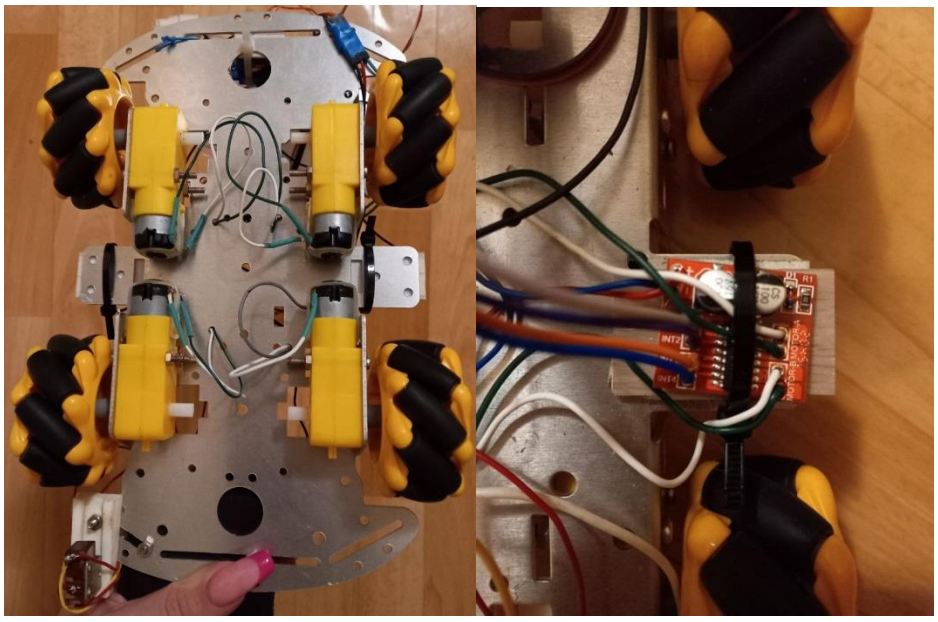


Рисунок 2.11 – Зібраний макет платформи автономного мобільного робота

Наступним кроком було прикріплення серводвигунів до платформи робота. Кожен серводвигун був змонтований з врахуванням його майбутньої ролі у русі сонячних панелей. Опірні частини були додані для стабілізації робота та забезпечення правильного руху серводвигунів (рис. 2.12).

Додавши дві сонячні панелі для отримання заряду, робот став більш енергоефективним, оскільки тепер він може використовувати сонячне випромінювання для живлення. Це дозволить йому подовжити час автономної роботи без необхідності постійної зарядки від електричної мережі. Крім того, чотири фоторезистори, розміщені по периметру робота, дозволять йому ефективно відслідковувати рівень освітленості в навколишньому середовищі. Кожен фоторезистор був підключений до резистора по 100 Ом, що допоможе забезпечити стабільність та точність вимірювань.

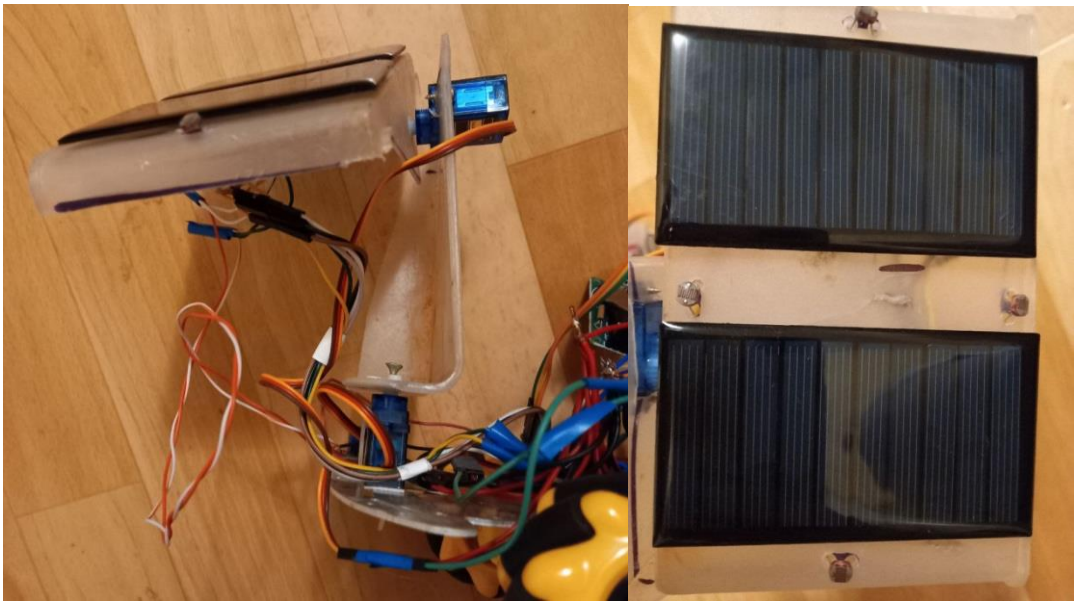


Рисунок 2.12 – Зібрана система руху за сонцем автономного мобільного робота

Після закріплення серводвигунів на платформі робота було виконано з'єднання з керуючою платою та RTC, або модулем реального часу. Це було зроблено для того, щоб забезпечити зв'язок між компонентами та правильної синхронізації часу.

З'єднання з керуючою платою дозволить роботу ефективно керувати рухом серводвигунів з використанням програмного забезпечення, яке буде встановлене на цій платі. Це відкриває можливості для автоматизації рухів робота та виконання певних завдань з використанням алгоритмів управління.

Синхронізація часу за допомогою RTC є важливою для координації робота в часі. Це дозволяє роботу виконувати певні дії у визначені моменти часу або здійснювати вимірювання часу для певних процесів або дій. Наприклад, робот може автоматично включатися або вимикатися в певний час щоб виконувати різні дії у визначені часові моменти (рис. 2.13).

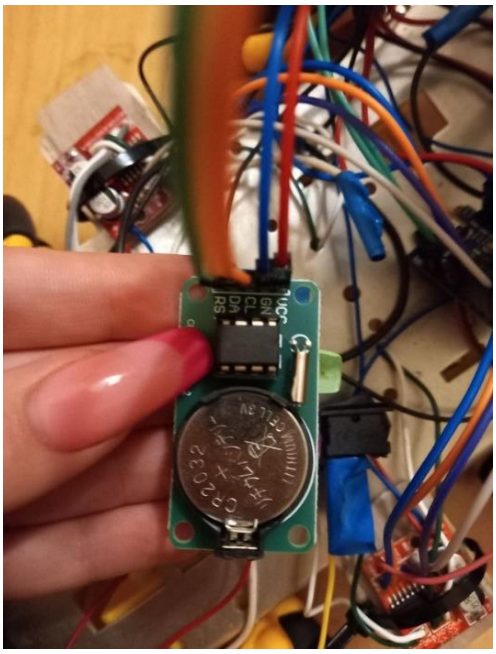


Рисунок 2.13 – RTC для координації робота в часі

Після завершення збірки робота було проведено тестування всіх компонентів та їх взаємодію для перевірки правильності роботи. Під час цього тестування було виявлено ряд проблем, які були негайно виправлені для забезпечення оптимального функціонування робота.

Після виправлення виявлених проблем було проведено фінальну збірку всіх компонентів та здійснено останні налаштування. Робот, який

представлений на рисунку 2.14, був готовий до використання після завершення цього етапу.

Цей заключний етап гарантує, що всі компоненти працюють правильно і що робот готовий до виконання своїх завдань. Тестування та остаточна збірка є критичними кроками у процесі розробки, оскільки вони дозволяють переконатися, що робот працює належним чином та відповідає всім вимогам і очікуванням.

