

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

16.06.2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. O. Chebanchik', with a horizontal line underneath.

Чебанчик Д.О.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
Кафедра _____ КІТАР
Рівень вищої освіти _____ перший(бакалаврський)
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Чебанчику Деничу Олеговичу
(шифр і назва)

1. Тема роботи: _____ Розробка макета мобільного робота на базі ESP32-Cam

Затверджена наказом університету від _____ 03.06.2024 №544Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 19.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Друк деталей на базі 3D принтера; 3.2 Система керування на базі «тонкого клієнту»; 3.3 Система комп'ютерного зору;

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз технічних характеристик мобільних роботів; 4.3 Аналіз конструкцій

сучасних мобільних роботів; 4.4 Аналіз систем керування мобільних роботів;

4.5 Порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення

мобільного робота; 4.6 Розробка концепту мобільного робота; 4.7 Розробка

структурної схеми мобільного робота; 4.8 Аналіз та вибір апаратних модулів;

4.9 Розробка схеми підключення; 4.10 Розрахунок витрат енергії для

керування рухом мобільного робота; 4.11 Розробка 3D моделей конструкції

мобільного робота; 4.12 Розробка 3D моделей складання мобільного робота;

4.13 Друк деталей мобільного робота на базі 3D принтера; 4.14 Складання

макета мобільного робота; 4.15 Обґрунтування та вибір середовища

розробки; 4.16 Розробка алгоритму керування мобільним роботом;

4.17 Реалізація системи керування на базі «тонкого клієнту»; 4.18 Реалізація

системи комп'ютерного зору; 4.19 Розробка інтерфейсу оператора;

4.20 Проведення експерименту; 4.21 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(*.ppt) формату А4 –15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

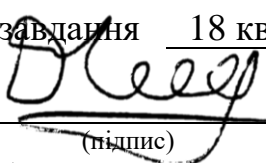
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічних характеристик МР	20.04.2024-21.04.2024	виконано
2	Аналіз конструкцій сучасних МР	22.04.2024-24.04.2024	виконано
3	Аналіз систем керування МР	25.04.2024-26.04.2024	виконано
4	Порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення МР	27.04.2024-29.04.2024	виконано
5	Розробка концепту МР	30.04.2024-02.05.2024	виконано
6	Розробка структурної схеми МР	03.05.2024-04.05.2024	виконано
7	Аналіз та вибір апаратних модулів	05.05.2024-08.05.2024	виконано
8	Розробка схеми підключення	09.05.2024-10.05.2024	виконано
9	Розрахунок витрат енергії для керування рухом МР	11.05.2024-13.05.2024	виконано
10	Розробка 3D моделей конструкції МР	14.05.2024-17.05.2024	виконано
11	Розробка 3D моделей складання МР	18.05.2024-20.05.2024	виконано
12	Друк деталей МР на базі 3D принтера	21.05.2024-23.05.2024	виконано
13	Складання макета МР	24.05.2024-27.05.2024	виконано
14	Обґрунтування та вибір середовища розробки	28.05.2024-29.05.2024	виконано
15	Розробка алгоритму керування МР	30.05.2024-01.06.2024	виконано
16	Реалізація системи керування на базі «тонкого клієнту»	02.06.2024-04.06.2024	виконано
17	Реалізація системи комп'ютерного зору	05.06.2024-08.06.2024	виконано
18	Розробка інтерфейсу оператора	09.06.2024-10.06.2024	виконано
19	Проведення експерименту	11.06.2024-12.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 18 квітня 2024р.

Студент



(підпис)

Чебанчик Д.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

Євсєєв В.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 7 табл., 17 рис., 1 дод., 23 джерела.

МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, ESP32-CAM, ТОНКИЙ КЛІЄНТ, СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ, 3D ДРУК, СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ.

Мета роботи – розробка макета малогабаритного мобільного робота для підвищення ефективності дослідження пошкоджених споруд.

Об'єкт роботи – процес моніторингу ушкоджень в залізобетонних будівлях.

Предмет роботи – моделі та методи управління малогабаритним мобільним роботом.

В даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз технічних характеристик мобільних роботів, конструкцій сучасних мобільних роботів та систем керування мобільних роботів. Було проведено порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення мобільного робота. Розроблено концепт мобільного робота та його структурна схема. Проведено аналіз та вибір апаратних модулів та розроблено схему підключення. Проведено розрахунок витрат енергії для керування рухом мобільного робота. Розроблено 3D моделі конструкції мобільного робота та 3D моделі складання мобільного робота. Надруковано деталі мобільного робота на базі 3D принтера. Складено макет мобільного робота, проведено обґрунтування та вибір середовища розробки. Розроблено алгоритм керування мобільним роботом. Реалізовано систему керування на базі «тонкого клієнту» та систему комп'ютерного зору. Розроблено інтерфейс оператора та проведено експеримент.

ABSTRACT

Explanatory note: 73 pages, 7 tables, 17 figures, 1 app, 23 sources.

MOBILE ROBOT, ESP32-CAM, THIN CLIENT, COMPUTER VISION SYSTEM, 3D PRINTING, DEVELOPMENT ENVIRONMENT.

The purpose of the work is to develop a model of a small-sized mobile robot to increase the efficiency of the investigation of damaged structures.

The object of the work is the process of monitoring damage in reinforced concrete buildings.

The subject of the work is models and methods of controlling a small-sized mobile robot.

In this qualification work, an analysis of the technical characteristics of mobile robots, designs of modern mobile robots and control systems of mobile robots was carried out. A comparative analysis and selection of the type of moving mechanisms for moving the mobile robot was carried out. The concept of a mobile robot and its structural diagram have been developed. The analysis and selection of hardware modules was carried out and the connection scheme was developed. The calculation of energy consumption for controlling the movement of a mobile robot was carried out. 3D models of the mobile robot design and 3D models of the mobile robot assembly have been developed. The details of the mobile robot were printed on the basis of a 3D printer. The model of the mobile robot was made, the justification and selection of the development environment was carried out. A mobile robot control algorithm has been developed. A management system based on a "thin client" and a computer vision system have been implemented. An operator interface was developed and an experiment was conducted.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасних мобільних роботів.....	12
1.1 Аналіз технічних характеристик мобільних роботів.....	12
1.2 Аналіз конструкцій сучасних мобільних роботів.....	14
1.3 Аналіз систем керування мобільних роботів	17
1.4 Порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення мобільного робота.....	19
2 Розробка структурної схеми мобільного робота та вибір апаратних модулів для реалізації.....	21
2.1 Розробка концепту мобільного робота	21
2.2 Розробка структурної схеми мобільного робота	23
2.3 Аналіз та вибір апаратних модулів	25
2.4 Розробка схеми підключення.....	31
2.5 Розрахунок витрат енергії для керування рухом мобільного робота	33
2.6 Розробка 3D моделей конструкції мобільного робота	35
2.7 Розробка 3D моделей складання мобільного робота	38
2.8 Друк деталей мобільного робота на базі 3D принтера.....	39
2.9 Складання макета мобільного робота.....	41
2.10 Перевірка системи на стійкість.....	42
3 Розробка системи керування мобільним роботом.....	47
3.1 Обґрунтування та вибір середовища розробки	47
3.2 Розробка алгоритм керування мобільним роботом	48
3.3 Реалізація системи керування на базі «тонкого клієнту»	51
3.4 Реалізація системи комп'ютерного зору.....	54
3.5 Розробка інтерфейсу оператора.....	59

3.6 Проведення експерименту	61
3.7 Охорона праці.....	63
Висновки	66
Перелік джерел посилань	67
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

BMS – battery management system;

C – camera;

CM – control module;

GPIO – general purpose input/output;

MCM – motor control module;

PM – power module.

ВСТУП

Розробка макета малогабаритного мобільного робота має велику актуальність для підвищення ефективності дослідження пошкоджених споруд, оскільки такі роботи можуть проникати в ускладнені місця та робити детальний облік пошкоджень безпечніше та швидше, зменшуючи ризик для людей та забезпечуючи доступ до недоступних або небезпечних зон. Малогабаритність робота дозволяє йому легко маневрувати в обмежених просторах, а його здатність до встановлення датчиків та камер дозволяє здійснювати детальний облік ушкоджень та збирати важливі дані для подальшого аналізу та ремонту споруд.

Мета роботи – розробка макета малогабаритного мобільного робота для підвищення ефективності дослідження пошкоджених споруд.

Об'єкт роботи – процес моніторингу ушкоджень в залізобетонних будівлях.

Предмет роботи – моделі та методи управління малогабаритним мобільним роботом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технічних характеристик мобільних роботів;
- провести аналіз конструкцій сучасних мобільних роботів;
- провести аналіз систем керування мобільних роботів;
- провести порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення мобільного робота;
- розробити концепт мобільного робота;
- розробити структурну схему мобільного робота;
- провести аналіз та вибір апаратних модулів;
- розробити схему підключення;
- провести розрахунок витрат енергії для керування рухом мобільного

робота;

- розробити 3D моделі конструкції мобільного робота;
- розробити 3D моделі складання мобільного робота;
- надрукувати деталі мобільного робота на базі 3D принтера;
- зібрати макет мобільного робота;
- обґрунтувати та вибрати середовище розробки;
- розробити алгоритм керування мобільним роботом;
- реалізувати систему керування на базі «тонкого клієнту»;
- реалізувати систему комп'ютерного зору;
- розробити інтерфейс оператора;
- провести експеримент.

Дана кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

1.1 Аналіз технічних характеристик мобільних роботів

Технічні характеристики мобільних роботів включають в себе різні аспекти їх конструкції, функціональності та можливостей. Перш за все, це включає системи руху, такі як колеса, гусениці або ноги, які забезпечують роботу здатністю до переміщення в просторі. Додатково, мобільні роботи можуть мати різні типи енергозабезпечення, включаючи акумулятори, паливні елементи або навіть сонячні панелі для автономного живлення.

Основні компоненти також включають системи навігації, які можуть включати GPS, ЛіДАР, камери та інші сенсори для визначення положення та орієнтації в просторі. Ці системи допомагають роботам уникати перешкод, планувати маршрути та виконувати завдання у визначених областях.

Для взаємодії з навколишнім середовищем мобільні роботи можуть бути обладнані різними датчиками, такими як відстанцеві датчики, камери візуального спостереження, теплові камери тощо, які допомагають виявляти об'єкти, перешкоди та інші важливі деталі у навколишньому середовищі [4].

Крім того, мобільні роботи можуть мати вбудовані системи взаємодії, такі як голосове керування або сенсорні екрани, що дозволяють користувачам взаємодіяти з ними для виконання різних завдань.

Обробка даних та управління – це ще один важливий аспект технічних характеристик, який може включати в себе мікроконтролери, мікропроцесори та інші обчислювальні системи для аналізу інформації та керування роботом.

Матеріали конструкції також грають важливу роль у визначенні технічних характеристик мобільних роботів. Вони можуть бути виготовлені з легких та міцних матеріалів, таких як алюміній, карбонові волокна або пластик, для забезпечення оптимальної маневреності та міцності [5].