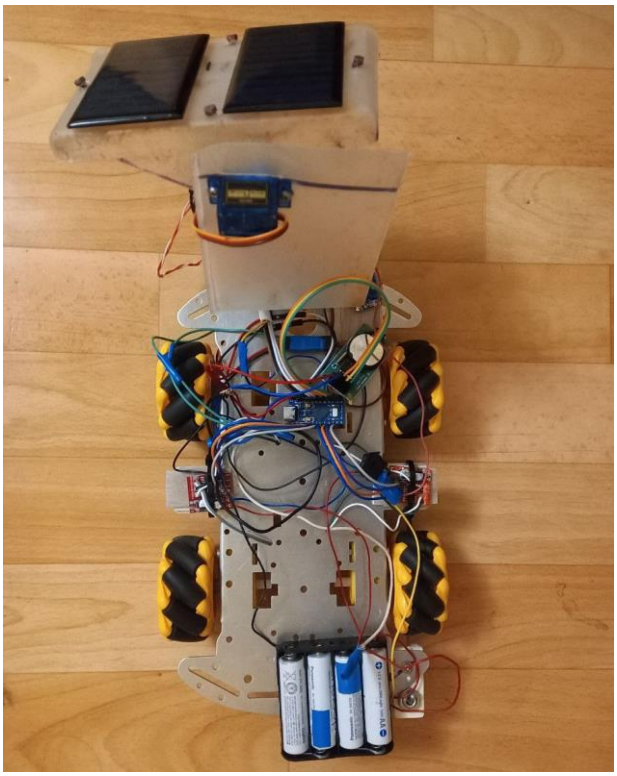


Рисунок 2.14 – Макет зібраного автономного мобільного робота

Таким чином, застосування процесу, розподіленого на етапи, дозволило збільшити ефективність та організованість збірки автономного мобільного робота.

3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

3.1 Вибір середи розробки

Для того щоб обрати середовище для розробки було проведено аналіз трьох найпопулярніших: PlatformIO [28], Arduino [29] та Visual Studio Code [30] з розширенням Arduino.

PlatformIO – це відкрите середовище розробки для вбудованих систем (рис. 3.1), яке надає можливості для програмування мікроконтролерів, таких як Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 та багатьох інших.

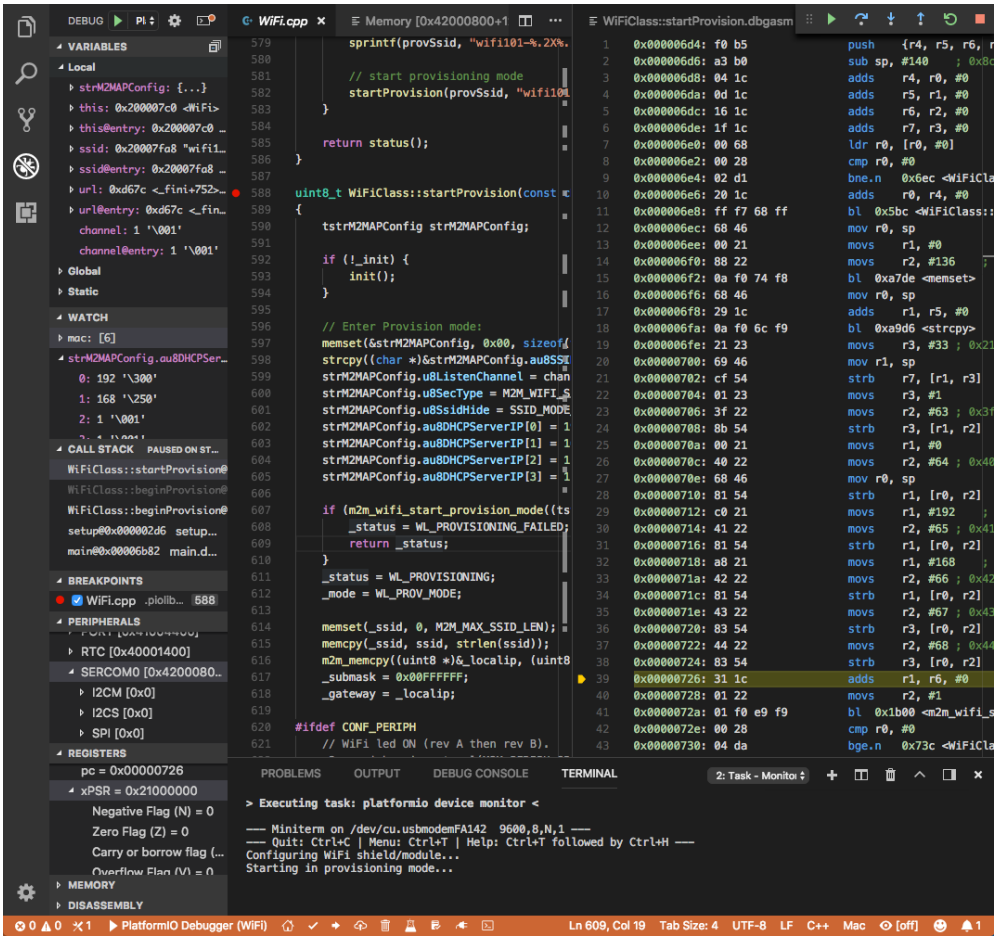


Рисунок 3.1 – Інтерфейс PlatformIO [28]

Проводячи аналіз було виявлено такі переваги перед іншими, кросплатформенись підтримується Windows, macOS та Linux, що робить його доступним для користувачів різних операційних систем. Підтримка різних мов програмування, таких як C++, Python тощо.

Великої кількості мікроконтролерів та платформ, що дозволяє розробникам вибирати найбільш підходящий для їх потреб. Автоматичне керування бібліотеками та залежностями, що спрощує роботу зі сторонніми ресурсами.

PlatformIO інтегрується з такими популярними редакторами, як Visual Studio Code, Atom, Sublime Text, що дозволяє розробникам користуватися улюбленим середовищем розробки. PlatformIO має активну спільноту користувачів і швидку технічну підтримку, що допомагає вирішувати проблеми та отримувати відповіді на питання.

Мінуси ж були наступними, для новачків PlatformIO може здаватися складним у використанні порівняно з традиційним середовищем розробки Arduino IDE. PlatformIO може вимагати більше ресурсів системи порівняно з легковаговими IDE, що може вплинути на продуктивність настільного комп'ютера. Хоча PlatformIO підтримує велику кількість мікроконтролерів, деякі екзотичні або менш популярні пристрої можуть мати обмежену підтримку. Деякі функції PlatformIO можуть вимагати підключення до Інтернету, що може бути недоцільним для розробки в умовах обмеженого Інтернет-з'єднання.

Visual Studio Code (VS Code) – це легкий та потужний текстовий редактор (рис. 3.2), який став дуже популярним серед розробників завдяки своїм багатими можливостями та розширюваній архітектурі. Розширення для Arduino додає підтримку для програмування та відлагодження мікроконтролерів Arduino безпосередньо у VS Code.