Нарешті, захист від навколишнього середовища також може бути важливою характеристикою, особливо для роботів, які працюють у складних умовах, таких як підводний світ, космос або небезпечні зони. Такі роботи можуть мати відповідні захисні покриття або ущільнення для забезпечення надійності та безпеки.

Технічні характеристики мобільних роботів можуть стикатися з рядом проблем, які можуть впливати на їх ефективність та надійність. Перша проблема стосується енергозабезпечення. Багато мобільних роботів працюють на акумуляторах, що може обмежувати їх час роботи. Це особливо актуально для роботів, які потребують тривалого перебування в полі для виконання завдань. Для подовження часу роботи мобільного робота можна використовувати енергоефективніші компоненти та оптимізовані алгоритми роботи. Також можна розвивати більш ефективні акумулятори або використовувати альтернативні джерела енергії, такі як паливні елементи або сонячні панелі.

Друга проблема пов'язана з системами навігації та сприйняття оточення. Навігація в незнайомих або змінних середовищах може бути складною, особливо при виникненні непередбачуваних перешкод або змін у місцевості. Недоліки сенсорів або алгоритмів обробки даних можуть призвести до недостатньої точності і привести до помилкових рішень. Покращення систем навігації та сприйняття оточення можна досягти шляхом використання більш точних сенсорів, розвитку алгоритмів обробки даних та використання штучного інтелекту для адаптації до змінних умов.

Третя проблема стосується механічних компонентів та матеріалів конструкції. У неконтрольованих умовах роботи може виникати знос або поломки, особливо якщо робот використовується в екстремальних умовах або піддається великому фізичному навантаженню. Застосування міцніших матеріалів або покращення конструкції механічних компонентів може

покращити стійкість робота до зносу та поломок. Також важливо проводити регулярний технічний огляд та обслуговування.

Четверта проблема пов'язана з обробкою даних та управлінням. Системи управління мобільним роботом повинні бути надійними та швидкими, адже будь-яке затримки чи несправності можуть призвести до небезпеки або нездатності роботи взагалі. Для підвищення надійності систем управління роботом можна використовувати подвійне резервування або розробляти алгоритми з декількома рівнями автономності. Також важливо регулярно оновлювати програмне забезпечення для виправлення помилок та вдосконалення функціональності.

Нарешті, проблема захисту від навколишнього середовища також є критичною. Мобільні роботи, що працюють в екстремальних умовах, можуть зазнавати шкідливого впливу від погодних умов, високих чи низьких температур, вологості або інших факторів, що можуть вплинути на їхню роботу та надійність. Розробка захисних корпусів, що відповідають вимогам умов роботи, може допомогти покращити стійкість робота до екстремальних умов. Також важливо використовувати герметичні матеріали та спеціальні покриття для захисту від пилу, вологи та інших негативних факторів [6].

1.2 Аналіз конструкцій сучасних мобільних роботів

При розробці сучасних мобільних роботів використовуються різноманітні конструктивні рішення, спрямовані на покращення їхньої продуктивності, маневреності та надійності.

Модульна конструкція є одним з ключових аспектів розвитку сучасних мобільних роботів. Цей підхід передбачає розробку робота у вигляді набору окремих модулів або компонентів, які можуть бути легко змінювані або модернізовані без необхідності внесення змін у всю конструкцію. Переваги модульної конструкції включають високу гнучкість та адаптивність робота

до різних завдань та умов роботи. Оператор або інженер може швидко замінити або модифікувати певні модулі для оптимізації функціональності або вирішення конкретних завдань без необхідності переробки всього робота.

Модульна конструкція дозволяє також спрощувати процес ремонту та обслуговування. У разі поломки або несправності окремого модуля, його можна відокремити та замінити на новий без великих затрат часу та ресурсів на діагностику та ремонт. Крім того, модульна конструкція сприяє ефективнішому використанню ресурсів під час виробництва та управління запасами. Компанії можуть створювати різноманітні конфігурації роботів на основі однакових базових модулів, що спрощує управління складом та зменшує витрати на розробку та виробництво.

Легка конструкція також є дуже важливим при розробці сучасних мобільних роботів і має кілька ключових переваг. Використання легких матеріалів, таких як алюміній, титан або карбонові волокна, дозволяє значно знизити вагу робота без втрати міцності. Це особливо важливо для роботів, які повинні бути маневреними та швидкими. Зменшення ваги робота має прямий вплив на його енергоефективність та час роботи. Легка конструкція дозволяє використовувати менше енергії для переміщення робота, що може підвищити його продуктивність та тривалість роботи на одному заряді акумулятора або зменшити залежність від частого підзаряджання [7].

Крім того, легка конструкція сприяє покращенню маневреності та стійкості робота. Зменшення маси дозволяє роботу швидше реагувати на зміни в умовах роботи, швидше рухатися та краще керувати балансом на нерівних або крутих поверхнях. Нарешті, легка конструкція робота сприяє зменшенню зносу та поломок механічних компонентів. Зменшення маси допомагає знизити навантаження на рухомі частини, мотори та інші механізми, що може продовжити їхню експлуатаційну тривалість і зменшити необхідність в ремонті.

Активна стабілізація використовується для підтримання робота у стабільному положенні навіть на нерівних або крутих поверхнях. Основними елементами активної стабілізації є датчики руху та системи керування, які спостерігають за положенням робота та автоматично коригують його рухи. Для досягнення стабільності робота може використовувати різні методи, такі як регулювання кута нахилу, переміщення центру ваги або застосування контрольованих рухів. Ці методи дозволяють роботу ефективно реагувати на зовнішні впливи та підтримувати оптимальне положення для виконання завдань [8].

Автономні системи навігації дозволяють сучасним мобільним роботам працювати без участі оператора. Ці системи використовують різноманітні сенсори та алгоритми для визначення свого місцезнаходження, виявлення перешкод та планування оптимального маршруту. Основними складовими автономних систем навігації є GPS, камери, ЛіДАР, радары, ультразвукові датчики та інші сенсори.

Системи навігації базуються на алгоритмах обробки даних та штучного інтелекту, які аналізують інформацію з сенсорів та приймають рішення щодо подальших дій робота. Ці алгоритми можуть враховувати різні фактори, такі як швидкість, напрямок руху, тип поверхні та наявність перешкод, для максимізації продуктивності та безпеки робота.

Однією з ключових переваг автономних систем навігації є їхній здатність пристосовуватися до змінних умов роботи та оточення без необхідності зовнішнього втручання. Вони можуть автоматично коригувати свій маршрут, уникати перешкод та реагувати на нові ситуації, що дозволяє роботу працювати ефективно в різних умовах та завданнях.

Високопродуктивні обчислювальні системи є необхідним компонентом сучасних мобільних роботів, оскільки вони забезпечують обробку великих обсягів даних та виконання складних обчислень в реальному часі. Ці системи можуть включати в себе потужні процесори, графічні прискорювачі,

апаратне прискорення штучного інтелекту та інші спеціалізовані пристрої для оптимізації обчислень. Однією з основних переваг високопродуктивних обчислювальних систем є їхній здатність працювати з великою швидкістю та ефективністю, що дозволяє мобільним роботам швидко реагувати на зміни в оточенні та виконувати складні завдання без затримок [9].

Крім того, високопродуктивні обчислювальні системи можуть підтримувати різноманітні алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє мобільним роботам адаптуватися до нових умов роботи, виконувати складні завдання розпізнавання образів та приймати рішення в реальному часі.

1.3 Аналіз систем керування мобільних роботів

Системи керування сучасними мобільними роботами включають в себе різноманітні компоненти та підсистеми, які спрямовані на управління рухами, діями та функціями робота. Першим ключовим компонентом системи керування є датчики, які збирають інформацію про оточуюче середовище, таку як відстань до перешкод, напрямок руху та стан поверхні. Ці дані передаються до центральної обчислювальної системи для подальшого аналізу та обробки.

Другим важливим компонентом є система планування траєкторій, яка визначає оптимальний маршрут руху робота на основі зібраної інформації та враховуючи вимоги завдання. Ця система може використовувати різні алгоритми та методи, такі як алгоритми пошуку найкоротшого шляху або методи штучного інтелекту [10].

Наступний компонент – система управління рухом, яка відповідає за надання команд руху робота, таких як рух вперед, назад, вліво або вправо. Ця система може контролювати різні механізми руху, такі як колеса, гусениці або ноги, в залежності від конструкції робота. Також є система управління

діями, яка відповідає за активацію та контроль різних робочих пристроїв або механізмів, що використовуються для виконання завдань, таких як збір інформації, підйом вантажів або виконання ремонтних робіт та система взаємодії, яка відповідає за комунікацію робота з оператором або зовнішніми системами. Ця система може використовувати різні методи комунікації, такі як радіозв'язок, Wi-Fi або Bluetooth, для передачі даних та отримання команд.

Система безпеки, яка відповідає за запобігання аваріям та забезпечення безпеки робота та оточуючого середовища. Ця система може включати в себе різні заходи, такі як автоматичне гальмування, виявлення перешкод та системи аварійного вимкнення. Не менш важливий елемент – система самодіагностики та обслуговування, яка відповідає за виявлення та вирішення проблем з функціонуванням робота. Ця система може автоматично виявляти несправності та надавати рекомендації щодо їх виправлення.

Хоча сучасні системи керування мобільними роботами відображають значний прогрес у сфері автоматизації та автономії, вони також мають свої недоліки. Одним з найбільш очевидних є обмеження у точності та швидкості обробки інформації. Наприклад, під час навігації у складних умовах, таких як місткий ландшафт або велика кількість перешкод, системи керування можуть бути менш ефективними через обмежену швидкість обробки сенсорних даних та велику кількість обчислень, які необхідно виконати [11].

Ще одним недоліком є нестабільність систем управління в умовах зі значними змінами середовища. Наприклад, роботи, які використовують зовнішню навігацію на основі GPS, можуть зазнавати проблем у зонах з високими будівлями або поганим сигналом, що може призвести до втрати сигналу та навіть аварій. Додатковим недоліком є вразливість систем до кібератак та вірусів. Якщо система керування роботом не забезпечена високим рівнем кіберзахисту, вона може стати мішенню для хакерів, які

можуть отримати доступ до контролю над роботом та виконувати небажані дії.

Для покращення цих систем важливо розвивати нові методи обробки даних та навігації, які були більш ефективними та стійкими до змін в оточенні. Наприклад, використання штучного інтелекту та машинного навчання може допомогти роботам краще адаптуватися до змін у середовищі та вдосконалити свої навички навігації.

Також можна вдосконалити системи керування шляхом впровадження новітніх методів кіберзахисту та забезпечення безпеки даних, щоб запобігти можливим кібератакам та втраті контролю над роботом. Наприклад, застосування шифрування даних та механізмів перевірки автентичності може допомогти забезпечити безпеку систем управління мобільними роботами [12].

1.4 Порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення мобільного робота

Проведемо порівняльний аналіз типів рухомих механізмів для переміщення мобільного робота, виявимо їх переваги та недоліки та представимо у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння різних типів рухомих механізмів для переміщення мобільного робота

Тип рухового механізму	Переваги	Недоліки
1	2	3
Колісна база	Ефективність на рівних поверхнях, простота конструкції та обслуговування, ефективність енергоспоживання	Обмеженість в маневреності на нерівних або м'яких дорогах, втрата тяги на крутих або слизьких поверхнях

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Гусенична база	Висока стабільність на нерівних поверхнях, здатність подолати перешкоди висотою та шириною, краще розподілення ваги на поверхню	Високий опір руху на рівних поверхнях, схильність до накопичення сміття та інших матеріалів
Крокові двигуни	Можливість пристосування до різних типів поверхонь, висока маневреність та здатність подолати перешкоди, ефективність на різноманітних типах поверхонь	Складніша конструкція порівняно з традиційними колесами, потреба у складніших системах управління

Гусеничні рухомі механізми мають декілька важливих переваг, які роблять їх привабливим вибором для багатьох застосувань у мобільних роботах. Перш за все, гусениці забезпечують високу стабільність та краще розподілення ваги робота на поверхню. Це дозволяє їм легше подолати нерівності, перешкоди та працювати на м'яких або крутих дорогах, де колеса можуть мати проблеми з тягою та стабільністю [13].

Другим важливим аспектом є здатність гусеничних систем до подолання перешкод висотою та шириною. Гусениці можуть легко подолати перешкоди, такі як камені, брук або руїни, які можуть стати непридатними для колісних механізмів. Це робить гусеничний тип особливо корисним у роботах, які потребують руху в умовах, де інші типи механізмів можуть втратити тягу або стати уразливими до пошкоджень.

Крім того, гусеничні рухомі механізми можуть бути більш ефективними на різних типах поверхонь, включаючи сніг, пісок або болота. Їхній широкий контакт з поверхнею дозволяє рівномірно розподіляти вагу робота та забезпечує краще зчеплення з ґрунтом. Таким чином, гусеничні рухомі механізми є оптимальним вибором для роботів, які працюють у важких умовах або в територіях з непередбачуваними перешкодами [14].

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА ТА ВИБІР АПАРАТНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ

2.1 Розробка концепту мобільного робота

Розробка концепції мобільного робота перед процесом створення 3D-моделі є ключовою для досягнення успішного результату. Перш за все, концепція допомагає чітко сформулювати вимоги до робота та його функціональні можливості, визначити його цільове призначення та область застосування. Крім того, розробка концепції дозволяє визначити оптимальну конфігурацію та розміри робота, а також вибрати найбільш підходящі матеріали та компоненти для його виготовлення. Концепція також дозволяє заздалегідь виявити можливі проблеми та вирішити їх на етапі проектування, що значно збільшує ефективність розробки та знижує витрати часу та ресурсів. Крім того, завдяки концепції можна провести детальний аналіз конкурентного середовища та знайти нішу для власного продукту.

Проводячи аналіз технічного завдання, можемо бачити, що розроблюваний мобільний робот повинен виконувати наступні завдання:

- моніторинг та інспекція, робот може використовуватися для моніторингу стану інфраструктури, такої як дороги, мости, тунелі, а також для інспекції будівель та інженерних споруд;

- діагностика, за допомогою камери ESP32-Cam, робот може проводити візуальну діагностику технічного стану об'єктів, виявляти пошкодження або відмінності від стандартів;

- виявлення витоків та розливів, робот може бути використаний для пошуку та виявлення витоків рідин або розливів шкідливих речовин;

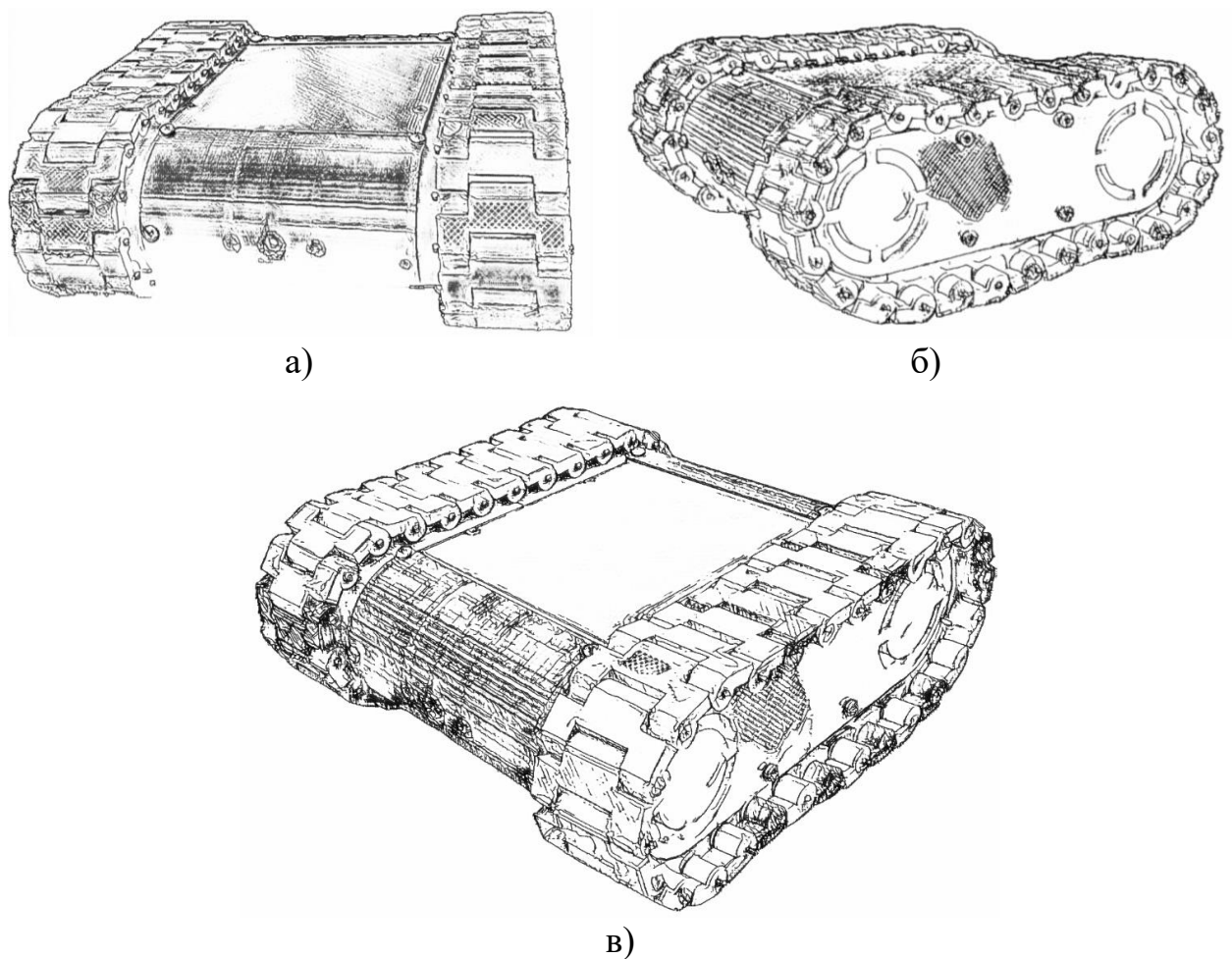
- картування, робот може сканувати територію та створювати 3D-карти для подальшого аналізу та планування при встановленні на нього LiDAR;

– безпека, робот може бути використаний для виявлення небезпечних ситуацій, таких як пожежі, викиди шкідливих речовин або незаконне вторгнення;

– моніторинг довкілля, робот може використовуватися для моніторингу рівня забруднення повітря, води та ґрунту, а також для виявлення зон екологічного ризику;

– доставка невеликого обладнання, робот може використовуватися для доставки додаткового обладнання або інструментів на важкодоступні ділянки.

Виходячи з цього, було розроблено наступний концепт мобільного робота, який представлено на рисунку 2.1.



а) вид спереду; б) вид збоку; в) ізометрія

Рисунок 2.1 – Концепт мобільного робота

Обрана конструкція концепту мобільного робота з розмірами: ширина 19 см, довжина 19 см, висота 7,5 см, має ряд переваг. Її компактність дозволяє роботу легко маневрувати в обмежених просторах, таких як техногенні катастрофи. Малі розміри сприяють універсальності робота, що може виконувати завдання в різних умовах. Крім того, ця конструкція є ефективною у використанні ресурсів, оскільки дозволяє оптимізувати використання матеріалів та компонентів. Легкість управління і маневреність робота забезпечують ефективність у виконанні завдань. Компактні розміри сприяють також легкості транспортування і зберігання робота. Така конструкція є ергономічною та дозволяє роботу працювати ефективно в різних умовах і взаємодіяти з оточуючим середовищем без перешкод.

2.2 Розробка структурної схеми мобільного робота

Розробка структурної схеми для мобільного робота є важливим етапом у його створенні та експлуатації. Цей процес дозволяє чітко визначити функціональність робота, організувати її в логічну послідовність та визначити необхідні компоненти та модулі. Структурна схема допомагає керувати складністю роботи, розбиваючи її на менші підсистеми і визначити взаємозв'язки між компонентами. Вона також сприяє підвищенню надійності робота, оскільки дозволяє виявляти можливі проблеми на етапі проектування. Крім того, структурна схема уможливорює легке розширення та модифікацію функціональності робота у майбутньому і спрощує його підтримку та ремонт. Таким чином, розробка структурної схеми є важливим кроком у забезпеченні ефективної та надійної роботи мобільного робота. В рамках даної кваліфікаційної роботи, виходячи з проведеного аналізу та розробленого концепту мобільного робота (рис. 2.1), пропонується наступна структурна схема керування мобільного робота на базі ESP32-Cam, яка представлена на рисунку 2.2.

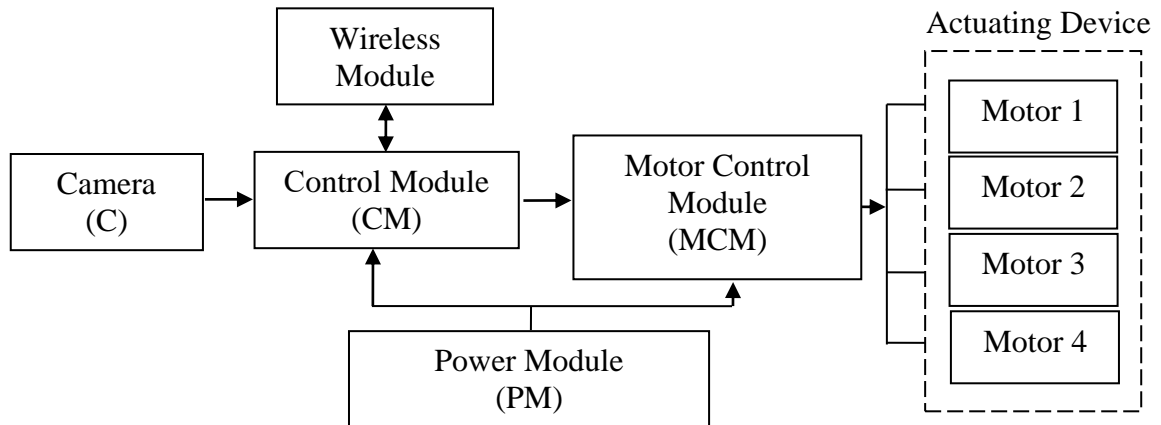


Рисунок 2.2 – Структурна схема керування мобільного робота на базі ESP32-Cam

Camera (C) – необхідний для забезпечення можливості візуального сприйняття оточуючого середовища. Цей модуль дозволяє роботу отримувати зображення з оточуючого середовища та використовувати їх для прийняття рішень, таких як навігація, виявлення об'єктів або розпізнавання облич.