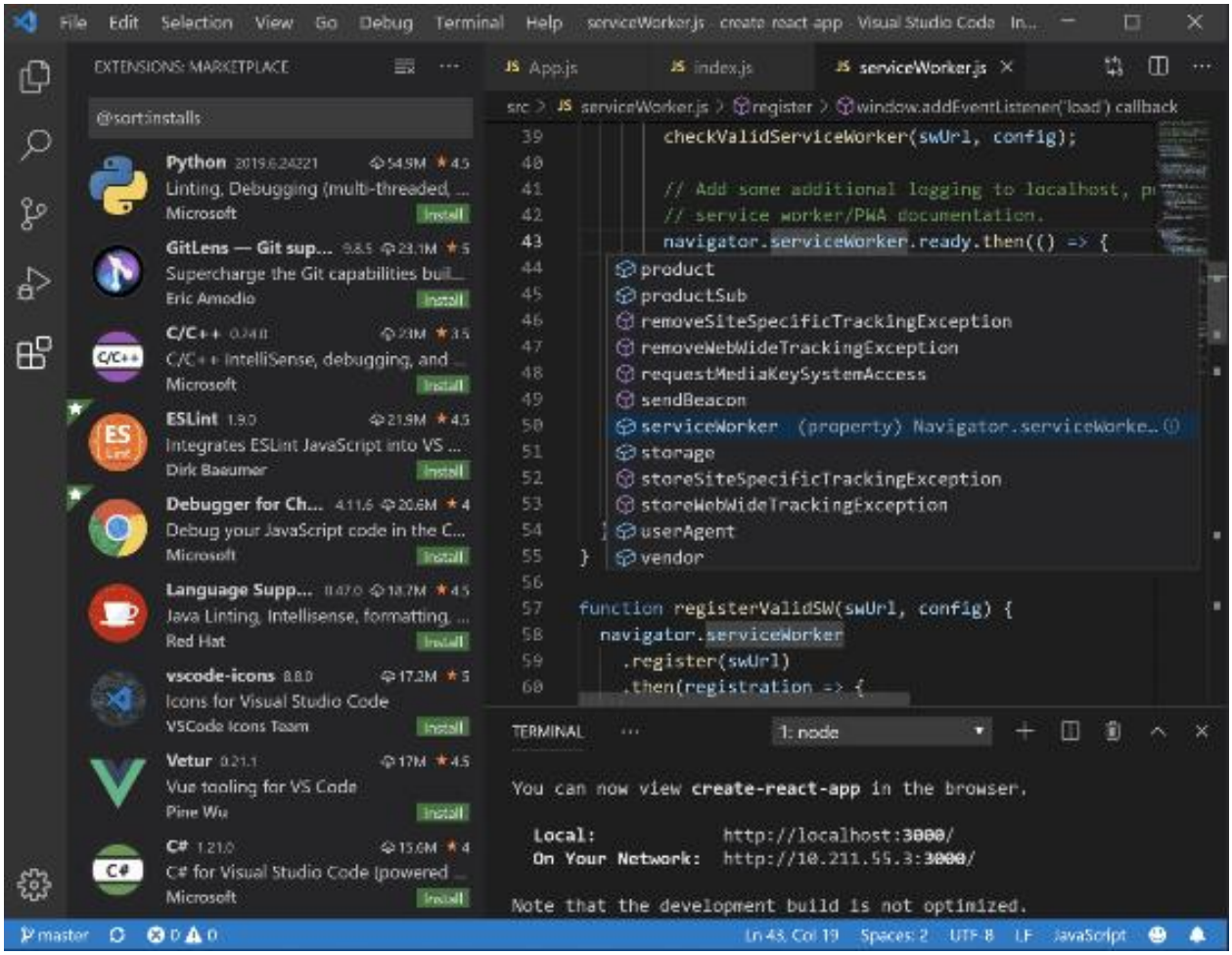


Рисунок 3.2 – Інтерфейс Visual Studio Code [30]

VS Code має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та широкий набір функцій, які роблять роботу з ним приємною та ефективною. Розширення для Arduino надає всі необхідні функції для програмування, відлагодження та керування проектами Arduino безпосередньо у VS Code.

VS Code має потужну систему автодоповнення, яка значно полегшує написання коду та зменшує кількість помилок. Крім розширення для Arduino, у VS Code є багато інших корисних розширень для програмістів, що дозволяє розширити його функціональність. VS Code підтримує роботу на різних операційних системах, таких як Windows, macOS та Linux.

Хоча VS Code є легким в порівнянні з багатьма іншими інтегрованими середовищами розробки, він може вимагати більше ресурсів системи, ніж деякі прості текстові редактори. Хоча розширення для Arduino дуже популярне та

стабільне, можуть виникати проблеми з іншими розширеннями, особливо з менш популярними або недавно розробленими. Для повного використання VS Code разом з розширенням Arduino може знадобитися деякий час, щоб ознайомитися з інтерфейсом та функціональністю редактора.

Arduino IDE – це відкрите апаратне та програмне забезпечення (рис. 3.3), яке дозволяє створювати різноманітні електронні пристрої та проекти, навіть для тих, хто не має глибоких знань у програмуванні та електроніці.

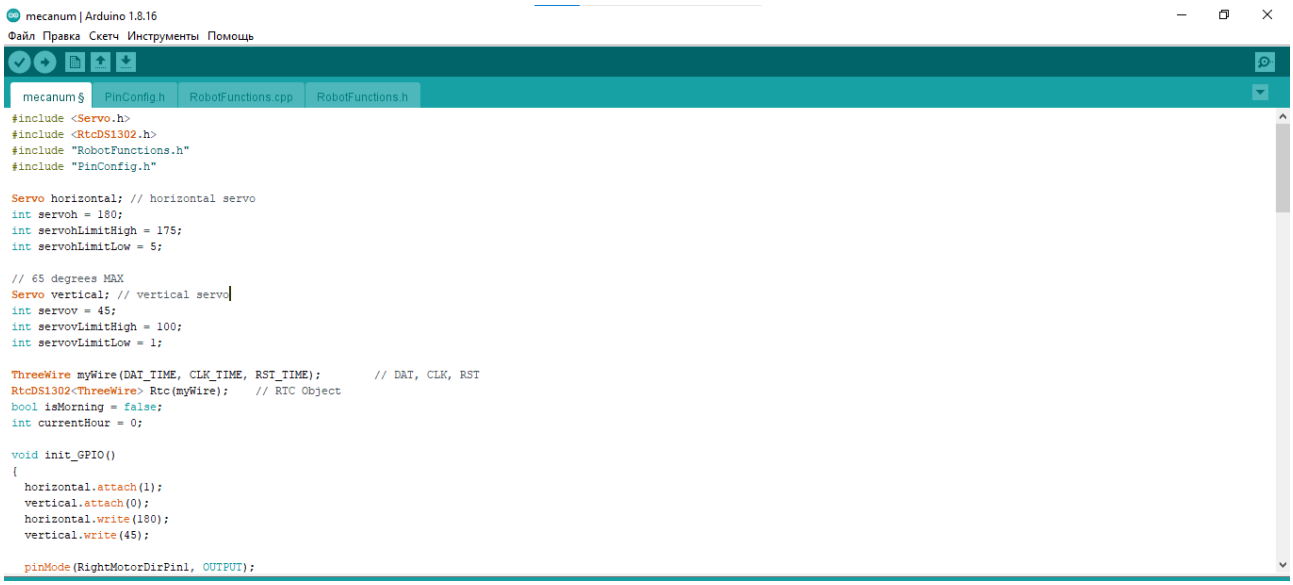


Рисунок 3.3 – Інтерфейс Arduino IDE

Простота використання: Arduino має простий інтерфейс та легку установку, що робить його доступним навіть для початківців. Arduino має широке співтовариство користувачів та розробників, що означає, що завжди можна знайти підтримку, поради та різноманітні проекти для навчання. Існує багато моделей Arduino та додаткових модулів, що дозволяє вибрати платформу, яка найкраще відповідає вашим потребам. Arduino базується на відкритому програмному забезпеченні, що означає, що ви можете модифікувати та пристосовувати код для своїх потреб. Існує велика кількість бібліотек для Arduino, які спрощують взаємодію з різними пристроями та датчиками.

Arduino може бути обмеженим для деяких складних проектів або великих систем. Деякі моделі Arduino мають обмежені ресурси (наприклад, пам'ять, швидкість процесора), що може бути проблемою для великих або обчислювально-інтенсивних проектів. Хоча Arduino добре підходить для прототипування та експериментів, він може бути менш практичним для масштабування та виробництва великих кількостей пристроїв. За замовчуванням, Arduino не має вбудованих заходів безпеки, тому вам потрібно дбати про захист ваших пристроїв від зловмисників. Іноді можуть виникати проблеми зі з'єднанням між Arduino та комп'ютером, особливо при використанні певних моделей чи кабелів.

Підсумовуючи аналіз трьох найпопулярніших середовищ для розробки - PlatformIO, Arduino та Visual Studio Code з розширенням Arduino, можна зробити висновок про переваги Arduino перед іншими.

Arduino – це добре відоме та широко використовуване середовище для розробки електронних пристроїв, особливо в середовищі вбудованих систем. Хоча інші середовища, такі як PlatformIO та Visual Studio Code, можуть мати свої переваги, особливо для досвідчених розробників та професіоналів, Arduino залишається найкращим вибором для нашого проекту черес звою простоту та достатній функціонал.

3.2 Розробка загального алгоритму роботи

Згідно з головним принципом існування автономного мобільного робота, його мета – добути паливо для життя.

Для цього робот постійно намагається знайти найбільш вигідне положення для максимального збору сонячної енергії. Програмний алгоритм, розроблений для управління роботом, використовує різні компоненти і датчики для аналізу і взаємодії з навколишнім середовищем (рис. 3.4).

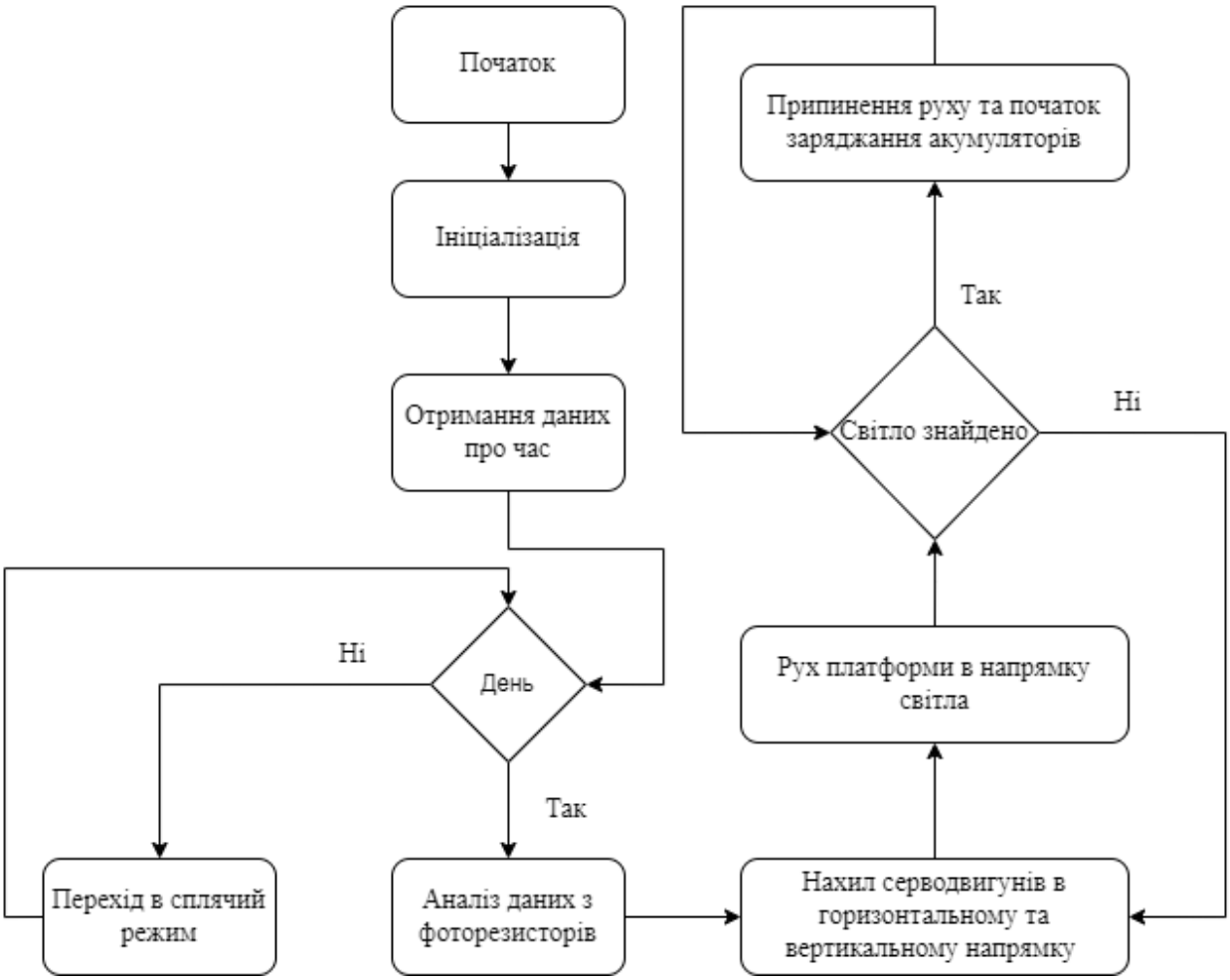


Рисунок 3.4 – Загальний алгоритм роботи системи автономного мобільного робота

На початку роботи робота ініціалізуються такі компоненти, як сервомотори, RTC (годинник реального часу) і аналогові виводи для датчиків. Потім робот отримує поточний час від RTC і аналізує можливість пошуку джерела палива.

У денний час робот аналізує освітленість від сонячних батарей з різних сторін ділянки. На основі цих даних визначаються відхилення в горизонтальній і вертикальній площинах позиціонування. Якщо відхилення виходить за межі заданого діапазону для вертикального або горизонтального сервомотора, його положення коригується.

Після цього робот рухається до джерела енергії, якщо освітленість недостатня. Напрямок руху визначається відповідно до виміряних значень освітленості. Для управління рухом робота вживаються відповідні дії.

Увечері робот переходить у режим "сну", припиняючи активні дії.

3.3 Розробка алгоритму позиціонування сонячних панелей

Будуючи схему алгоритма призначеного для автоматичного вирівнювання панелі, який слідує за сонцем, було розділено його на певні кроки, де в залежності від заданих умов здійснюється поворот на певний кут нахилу (рис. 3.5).

Першим проком було, зчитування значень аналогових датчиків світла з чотирьох різних датчиків, розташованих у верхніх лівій, верхній правій, нижній лівій та нижній правій частині панелі.

Розрахунок середніх значень, світла для верхньої, нижньої, лівої та правої частин панелі, базуючись на отриманих даних з попередьного кроку.

Перевіряється різниця значень між середніми значенями освітленості світла вгорі та внизу панелі, ліворуч та праворуч панелі.

Автоматично вірівнюється панель в залежності від умов, якщо сонце ще не заходило і різниця між середніми значеннями світла вгорі та внизу панелі перевищує задану толерантність, то перевіряється, якщо верхня частина панелі освітлена більше, ніж нижня, то панель повертається вгору. Якщо верхня частина панелі освітлена менше, ніж нижня, то панель повертається вниз.

Таким же чином проходить автоматичне вирівнювання по горизонталі. Якщо різниця між середніми значеннями світла ліворуч та праворуч панелі перевищує задану толерантність, то перевіряється, якщо ліва частина панелі освітлена більше, ніж права, то панель повертається ліворуч. Якщо ліва частина панелі освітлена менше, ніж права, то панель повертається праворуч. Якщо

середні значення світла ліворуч та праворуч однакові, то робота припиняється на 5 секунд.