Control Module (CM) – відповідає за керування рухом та поведінкою робота. Цей модуль отримує вхідні дані від сенсорів та інших джерел, обробляє їх і видає відповідні команди для керування моторами, сервоприводами та іншими актуаторами. Крім того, модуль управління може включати в себе алгоритми навігації, планування маршруту та управління взаємодією з оточуючим середовищем.

Wireless Module – дозволяє роботу комунікувати з іншими пристроями, наприклад, з комп'ютером, смартфоном або іншими роботами. Бездротовий зв'язок використовується для передачі даних, команд управління, отримання відеопотоку з камери робота, взаємодії з користувачем через мобільний додаток або веб-інтерфейс, а також для реалізації бездротових мереж для спільної роботи кількох роботів.

Power Module (PM) – модуль живлення, в мобільному роботі відіграє важливу роль у забезпеченні живлення всіх компонентів робота. Він відповідає за перетворення напруги з джерела живлення на потрібні рівні для живлення моторів, контролерів, сенсорів та інших електронних пристроїв. Модуль живлення також може включати захисні функції, які запобігають пошкодженню робота від перенапруги або перевантаження.

Motor Control Module (MCM) – модуль керування двигуном в мобільному роботі відповідає за керування рухом і поведінкою моторів робота. Цей модуль приймає команди від модуля управління (Control Module) і видає відповідні сигнали для керування швидкістю, напрямком та іншими параметрами руху моторів. Модуль керування двигуном може включати в себе додаткові функції, такі як контроль струму, захист від перегріву або вбудований ПІД-регулятор для точного керування рухом.

Motor1, ..., Motor4 – використовуються для приводу, які забезпечують рух робота. Кожен мотор відповідає за привід певної частини робота і керується за допомогою модуля керування двигуном (Motor Control Module, MCM). Разом ці мотори дозволяють роботу рухатися вперед, назад, поворотами та виконувати різні маневри в залежності від програми керування.

2.3 Аналіз та вибір апаратних модулів

Відповідно до розробленої структурної схеми керування мобільного робота на базі ESP32-Cam (рис. 2.2) необхідно провести аналіз та вибір апаратних модулів. Базуючись на технічному завданні у ролі Control Module (CM) буде використовуватися модуль ESP32-Cam, технічні характеристики якого приведені в таблиці 2.1, а загальний вид та призначення пінів інтерфейсу GPI представлено на рисунку 2.3.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики модуля ESP32-Cam

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ESP32 (двоядерний, 32-біт)
Частота процесора	До 240 МГц
WiFi	802.11 b/g/n (2,4 ГГц)
Bluetooth	Bluetooth 4.2 BLE
Камера	OV2640 (2 мегапікселя)
Роздільна здатність камери	1600 x 1200 (UXGA)
Підтримувані формати зображень	JPEG, BMP, GIF, PNG
Пам'ять	Вбудована Flash-пам'ять: 4 Мб
	Вбудована PSRAM: 4 Мб
	Зовнішня пам'ять: microSD (до 4 Гб)
Інтерфейс	UART, SPI, I2C, I2S, PWM, GPIO
Операційна напруга	2,2 В – 3,6 В
Споживана потужність	В режимі сну: < 5 мкА
	Режим відправки Wi-Fi: < 200 мА
Розміри	27 мм x 40,5 мм
Операційна температура	-40 °C до +125 °C

Інтерфейс GPIO (General Purpose Input/Output) в модулі ESP32-Cam – це набір пінів, які можна використовувати для зчитування введених даних (вхідні піни) або для виведення сигналів (вихідні піни). GPIO піни можуть використовуватися для підключення до зовнішніх пристроїв, таких як сенсори, вивідні пристрої, реле, тощо.

У модулі ESP32-Cam є певна кількість GPIO пінів, які можуть бути налаштовані для вхідного або вихідного режиму за допомогою програмного забезпечення. Це дозволяє взаємодіяти з різними пристроями та компонентами, що розширює можливості використання модуля ESP32-Cam в різних проектах [15].

Таблиця 2.2 – Порівняння технічних характеристик драйверів двигунів: L298N, L9110N та MX1508

Характеристика	L298N	L9110S	MX1508
Кількість каналів	2 (підтримка двох двигунів)	1 (підтримка одного двигуна)	1 (підтримка одного двигуна)
Напруга живлення	5 В – 35 В	2,5 В – 12 В	2,5 В – 10 В
Максимальний струм	2 А	0,8 А	1,5 А
Метод керування	Н-міст (для керування в двох напрямках)	Н-міст (для керування в двох напрямках)	Н-міст (для керування в двох напрямках)
Підтримувані мікроконтролери	Arduino, Raspberry Pi, інші	Arduino, Raspberry Pi, інші	Arduino, Raspberry Pi, інші
Додаткові функції	Регулятор обертового моменту, захист від перевантаження	Відсутні	Відсутні
Розмири	43,5 мм x 43,2 мм x 29,4 мм	30 мм x 24 мм x 15 мм	24,7 мм x 21 мм x 5 мм
Ціна	~ 75-100 грн.	~ 200 грн.	~ 30-50 грн.

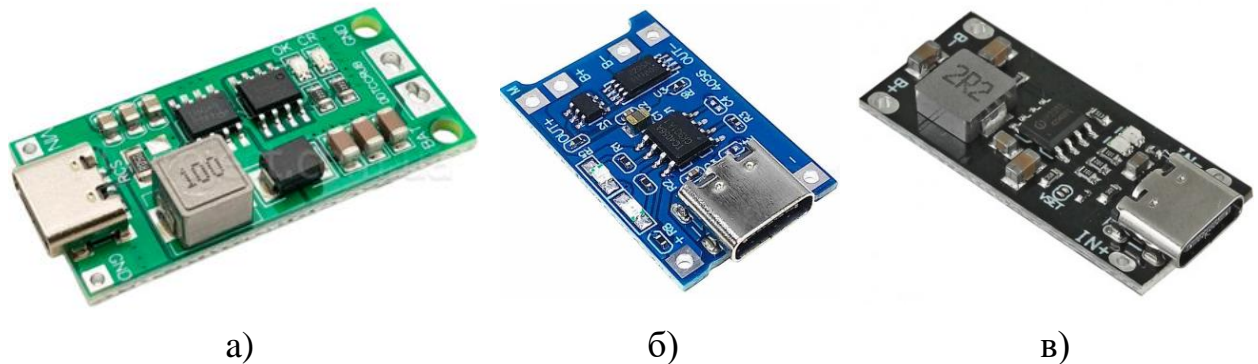
Як можна бачити з таблиці 2.2, модуль драйвера двигунів L298N є більш потужним і функціональним, порівняно з модулем L9110S. L298N підтримує два двигуни одночасно і може керувати їми у двох напрямках (вперед і назад) з допомогою PWM сигналу. Він також має вбудований регулятор обертового моменту та захист від перевантаження, що дозволяє ефективно керувати потужними двигунами.

Модуль MX1508 також може керувати двигунами у двох напрямках, але він має меншу потужність і можливості, порівняно з L298N. Він підтримує тільки один двигун і не має вбудованого регулятора обертового моменту або захисту від перевантаження, що робить його менш універсальним для потужних застосувань. У порівнянні з L9110S, L298N теж має більше можливостей, таких як керування в двох напрямках і підтримка двох двигунів одночасно. L9110S, незважаючи на свою простоту, може бути

корисним для менших проектів або там, де вимоги до потужності не такі великі. Отже, виходячи з умов технічного завдання нам потрібен більш потужний та універсальний драйвер для керування потужними двигунами, L298N буде кращим вибором [16-18].

Наступним кроком необхідно обрати апаратні модулі для реалізації Power Module (PM) відповідно до розробленої структурної схеми (рис. 2.2). Для цього пропонується використовувати наступні апаратні модулі BMS контролер зарядки для акумуляторів 18650 серій.

BMS (Battery Management System) контролер – це пристрій, який використовується для управління та контролю літій-іонними або літій-полімерними акумуляторами. Основна функція BMS – це забезпечення безпеки та надійності під час зарядки та розрядки акумулятора. Проведемо аналіз та вибір модуля BMS, загальний вид обраних модулів представлено на рисунку 2.5, а порівняння їх технічних характеристик представлено в таблиці 2.3.



а) підвищуючий модуль заряду Li-on 18650 (2S 1A/2A/4A 8.4V) Type-C [19];

б) модуль зарядки Type-C для Li-ion акумуляторів TP4056 [20];

в) контролер заряду акумуляторів на IP2312, 5V/3A, Type-C [21]

Рисунок 2.5 – Загальний вид апаратних модулів BMS контролерів

Таблиця 2.3 – Порівняння технічних характеристик модулів BMS контролерів

Характеристика	Апаратні модулі BMS контролерів		
	Підвищуючий модуль заряду Li-on 18650 (2S) Type-C	Модуль зарядки Type-C для Li-ion акумуляторів TP4056	Контролер заряду акумуляторів на IP2312, 5 В/3 А, Type-C
Максимальна потужність (Вт)	8,4 В, 1 А/2 А/4 А	4,2 В, 1 А	5 В, 3 А
Кількість клітин (S)	2	1	1
Тип інтерфейсу зарядки	Type-C	Type-C	Type-C
Захист від перевантаження	Так	Так	Так
Захист від недозаряду	Так	Так	Так
Балансування клітин	Ні	Ні	Ні
Розмири, мм	39 x 18 x 6,3	17 x 26 x 3,8	23 x 11 x 4,1
Ціна	~ 67 грн.	~ 18 грн.	~ 40 грн

Як можна бачити з таблиці 2.3, модуль BMS контролера заряду Li-on 18650 (2S) Type-C може бути кращим вибором, порівняно з модулем модуль зарядки Type-C для Li-ion акумуляторів TP4056 або контролером заряду акумуляторів на IP2312, 5В/3А, Type-C з кількох причин. По-перше, модуль підвищуючий модуль заряду Li-on 18650 (2S) Type-C підтримує вищу максимальну потужність (8,4В, 1А/2А/4А), що може бути корисним для швидшого заряджання або для використання з потужнішими акумуляторами. Крім того, якщо потрібно заряджати більше однієї клітини акумулятора, модуль підвищуючий модуль заряду Li-on 18650 (2S) Type-C підтримує 2 клітини, що може бути важливим для певних застосувань. Також, він може мати більше функцій захисту, таких як захист від перевантаження, недозаряду, короткого замикання, тощо, що забезпечує більшу безпеку для акумуляторів та пристроїв. Нарешті, модуль підвищуючий модуль заряду Li-

оп 18650 (2S) Type-C може бути більш універсальним застосуванням, оскільки підтримує більше клітин і вищу потужність, що робить його більш гнучким у використанні [18-21].