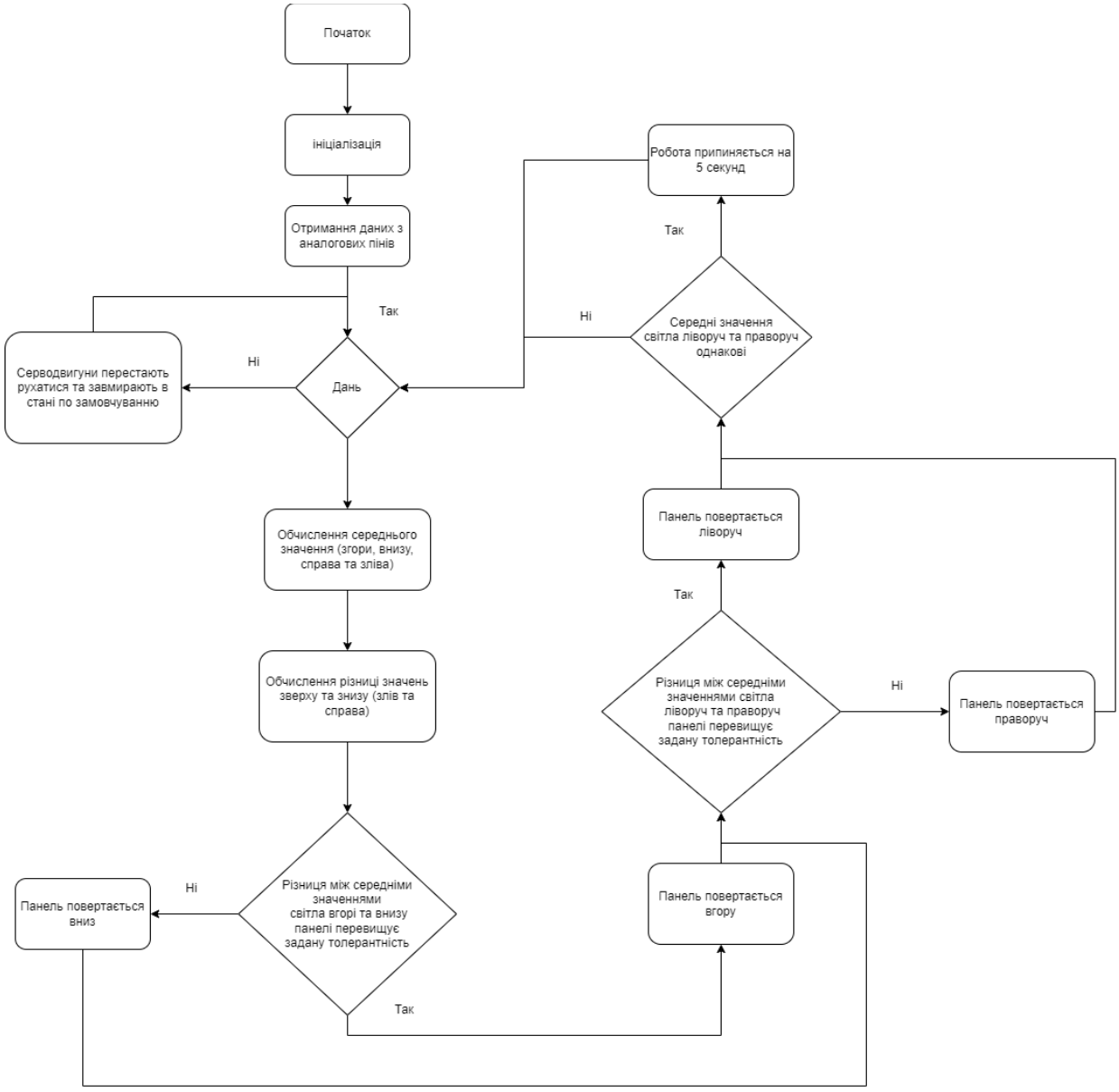


Рисунок 3.5 – Алгоритм роботи позиціонування сонячних панелей автономного мобільного робота

Враховуючи деякі особливості сприйняття роботом часу було розроблено алгоритм роботи для вечора. Якщо сонце вже заходить, то панель повертається до позиції 45 градусів по вертикалі та 180 градусів по горизонталі.

Даний алгоритм використовує датчики світла для вирівнювання панелі по вертикалі та горизонталі так, щоб максимізувати отримання сонячної енергії. Він автоматично керує двигунами панелі для оптимального виставлення її в напрямку сонця.

Ця схема пояснення дозволяє краще зрозуміти послідовність дій та умов, які виконуються у програмі для управління робота. Алгоритм використовує датчики світла для вирівнювання панелі по вертикалі та горизонталі так, щоб максимізувати отримання сонячної енергії. Він автоматично керує двигунами панелі для оптимального виставлення її в напрямку сонця.

3.4 Реалізація руху серводвигунами сонячних панелей

Алгоритм позиціонування сонячних панелей та енергозбереження, що було створено для виконання нашого завдання, підлаштовування під сонце.

Код використовує аналогові піни для зчитування значень сенсорів світла (лівий верхній, правий верхній, лівий нижній, правий нижній). Ці значення використовуються для визначення рівня освітленості в різних напрямках.

```
int lt = analogRead(ldrlt);
int rt = analogRead(ldrrt);
int ld = analogRead(ldrld);
int rd = analogRead(ldrrd);
```

На основі отриманих значень сенсорів обчислюється відхилення у вертикальній та горизонтальній площинах. Відхилення визначається як різниця між значеннями світлочутливих датчиків в різних напрямках.

```
int avt = (lt + rt) / 2;
int avd = (ld + rd) / 2;
```

```
int avl = (lt + ld) / 2;
int avr = (rt + rd) / 2;

int dvert = avt - avd;
int dhoriz = avl - avr;
```

Якщо відхилення виходить за певні межі толерантності (зазначені у коді як tol), то положення сонячних панелей коригується для максимального збору сонячної енергії. Для цього здійснюється зміна кута панелей у вертикальній та горизонтальній площинах за допомогою серводвигунів.

```
if (-1*tol > dvert || dvert > tol)
if(-1*tol>dhoriz||dhoriz>tol)
```

В залежності від значень середньої освітленості та різниці у них, визначити рух робота:

Якщо верхній напрямок (avt) менше за нижній (avd), робот повинен рухатися вперед.

```
else if (avt < avd)
 {
servov= --servov;
 if (servov < servovLimitLow)
 { servov = servovLimitLow;}
 }
 vertical.write(servov);
 }
```

Якщо лівий напрямок (avl) менше за правий (avr), робот повинен робити правий поворот.

```
else if (avl < avr)
 {
 servoh = ++servoh;
 if (servoh > servohLimitHigh)
 {
 servoh = servohLimitHigh;
 }
 }
```

Якщо лівий напрямок (avl) більше за правий (avr), робот повинен робити лівий поворот.

```
if (avl > avr)
 {
 servoh = --servoh;
 if (servoh < servohLimitLow)
 {
 servoh = servohLimitLow;
 }
 }
```

Якщо верхній напрямок (avt) більше за нижній (avd), робот повинен рухатися назад.

```
if (avt > avd)
 {
 servov = ++servov;
```

```
 if (servov > servovLimitHigh)
 {
servov = servovLimitHigh;
}
 }
```

В іншому випадку робот повинен зупинитися.

```
else if (avl == avr)
 {
delay(5000);
 }
 horizontal.write(servoh);
 }
```

Код також враховує час доби та визначає, чи є зараз ранок чи вечір. У ранковий період робот активно користується сонячними панелями для живлення та руху. У вечірній період панелі повертаються до початкового положення, а робот переходить у сплячий режим, що дозволяє економити енергію.

```
   vertical.write(45);
   horizontal.write(180);
```

Цей алгоритм дозволяє роботу позиціонувати сонячні панелі відповідно до рівня освітленості навколишнього середовища та ефективно використовувати сонячну енергію для живлення або заряджання батареї вдень, а також забезпечує повернення панелей до початкового положення ввечері для енергозбереження.