2.4 Розробка схеми підключення

Розробка схеми підключення при проектуванні мобільного робота на ESP32-Cam є дуже важливою, оскільки вона дозволяє правильно планувати та виконувати підключення всіх компонентів і модулів до мікроконтролера. Перш за все, на схемі будуть показані всі необхідні підключення мікроконтролера ESP32-Cam до живлення, а також до інших електронних компонентів, таких як датчики, мотори, модулі зв'язку тощо. Крім того, схема може містити підключення датчиків відстані для виявлення перешкод, датчиків керування рухом, а також підключення до модулів Wi-Fi або Bluetooth для бездротового керування. Схема підключення також може містити інші важливі елементи, такі як регулятори напруги для живлення різних компонентів, конденсатори для стабілізації напруги, а також підключення для програмування та налагодження мікроконтролера. Всі ці елементи дозволяють забезпечити ефективну роботу мобільного робота на ESP32-Cam і допомагають уникнути можливих проблем з підключенням і виконанням програми.

Середовище розробки Fritzing чудово підходить для проектування схем підключення мобільного робота на базі ESP32-Cam з кількох причин. По-перше, Fritzing має простий та зрозумілий інтерфейс, що робить його досить легким у використанні для початківців. Вона також надає можливість використовувати графічний інтерфейс для створення схем, що полегшує розташування та підключення компонентів. Крім того, Fritzing має велику бібліотеку компонентів, включаючи ESP32-Cam та інші електронні компоненти, що робить його ідеальним для проектів IoT. Також варто

відзначити, що Fritzing дозволяє створювати схеми з простими та зрозумілими маркерами, що полегшує розуміння схеми для інших користувачів. Нарешті, Fritzing може генерувати вигляд печатної плати з вашої схеми, що є важливою функцією для подальшого виготовлення реального прототипу мобільного робота.

Для підключення апаратних модулів ESP32-Cam, модуля L298N, чотирьох двигунів DC 3-6 V, BMS модуля заряду Li-on 18650 (2S) Type-C та двох акумуляторів 18650 можна використати таку схему підключення. Спочатку ESP32-Cam підключається до живлення і землі модуля L298N. Піни керування двигунами ESP32-Cam підключаються до відповідних пінів IN1-IN4 модуля L298N. Живлення модуля L298N підключається до живлення і землі BMS модуля. Двигуни підключаються до виходів OUT1-OUT4 модуля L298N. Вихід акумуляторів 18650 підключається до входу живлення BMS модуля, а виходи BMS модуля – до входів живлення модуля L298N. На цьому етапі схема підключення готова до використання. Ця схема дозволяє керувати чотирма двигунами за допомогою ESP32-Cam, використовуючи модуль L298N для керування потужністю, та забезпечує безпеку та оптимальне зарядження акумуляторів за допомогою BMS модуля. Розроблена схема підключення апаратних модулів мобільного робота на ESP32-Cam представлена на рисунку 2.5.

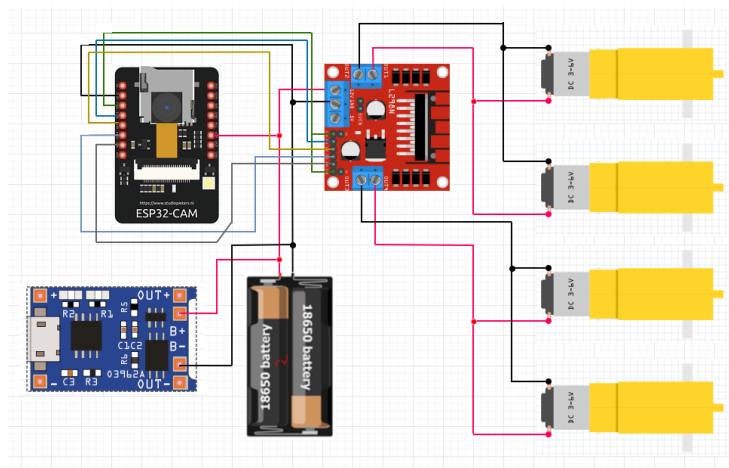


Рисунок 2.5 – Схема підключення апаратних модулів мобільного робота

Розроблена схема підключення має декілька переваг. По-перше, вона дозволяє ефективно керувати чотирма двигунами за допомогою ESP32-Cam, що відкриває широкі можливості для реалізації різних рухомих або маніпуляційних функцій у мобільному роботі. Крім того, використання модуля L298N для керування потужністю дозволяє забезпечити стабільну роботу двигунів та захист від перенапруги чи короткого замикання. Також, використання BMS модуля для заряду акумуляторів 18650 забезпечує безпеку під час заряджання та розряджання акумуляторів, що є важливим для підтримки їхньої тривалої роботи. Крім того, така схема підключення досить компактна та ефективна, що дозволяє зберігати простір у корпусі мобільного робота для інших компонентів або модулів. В цілому, ця схема підключення допоможе забезпечити стабільну та ефективну роботу мобільного робота на базі ESP32-Cam з чотирма двигунами та акумуляторами 18650.

2.5 Розрахунок витрат енергії для керування рухом мобільного робота

Для розрахунку витрат енергії спочатку визначимо загальну потужність, що споживається системою:

Витрата енергії для керування рухом (витрата енергії на одному моторі (P_{motor})):

$$P_{motor} = U \cdot I_{nom} , \quad (2.1)$$

де U – напруга живлення, 6 В;

I_{nom} – номінальний струм, 250 мА.

Витрата енергії на всі 4 мотори (P_{all_motor}):

$$P_{all_motor} = 4 \cdot P_{motor} . \quad (2.2)$$

Витрата енергії (P_{camera}) для роботи камери OVE2560:

$$P_{camera} = U \cdot I_{work}, \quad (2.3)$$

де I_{work} – робочий струм, 0,35 мА;

U – напруга живлення, 5 В.

Витрата енергії для драйвера двигуна L298N (P_{driver}):

$$P_{driver} = U \cdot I_{driver}, \quad (2.4)$$

де I_{driver} – робочий струм драйвера двигуна L298N, 2 А;

U – напруга живлення, від 5 В – 12 В.

Внаслідок чого загальна витрата енергії буде рівнятися сумі, вираженій (2.1)-(2.4) та розраховуватися за наступною формулою:

$$P_{total} = P_{motors} + P_{camera} + P_{driver}. \quad (2.5)$$

Робочий час системи на одному заряді:

$$T_{work} = \frac{E_{total}}{P_{total} \cdot N_{cells} \cdot V_{cell}}, \quad (2.6)$$

де E_{total} – енергія одного заряду;

N_{cells} – кількість акумуляторів, 2×18650 ;

V_{cell} – напруга одного акумулятора, 3,7 В.

Підставимо значення в розрахункові формули (2.1)-(2.6) та отримаємо наступні результати розрахунку загальна витрата енергії та робочий час системи на одному заряді:

$$P_{total} = P_{motors} + P_{camera} + P_{draiver} = 6 + 2,1 + 12 = 18,1 \text{Вт}, \quad (2.7)$$

$$E_{total} = N_{cells} \cdot V_{cells} = 2 \cdot 3,7 = 7,4 \text{Вт} \cdot \text{год}, \quad (2.8)$$

$$T_{work} = \frac{E_{total}}{P_{total}} = \frac{7,4}{18,1} \approx 0,409 \text{год} \approx 24,56 \text{хв}. \quad (2.9)$$

Як можна бачити з (2.9), розроблена система керування живленням мобільного робота на базі ESP32-Cam на базі 2 акумуляторів 19650 серії може працювати в автономному режимі приблизно 24,56 хвилин.

2.6 Розробка 3D моделей конструкції мобільного робота

Обґрунтування вибору Autodesk Tinkercad для розробки 3D моделей конструкції мобільного робота може бути наступним. По-перше, Tinkercad є безкоштовним та відомим середовищем для моделювання 3D, що робить його доступним для широкого кола користувачів, включаючи початківців та студентів. Він має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє легко створювати складні 3D моделі без необхідності великого досвіду у дизайні. Крім того, Tinkercad має широкий вибір інструментів для створення різноманітних деталей та конструкцій, що дозволяє реалізувати різні ідеї та концепції для мобільного робота. Додатково, в Tinkercad можна імпортувати готові 3D моделі або експортувати свої проекти для подальшого використання у програмах для друк 3D або розробки. Також важливою перевагою є можливість спільної роботи над проектами, що дозволяє командам спільно працювати над розробкою конструкцій мобільного робота. В цілому, Autodesk Tinkercad є потужним та зручним інструментом для розробки 3D моделей конструкцій мобільного робота, який може задовольнити потреби як початківців, так і досвідчених користувачів.

Використовуючи вбудовані функції AutoDesk Tinkercad 3D були побудовані всі конструкторські елементи відповідно до розробленого концепту мобільного робота (рис. 2.1). Приклад розробки 3D моделі кріплення відомого котка мобільного робота в середовищі 3D проектування AutoDesk Tinkercad представлено на рисунку 2.6.

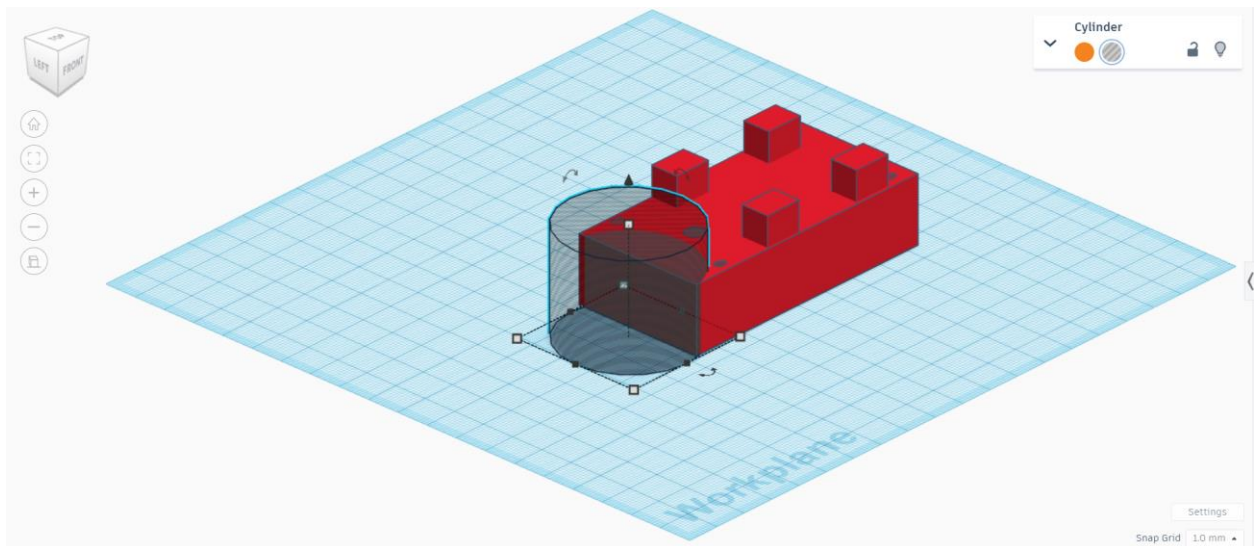


Рисунок 2.6 – Приклад розробки 3D моделі кріплення відомого котка мобільного робота в середовищі 3D проектування AutoDesk Tinkercad

Як можна бачити з рисунку 2.6, для проектування деталі кріплення відомого котка мобільного робота можна скористатися такими методами. Почніть зі створення базової форми, яка відповідатиме розмірам та формі кріплення. Додайте необхідні додаткові елементи, такі як кільця або проточки, для забезпечення правильного кріплення до іншої деталі. Використовуйте можливості об'єднання та віднімання форм для створення потрібної форми кріплення. Редагуйте форму, додавайте деталі та коригуйте розміри, щоб добитися точності та функціональності кріплення. Використовуйте функцію "Лінійка" для створення точних вимірів та розміщення отворів для кріплення. Використовуючи дані функцій, були розроблені наступні деталі мобільного робота, які представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Загальний вид та опис призначення розроблених 3D моделей деталей конструкції мобільного робота

Загальний вид 3D моделі деталі	Призначення
	<p>Кріплення відомого котка мобільного робота використовується для монтажу відомого або ведущого котка. Також воно може застосовуватися для захисту внутрішніх компонентів робота та покращення його зовнішнього вигляду</p>
	<p>Ведучий коток в гусеничному мобільному роботі – це елемент конструкції, який відповідає за керування рухом робота. Він може бути здійснений у вигляді спеціальної гусеничної системи з моторами та іншими компонентами, що дозволяють роботу переміщатися вперед, назад або обертатися на місці</p>
	<p>Елемент для кріплення DC двигунів для мобільного робота – це конструкційний елемент, призначений для закріплення DC двигунів на рамі або іншій частині робота. Зазвичай має отвори або кріпильні точки для кріплення двигунів за допомогою кріпильних засобів, забезпечує надійне кріплення двигунів і дозволяє їх встановити у відповідному положенні для правильної роботи механізму передачі руху або іншої механічної системи</p>
	<p>Елемент захисту ведучого колеса мобільного гусеничного робота – конструкційний елемент, який призначений для захисту ведучого колеса від пошкоджень та зносу під час руху по різноманітним поверхням</p>
	<p>Звено гусеничного тракта мобільного робота – один із елементів конструкції гусеничної системи, який складається з гусениці та кріпильних елементів, що з'єднують гусеницю з рамою робота. Звено гусеничного тракта відповідає за передачу руху від приводу (наприклад, мотора) до гусениці, забезпечуючи тим самим рухомість робота по різних поверхнях</p>

2.7 Розробка 3D моделей складання мобільного робота

Наступним етапом є розробка деталізованої 3D моделі складання мобільного робота на базі ESP32-Cam. Вибір CAD-системи SolidWorks для розроблення 3D-моделі мобільного робота обґрунтовано її широкими можливостями в галузі механічного проєктування та багаторічними успіхами в інженерній сфері. SolidWorks надає інтуїтивний інтерфейс і потужні інструменти, даючи змогу створювати складні механічні конструкції з високою точністю. Її інтеграція з системами CAM забезпечує ефективну підготовку до 3D-друку, роблячи SolidWorks оптимальним вибором для розроблення інноваційних і технічно складних проєктів, таких як мобільні роботи. На базі CAD-системи SolidWorks було спроектовано деталізовану збірку малогабаритного мобільного робота, "Explosion" модель представлено на рисунок 2.7

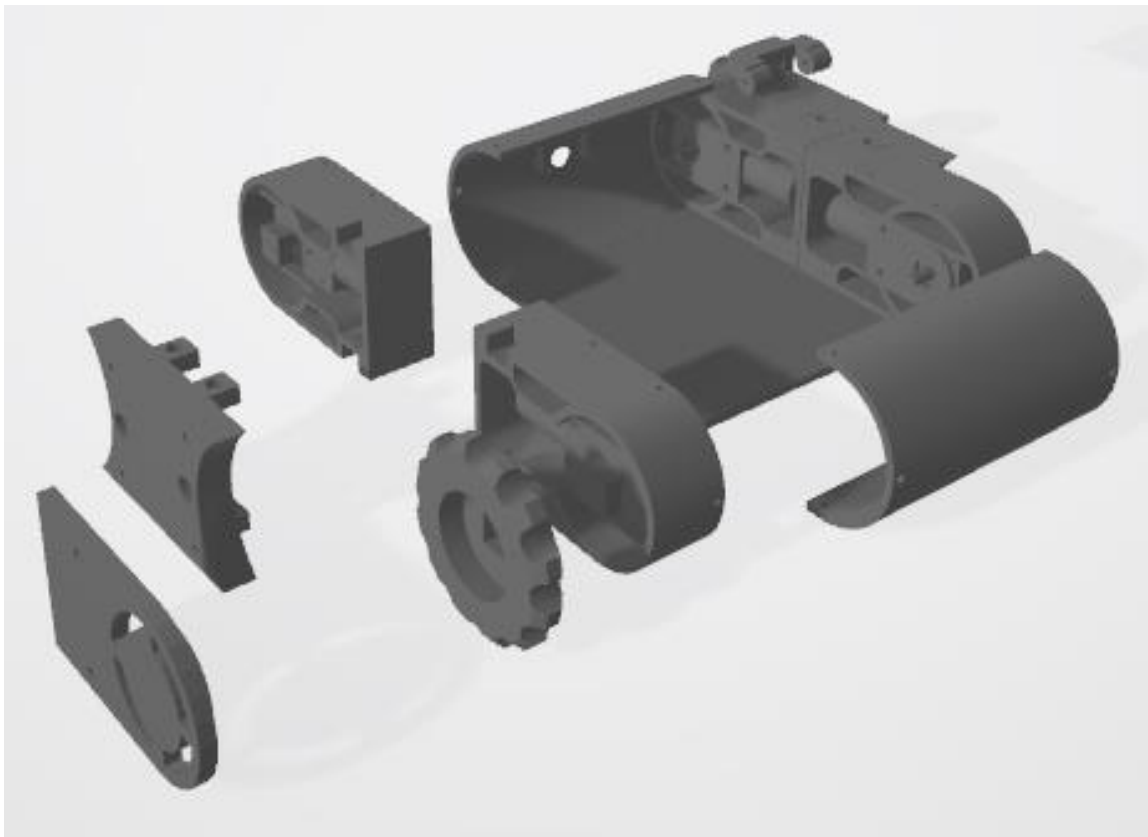


Рисунок 2.7 – "Explosion " 3D модель зборки мобільного робота

Як можна бачити з рисунку 2.7, "Explosion" 3D модель зборки мобільного робота показує всі складові частини та їх взаємозв'язок в розірваному вигляді. Це дозволяє побачити, як різні компоненти взаємодіють та як вони розташовані один відносно одного всередині робота. Така модель може бути корисною для розуміння принципу дії робота, для виявлення можливих проблем або для навчання збирання та обслуговування робота.

2.8 Друк деталей мобільного робота на базі 3D принтера

Для отримання фізичних конструкцій спроектованого мобільного робота для збірки макета, скористаємося методом аддитивних технологій 3D друку. Розроблені моделі деталей за допомогою програми UltiMaker Cura 5.2.2 підготуємо до друку. Для цього необхідно виставити наступні налаштування 3D друку, як представлено на рисунку 2.8. При налаштуванні 3D друку в програмі Ultimaker Cura 5.2.2 для друку PLA пластиком потрібно врахувати кілька важливих аспектів.

Перш за все, важливо правильно вибрати налаштування для матеріалу та типу друкарської головки. Для PLA зазвичай використовують температуру друку в діапазоні 190-220 градусів Цельсія, але в нашому випадку температура складає 245 градусів Цельсія. Далі, слід уважно налаштувати швидкість друку, шаруватість та заповнення моделі. Для PLA рекомендується використовувати швидкість друку близько 50-70 мм/с, шаруватість від 0,1 мм до 0,3 мм та заповнення від 20 % до 50 %, в залежності від потреби у міцності деталі. Також важливо налаштувати підтримку для моделі, якщо вона має виступаючі елементи або виступає з відбійної платформи. Підтримка допомагає уникнути деформацій та допомагає створити детальну модель.