3.5 Компіляція та прошивання системи управління автономного мобільного робота

Вибір мови програмування є ключовим етапом при розробці системи управління АМР на платі Arduino Micro. Оскільки в проекті було обрано Arduino Micro, оптимальним варіантом є використання мови програмування Arduino, яка є спеціально адаптованою для роботи з платами Arduino і базується на мові програмування C. Мова Arduino має простий синтаксис і велику кількість вбудованих функцій та бібліотек, що спрощує розробку програмного забезпечення для АМР.

Рисунок 3.6 демонструє процес вибору менеджера плат в середовищі розробки Arduino.

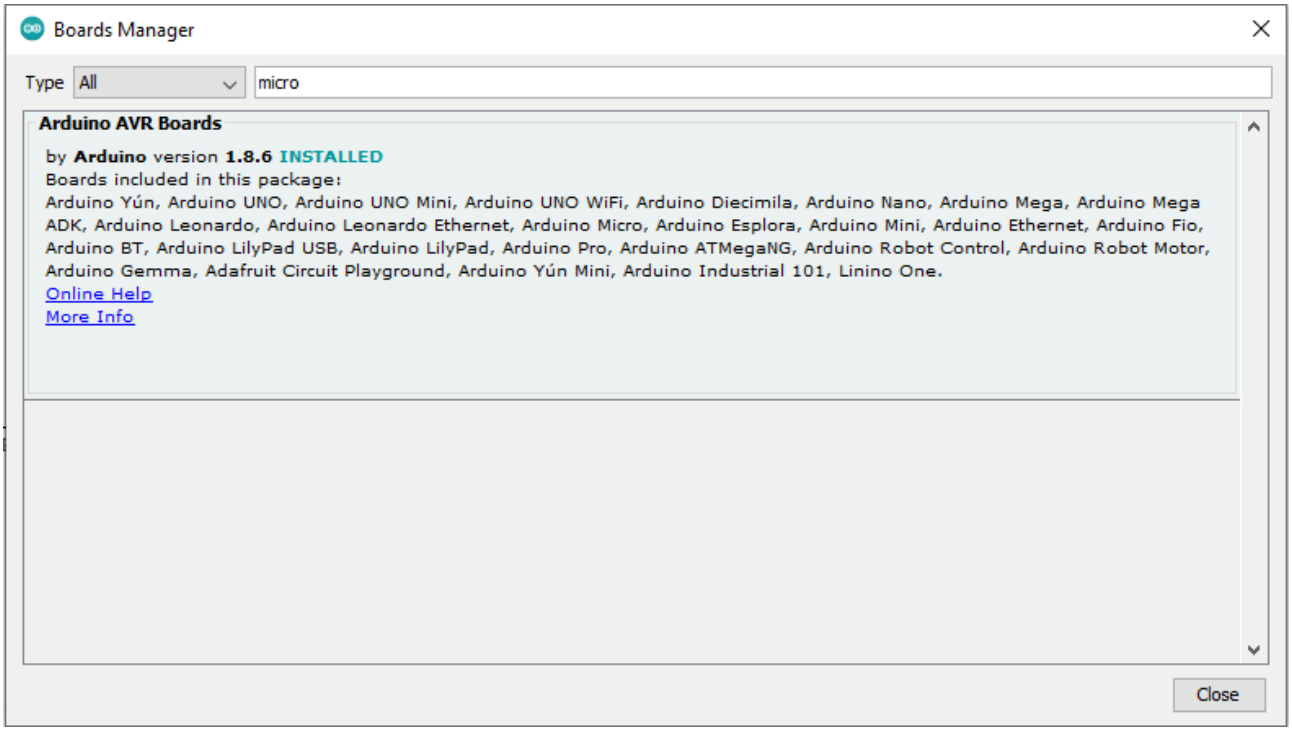


Рисунок 3.6 – Вибір менеджеру плат в середивищі Arduino

Після вибору плати необхідно вибрати порт, через який плата буде з'єднана з комп'ютером для програмування. У випадку Arduino Micro це може бути USB-порт або інший порт, через який здійснюється зв'язок з комп'ютером.

Вибір правильного порту дозволяє середовищу розпізнати, де знаходиться плата та яким чином здійснюється зв'язок з нею. На рисунку 3.7 показано процес конфігурації обраної плати та порту з'єднання.

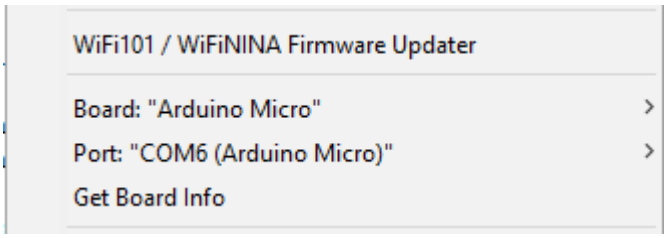


Рисунок 3.7 – Конфігурації плати та порту

На рисунку 3.8 демонструється процес компіляції проєкту. Після написання програмного коду необхідно скомпілювати його, щоб перетворити вихідний код на машинний код, який може виконуватися на обраній платі Arduino Micro.

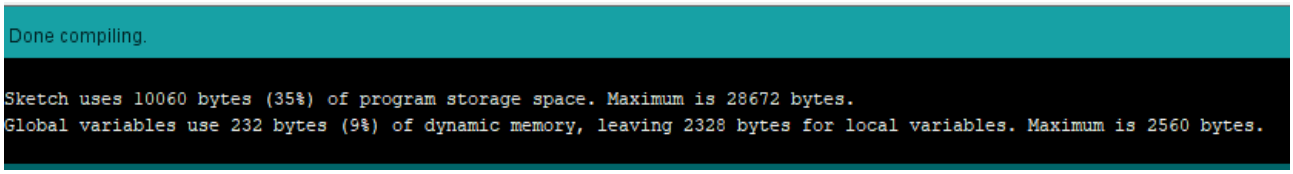


Рисунок 3.8 – Компіляція проєкту

Під час компіляції програмне забезпечення перевіряє код на наявність синтаксичних та логічних помилок. Якщо в коді є помилки, компіляція завершиться з помилкою, і програміст повинен буде виправити їх перед наступною спробою компіляції.

Після успішної компіляції коду генерується вихідний файл, який містить машинний код для виконання на мікроконтролері Arduino Micro. Цей файл готовий для завантаження на плату та виконання програми.

Остаточний крок – завантаження скомпільованої програми на плату Arduino Micro за допомогою USB-порту або іншого доступного з'єднання.

Після завантаження програма почне виконуватися на мікроконтролері, реалізуючи визначену функціональність.

3.6 Проведення експерименту

Проведення експерименту включало в себе ретельне вимірювання освітленості приміщення та оцінку втрати заряду акумуляторів для визначення того, як довго робот може функціонувати без втручання людини. Основна мета полягала в тому, щоб з'ясувати, чи достатньо енергії виробляється сонячними панелями для подальшої автономної роботи.

Освітленість приміщення була виміряна за допомогою люксметра. При отриманні сонячних променів в 958 Люкс, з двох сонячних панелей вироблялося 2,7 мА струму, який використовувався для зарядження акумуляторів в конструкції робота. Однак виявлено, що при такій освітленості струму недостатньо для тривалої автономної роботи. Робот може працювати автономно лише дві години, після чого поступово втрачає свою потужність через недостатнє заряджання акумуляторів.

Для додаткового дослідження роботи в різних умовах було виміряно споживання струму. Встановлено, що для пускової роботи в гарних умовах потрібно 2 А, для руху в поганих умовах - мінімум 1,2 А, а для руху по паркету достатньо 0,9 А.

Ці вимірювання дозволили отримати більш детальне уявлення про енергетичні потреби робота в різних сценаріях його роботи, що є важливим кроком для подальшої оптимізації його ефективності та тривалості роботи в автономному режимі.

Для докладного аналізу часу життя робота було здісено заміри напруги та по ним побудовано графік (рис. 3.9).

З графіка видно, як плавно втрачається заряд акумуляторів та на значинні 3,1 В відбувається «смерть» робота.

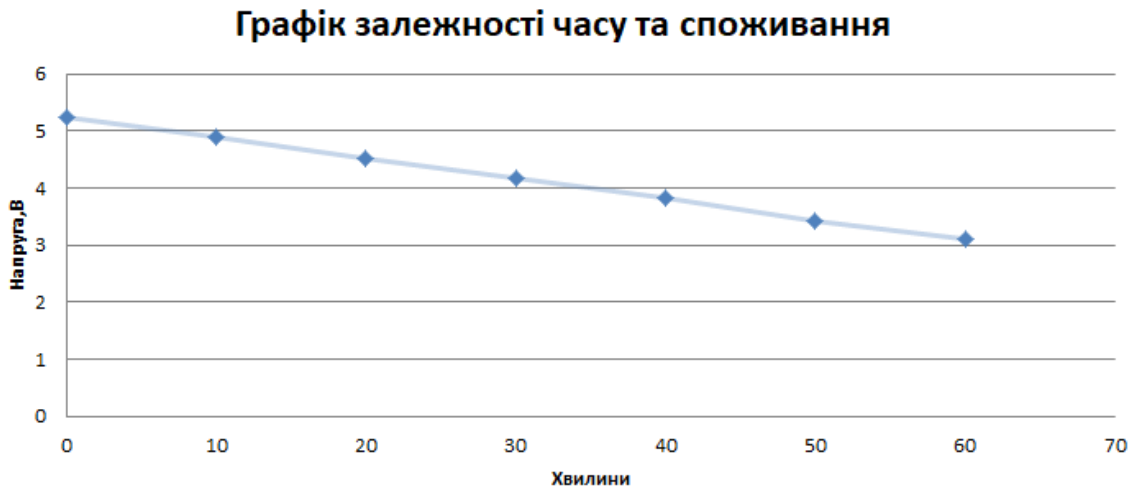


Рисунок 3.9 – Графік життя робота

Для визначення періоду непридатності до рухів було також проведено заміри та побудовано графік (рис. 3.10). На якому видно що, при постійном сонячному світлі потрібно двадцять чотири години для заряду з 4,2 В до 5,25 В, дані значення без урахування втрат на чотири двигуни, контролер та два серводвигуни, залучені до роботи лише сонячні панелі та модулі для перетворення сонячної енергії в електричну.

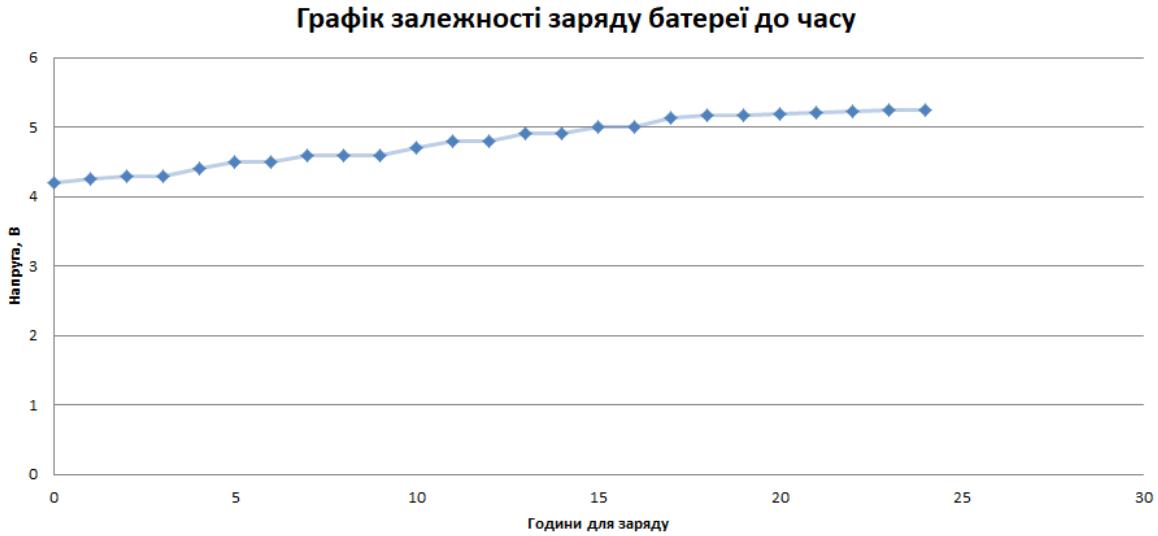


Рисунок 3.10 – Графік заряду акумуляторів

Для повного зарядження всіх чотирьох акумуляторів потрібно близько двох неділь при постійному освітленні.

В цілому, результати експерименту підтвердили, що для досягнення більш тривалої автономної роботи потрібно розглянути альтернативні методи живлення або вдосконалити систему зарядки, щоб забезпечити довготривалу та надійну роботу робота.

3.7 Розрахунок освітлення

Розрахунок кількості світильників є важливою складовою проведення експерименту, оскільки від оптимального освітлення залежить якість його проведення, безпечність роботи та ефективне використання енергії для живлення автономного мобільного робота. Крім того, правильно обчислене штучне освітлення сприяє забезпеченню необхідного рівня освітленості в приміщенні, що дозволяє експериментаторам працювати комфортно та продуктивно.

Відповідно до Державних будівельних норм України [31], мінімальна освітленість у приміщенні встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт, і для IV розряду ця величина складає 300 – 500 люксів.

Для визначення кількості світильників, необхідних для досягнення потрібного рівня освітленості, спочатку потрібно визначити світловий потік, що випромінюється кожним світильником, а потім розрахувати, скільки світильників потрібно для забезпечення необхідного рівня освітленості в приміщенні [32].

Розрахунок штучного освітлення було проведено для кімнати площею 16 м², з шириною 4 м, довжиною 4 м та висотою стелі 2,5 м. Основним джерелом світла для штучного освітлення в цьому випадку є люмінесцентні

лампи, які ефективно забезпечують необхідний рівень освітленості для комфортної та продуктивної роботи в приміщенні.

Було використано формулу, для обчислення потрібної кількості світильників для досягнення нормованого рівня освітленості в приміщенні, потрібно розрахувати світовий потік, на обраній діляньці (3.1). Формула виглядає наступним чином:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \tag{3.1}$$

де F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S = 16 м^2);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1 - 1,2, було обрано Z =1,1);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку К = 1,5);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін (ρст.) і стелі (ρстелі)), значення коефіцієнтів дорівнюють ρст = 40% і ρстелі=60%.

Наступним кроком розраховеуться індикс приміщення (3.2):

$$I = \frac{S}{h(A + B)}, \tag{3.2}$$

де S – площа приміщення, S = 16 м^2;

h – розрахункова висота підвісу, h = 2,4 м;

А – ширина приміщення, А = 4 м;

В – довжина приміщення, В = 4 м.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{16}{2{,}4(4+4)} = 1{,}54 \text{ Лк.}$$

Знаючи індекс приміщення I, за таблицею в ДБН В.2.5-28-2006 знаходимо η =0,306.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F :

$$F = \frac{300 \cdot 1{,}5 \cdot 16 \cdot 1{,}1}{0{,}306} = 25882 \text{ Лм.}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік яких F = 25882 Лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою (3.3):

$$N = \frac{F}{F\text{л}}, \tag{3.3}$$

де N – кількість ламп, що визначається;

F – світловий потік, F = 25882 Лм;

Fл – світловий потік лампи, Fл = 4320 Лм.

$$N = \frac{25882}{4320} = 5 \text{ шт.}$$

Згідно з отриманим результатом, необхідна кількість світильників складає 5 штук для досягнення потрібного рівня освітленості у вказаному приміщенні.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз сучасних автономних мобільних роботів, зосередившись на їх конструкції, системах керування та методах альтернативного живлення. Після детального розгляду було вирішено використовувати світло як основне джерело живлення через його екологічність, надійність, універсальність та енергетичну ефективність, а також можливість зберігання енергії, особливо з використанням сонячних панелей.