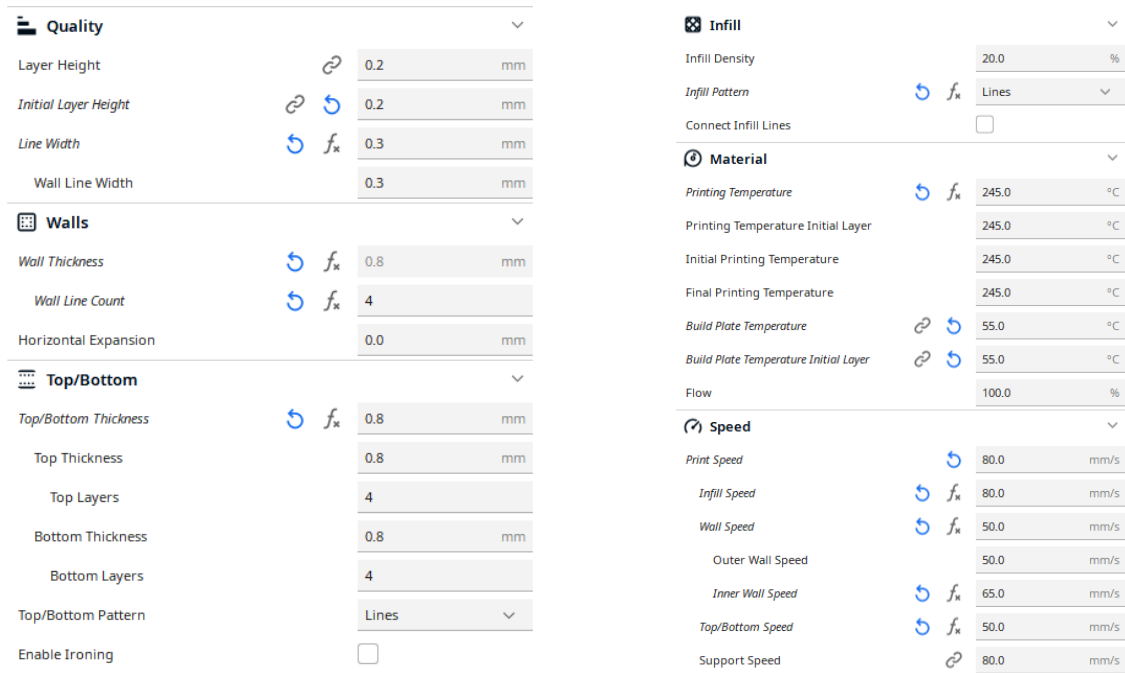
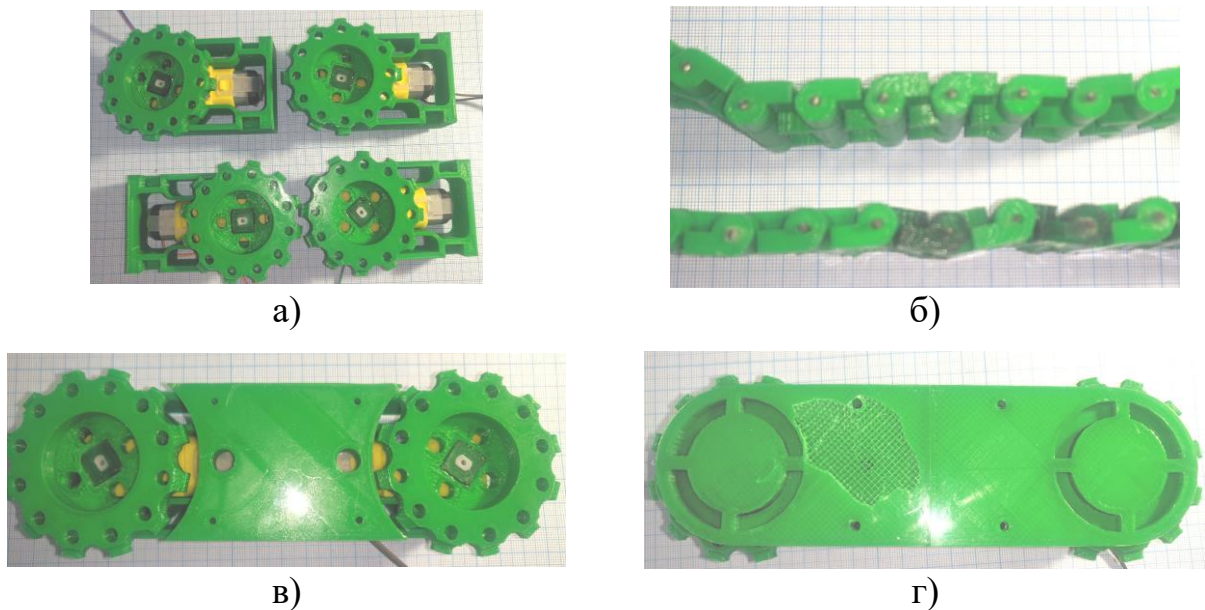


Рисунок 2.8 – Налаштування 3D друку мобільного робота в програмі
UltiMaker Cura 5.2.2

Отриманий результат 3D друку розроблених моделей деталей мобільного робота представлено на рисунку 2.9.

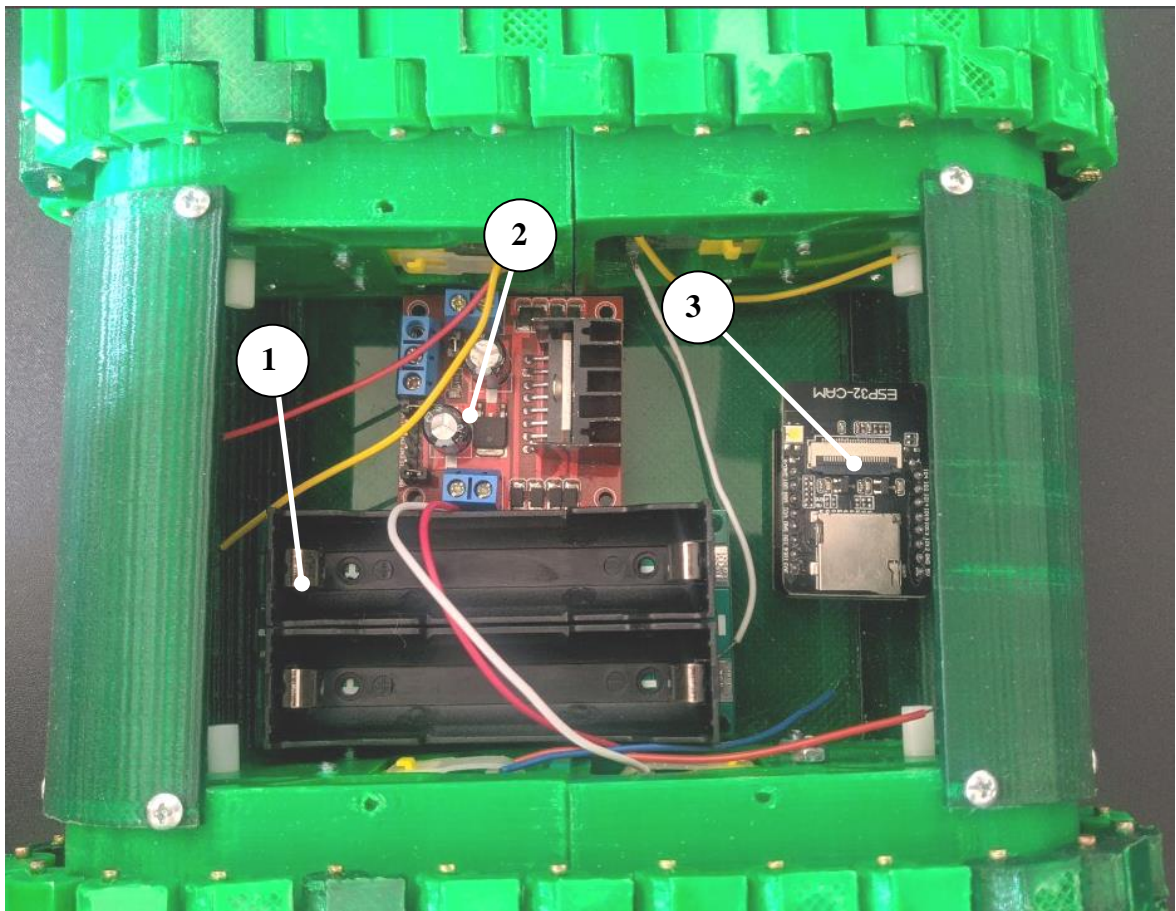


а) кріплення DC двигунів з катками; б) гусениця мобільного робота у зборі;
в) передній та задній коток; г) зібраний елемент рушія мобільного робота

Рисунок 2.9 – Отриманий результат 3D друку розроблених деталей МР

2.9 Складання макета мобільного робота

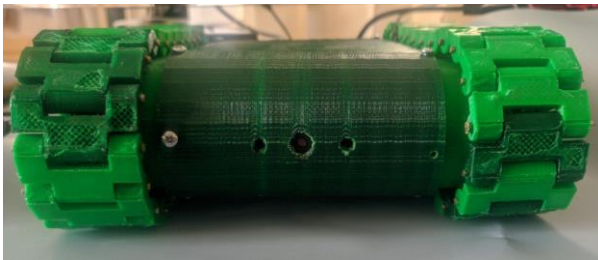
Відповідно до розробленої структурної схеми (рис. 2.2) та схеми підключення апаратних модулів мобільного робота (рис. 2.5), проведемо складання макету мобільного робота на базі ESP32-Cam. Внутрішня компоновка апаратних модулів всередині мобільного робота представлена на рисунку 2.10.



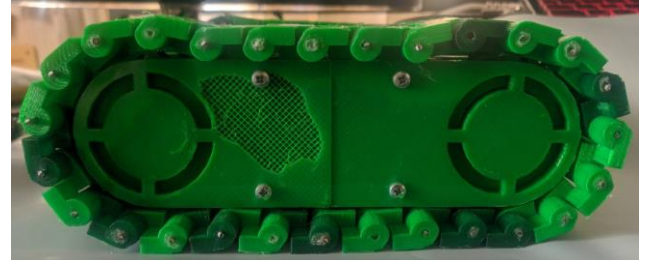
1 – модуль живлення мобільним роботом (2×акумулятора 18650), на зворотній стороні знаходиться BMS модуль зарядки Type-C для Li-ion акумуляторів TP4056; 2 – модуль драйвера двигуна L298N; 3 – система керування мобільним роботом на базі ESP32-Cam з підключеною камерою OVE2650

Рисунок 2.10 – Внутрішня компоновка апаратних модулів всередині мобільного робота

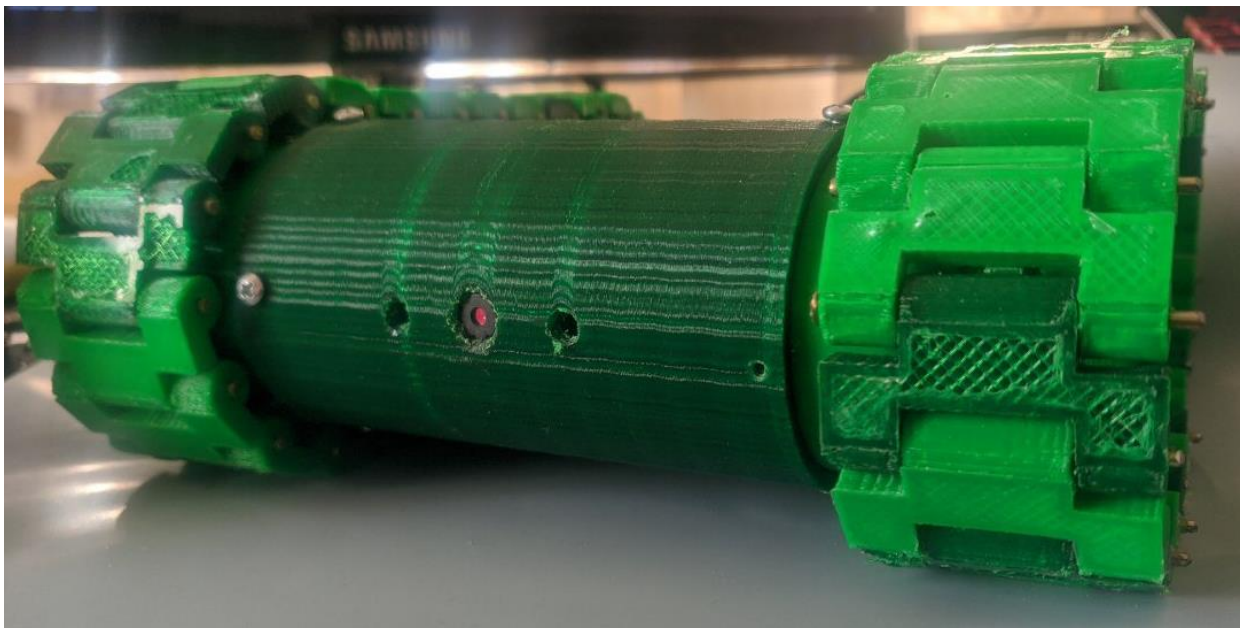
Загальний вид зібраного макету мобільного робота представлено на рисунку 2.11.