В аналізі сучасних автономних мобільних роботів було розглянуто їх конструкцію, системи керування та методи альтернативного живлення. В результаті аналізу було обрано сонячну енергію як джерело енергії через її високу відмінність.

Була розроблена загальна структурна схема, вибрано апаратні модулі та на їх основі розроблено схему підключення. Для перевірки функціональності та демонстрації роботи апаратних модулів в автономному режимі було використано середовище моделювання Tinkercad. Це дозволило виявити можливі проблеми та уточнити параметри перед виготовленням реального пристрою.

На основі підготовленої структурної схеми та апаратної бази було створено макет автономного мобільного робота. Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення для керування пристроєм.

Проведене експериментальне дослідження розкрило реальні межі часу автономної роботи макета. При освітленості 958 Люкс робот може здобути лише 2,7 мА струму, що вистачає на годину роботи у стандартному режимі.

Ці результати підкреслюють важливість подальших досліджень у напрямку оптимізації енергоефективності та роботи над збільшенням продуктивності систем живлення для мобільних роботів, зменшенням

споживання робота єнергії для оптимізації роботи та можливе використання більшої кількості сонячних панелей або додавання апаратних модулей для розгортання більшої кількості панелей.

Крім того, важливим напрямком подальших досліджень є розробка ефективних систем зберігання енергії, які б забезпечували максимально можливий час автономної роботи без підзарядки.

У цілому, робота в цьому напрямку має великий потенціал для розвитку та впровадження нових технологій, які можуть значно полегшити та покращити роботу автономних мобільних систем у майбутньому.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.

2. Невлюдов І. Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова. – Київ: НАУ, – 2016. – 320 с.

3. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарєва, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.

4. Towards autonomous selective harvesting: a review of robot perception, robot design, motion planning and control. onlinelibrary. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rob.22230 (date of access: 27.04.2024).

5. Невлюдов І. Ш. BEAM робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1.

6. Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains. springeropen. URL: https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-021-00311-9 (date of access: 03.02.2024).

7. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв, С. П. Новоселов, Н. П. Демська ; М-

во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 427 с.

8. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.

9. ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ ABB IRB 2600 Детальніше: https://hydromarket.com.ua/ua/p564349935-promyshlennyj-robot-abb.html. hydromarket. URL: https://hydromarket.com.ua/ua/p564349935-promyshlennyj-robot-abb.html (дата звернення: 05.05.2024).

10. Робот-візок для автоматизації складу. konsort. URL: https://konsort.com.ua/catalog/warehouserobotcart/?srsltid=AfmBOoqpXAQitHtsqV0_Tg3Y4O9qtHkCw4- IrmwDEX58M0mo68uK4qjiDkw (дата звернення: 05.05.2024).

11. Drive Unit. robotsguide. URL: https://robotsguide.com/robots/kiva (date of access: 04.05.2024).

12. Doing More with Spot. bostondynamics. URL: https://bostondynamics.com/blog/doing-more-with-spot/ (date of access: 04.05.2024).

13. Solar powered path follower robot. International journal of creative research thoughts. 2023. No. 11. P. 1–6. URL: https://ijcrt.org/papers/IJCRT2309137.pdf (date of access: 03.04.2024).

14. SX1308 Datasheet (PDF) - Semtech Corporation. pdf1.alldatasheet.com. URL:https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1131831/SEMTECH/SX1308.html (date of access: 14.02.2024).

15. TP4056 Datasheet (PDF) - List of Unclassifed Manufacturers. pdf1.alldatasheet.com. URL: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1487471/ETC2/TP4056.html (date of access: 13.02.2024).

16. CN3065 Datasheet (PDF) - Shanghai Consonance Electronics Incorporated. pdf1.alldatasheet.com. URL: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1133212/CONSONANCE/CN3065.html (date of access: 13.02.2024).

17. Серводвигун SG90 2кг. arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg (дата звернення: 08.02.2024).

18. Серводвигун SG92R мініатюрний 2.5кг/4.8В. arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod5189-servoprivod-sg92r-miniaturnii-2-5kg4-8v (дата звернення: 09.02.2024).

19. Сервопривід для дрона emax es08ma ii 12g mini metal gear analog servo. brain.URL:https://brain.com.ua/ukr/Zapchastina_dlya_drona_Emax_ES08MA_II_12g_Mini_Metal_Gear_Analog_Servo_for_RC_ModelRobo_0102003010p1047407.html?utm_content=new_buyers&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAz8GuBhCxARIsAOpzk8wgYBPRp2aTYNSJx78_P6pQ7hE54pmXWZHYAcfzzhnlRLu3kGoaAqdpEALw_wcB (дата звернення: 09.02.2024).ADAFRUIT FEATHER M0 WIFI - ATSAMD21 + ATWINC1500. diylab.com.ua. URL: https://diylab.com.ua/p529184788-adafruit-feather-wifi.html (date of access: 10.02.2024).

20. Arduino Pro Micro з конекторами. arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod661-arduino-pro-micro-s-konnektorami (дата звернення: 09.02.2024).

21. Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P з розпаяними роз'ємами. arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-sraspayannimi-razemami (дата звернення: 09.02.2024).

22. Feather Specification. adafruit. URL: https://learn.adafruit.com/adafruit-feather/feather-specification (date of access: 16.03.2024).

23. Модуль реального часу DS3231 RTC. ardushop.in.ua. URL: https://ardushop.in.ua/arduino/real-time-clock-module-ds3231-rtc (дата звернення: 09.02.2024). 21. Visualstudio. URL: https://code.visualstudio.com/ (дата звернення: 15.03.2024).

24. Модуль реального часу PCF8563 RTC. ardushop.in.ua. URL: https://ardushop.in.ua/arduino/real-time-clock-module-pcf8563-rtc (дата звернення: 10.02.2024).

24. Модуль реального часу DS1307 RTC. ardushop.in.ua. URL: https://ardushop.in.ua/arduino/real-time-clock-module-ds1307-rtc (дата звернення: 04.02.2024).

26. Драйвер крокового/колекторних двигунів MX1508. mini-tech. URL: https://www.mini-tech.com.ua/ua/drayver-dlya-dvigateley-mx1508 (дата звернення: 07.02.2024).

27. L298N подвійний H-міст Драйвер крокового двигуна (Driver motor L298N). diyshop. URL: https://diyshop.com.ua/ua/l298n-dvojnoj-h-most-drajvershagovogo-dvigatelya (дата звернення: 03.02.2024).

28. Platformio. URL: https://platformio.org/ (дата звернення: 22.03.2024).

29. Arduino. URL: https://www.arduino.cc/en/software (дата звернення: 22.03.2024).

30. Visualstudio. URL: https://code.visualstudio.com/ (дата звернення: 15.03.2024).

31. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Чинний від 2006-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінбуду України Держ. підприємство «Укрархбудінформ», 2006. 78 с. URL: https://sheltercluster.s3.eu-central1.amazonaws.com/public/docs/dbn_b.2.5-28-2006_prirodne_i_shtuchne_osvitlennya.pdf (дата звернення: 05.04.2024).

32. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / упоряд.: Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.