а)



б)



с)

а) вид спереду; б) вид збоку; с) вид ізометрія

Рисунок 2.11 – Загальний вид зібраного макету мобільного робота

2.10 Перевірка системи на стійкість

Автоматичне керування виконавчими пристроями мобільних роботів є ключовим аспектом сучасних систем робототехніки. Виконавчий пристрій, як правило, включає в себе мотор, привід або інший механізм, який перетворює електричні сигнали на механічний рух, забезпечуючи виконання завдань, поставлених перед роботом. Для ефективного проектування таких

систем необхідно розробити математичну модель, яка описує поведінку виконавчого пристрою в часі та частотній області.

Передаточна функція виконавчого двигателя за кутом повороту має вигляд (якщо знехтувати індуктивністю ланцюга якоря):

$$W_{\delta}(p) = K_{\delta} / p(T_{\delta}p + 1), \quad (2.10)$$

де K_{δ} – коефіцієнт підсилення двигуна, рад/В·с;

T_{δ} – електромеханічна постійна часу.

Коефіцієнт підсилення двигуна:

$$K_{\delta} = \frac{\omega_H}{U_H}, \quad (2.11)$$

$$K_{\delta} = 261,6 / 220 = 1,19 \text{ рад/В} \cdot \text{с}.$$

Електромеханічна постійна часу:

$$T_{\delta} = \frac{R_{\delta} \cdot J_c \cdot \alpha}{C_m \cdot C_c}, \quad (2.12)$$

де $\alpha = 1,2$ – постійний коефіцієнт;

J_c – сумарний момент інерції, наведений до валу двигуна, що визначається за формулою (2.13).

$$J_c = J_{\delta} + J_p + \frac{J_0}{i_p^2 \cdot \eta_p}. \quad (2.13)$$

Тоді, ґрунтуючись на вищевикладених розрахунках:

$$J_c = 0,125 + 0,0001 + \frac{30}{106,9^2 \cdot 0,72} = 0,82,$$

$$C_m = \frac{M_H}{I_H}, \quad (2.14)$$

$$C_m = \frac{19,1}{27,2} = 0,7,$$

$$C_c = \frac{K_{EMП}}{(T_y p + 1)(T_{к.з.} p + 1)}, \quad (2.15)$$

$$C_c = \frac{220 - 1,2 \cdot 0,164 \cdot 27,2}{261,6} = 0,82.$$

Електромеханічна постійна часу дорівнює:

$$T_\delta = \frac{1,2 \cdot 0,129 \cdot 0,164}{0,82 \cdot 0,7} = 0,044.$$

Тоді, безпосередньо для наших даних маємо:

$$W_\delta(p) = \frac{1,19}{p(0,044p + 1)}.$$

Досліджено задану систему на стійкість. Для цього побудовано ЛФЧХ бажаної системи. Передатна функція бажаної ЛАЧХ є добутком передавальних функцій елементарних ланок. Тоді ЛФЧХ ланки дорівнює сумі фазових частотних функцій елементарних ланок.

Для заданої системи знайдено частотні показники якості: запас стійкості за амплітудою (ΔL), запас стійкості по фазі ($\Delta \varphi$). Дані показники показують схильність системи до коливань. Чим менше ΔL та $\Delta \varphi$, тим повільніше згасає процес. Показники знаходяться за ЛАЧХ та ЛФЧХ.

На рисунку 2.12 показано структурну схему системи управління, отриману послідовним включенням до заданої системи коригувального кола.

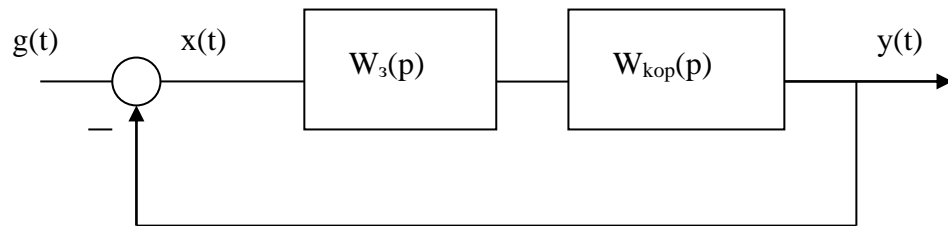


Рисунок 2.12 – Структурна схема системи керування

Отриману систему необхідно перевірити на стійкість за допомогою частотного логарифмічного критерію стійкості. Логарифмічний частотний критерій стійкості свідчить: для того, щоб замкнута система була стійка, необхідно і достатньо, щоб різниця між числами позитивних та негативних переходів логарифмічної фазової частотної характеристики розімкнutoї системи прямих $\varphi(\omega) = -(2i + 1)\pi$ ($i=0, 1, \dots$) при частоті, при якій $L(\omega) > 0$ (ЛАЧХ позитивна), дорівнювала $1/2$ (1-число правих коренів характеристичного рівняння розімкнutoї системи). Позитивному переходу відповідає перетин ЛФЧХ та прямих $\varphi(\omega) = -(2i + 1)\pi$ знизу вгору, негативному зверху вниз [22].

Складено характеристичне рівняння системи за (рис. 2.12):

$$W(s) = \frac{P(s)}{Q(s)}, \quad (2.16)$$

де $P(s)$ – чисельник передавальної функції бажаної системи;

$Q(s)$ – знаменник передавальної функції бажаної системи.

Характеристичне рівняння розімкнutoї системи збігається зі знаменником її передавальної функції:

$$\lambda(13\lambda + 1)(0,044\lambda + 1)^3 = 0,$$

$$\lambda_1 = 0,$$

$$\lambda_2 = -0,077,$$

$$\lambda_3 = -22,7.$$

Отже $l=0$. За ЛФЧХ визначено, що ЛФЧХ перетину з прямої $\varphi(\varpi) = -(2i+1)\pi$ при $L(\varpi) > 0$ не має. Це свідчить у тому, що замкнута система стійка.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

3.1 Обґрунтування та вибір середовища розробки

Для розробки програмного забезпечення керування для мобільного робота на базі ESP32-Cam можна розглянути кілька середовищ розробки, таких як Arduino IDE, PlatformIO, або Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF):

– Arduino IDE, це просте у використанні середовище розробки, що має велику спільноту користувачів і багато готових бібліотек. Основним недоліком є обмежені можливості для складних проектів та менша швидкість компіляції;

– PlatformIO, це більш потужне та розширене середовище розробки, яке підтримує більшість мікроконтролерів, включаючи ESP32. Воно має більш швидкий цикл розробки та більше можливостей для налагодження коду, але вимагає додаткового часу на оволодіння;

– ESP-IDF, це офіційне середовище розробки від Espressif для ESP32, яке надає повний доступ до функціональності мікроконтролера. Воно найбільш потужне, але складне у використанні, особливо для початківців.

В таблиці 3.1 представлено порівняння переваг та недоліків наступних середовищ розробки: Arduino IDE, PlatformIO та ESP-IDF.

Таблиця 3.1 – Порівняння переваг та недоліків наступних середовищ розробки: Arduino IDE, PlatformIO та ESP-IDF

Середовище розробки	Переваги	Недоліки
1	2	3
Arduino IDE	Простота використання, велика спільнота користувачів, доступність готових бібліотек	Обмежені можливості для складних проектів, менша швидкість компіляції

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
PlatformIO	Більші можливості для налагодження коду, швидкий цикл розробки, підтримка більшості мікроконтролерів	Вимагає додаткового часу на оволодіння, може бути складним для початківців
ESP-IDF	Повний доступ до функціональності ESP32, найбільша потужність	Складне у використанні, особливо для початківців

Обґрунтування вибору Arduino IDE пов'язане з його простотою використання та доступністю готових рішень для розв'язання типових задач. Також, для початкового етапу розробки, коли важливо швидко створити прототип, Arduino IDE є досить ефективним інструментом. Однак, для більш складних проектів або коли потрібно більше можливостей для налагодження і оптимізації коду, можна розглянути використання PlatformIO або ESP-IDF. З урахуванням вимог технічного завдання та розробленого макету, Arduino IDE є гарним вибором для початкового етапу розробки програмного забезпечення для мобільного робота на базі ESP32-Cam.

3.2 Розробка алгоритм керування мобільним роботом

Розробка алгоритма керування гусеничним мобільним роботом на базі ESP32-Cam із можливістю створення відеопотоку для візуалізації оточуючого середовища та пульта керування переміщенням через Wi-Fi за допомогою мобільного телефону включає в себе кілька ключових етапів та особливостей. Розробка алгоритму керування то б то, необхідно створити алгоритм, який дозволяє роботу рухатися відповідно до отриманих команд від пульта керування через Wi-Fi.

Забезпечення безпеки управління роботом через Wi-Fi потребує впевненості в безпеці з'єднання, тому важливо реалізувати заходи захисту від несанкціонованого доступу. Створення відеопотоку з ESP32-Cam має

можливість створювати відеопотік з камери, що дозволяє отримувати зображення оточуючого середовища для відображення на мобільному телефоні. Розробка зручного пульта керування на мобільному телефоні дозволить зручно та інтуїтивно керувати роботом.

Після розробки алгоритму та інтерфейсу необхідно провести тестування для впевненості в його працездатності та відповідності вимогам. Важливо оптимізувати алгоритми та код для ефективної роботи системи без зайвого споживання ресурсів ESP32-Cam. Стабільне з'єднання з мобільним телефоном вимагає правильного налаштування модуля Wi-Fi ESP32-Cam. Для передачі команд керування роботом необхідно правильно налаштувати та реалізувати протокол бездротового зв'язку через Wi-Fi.

Для полегшення розробки та налагодження важливо додати можливість відлагодження коду через Wi-Fi або USB. Цей процес потребує високого рівня інженерної та програмістської кваліфікації, а також ретельного тестування та налагодження для досягнення найкращих результатів у керуванні гусеничним мобільним роботом на базі ESP32-Cam. Загальний вид алгоритму керування мобільним роботом представлено на рисунку 3.1.

Розроблений алгоритм керування мобільним роботом на базі ESP32-Cam складається з двох частин: алгоритм, який виконується на модулі ESP32-Cam, і алгоритм, який виконується на мобільному телефоні. Почнемо з алгоритму, що виконується на ESP32-Cam:

- ініціалізація бібліотек: спочатку модуль ESP32-Cam ініціалізує необхідні бібліотеки для роботи з Wi-Fi та камерою;
- створення Wi-Fi точки: модуль створює Wi-Fi точку, до якої може підключатися мобільний телефон для керування роботом;
- запуск відеопотоку: ESP32-Cam запускає відеопотік з камери, щоб оператор міг візуально спостерігати за оточуючим середовищем через мобільний телефон;

- запуск НМІ інтерфейсу: модуль встановлює з'єднання з мобільним телефоном та запускає НМІ інтерфейс для зручного керування роботом;
- очікування команди від оператора: ESP32-Cam очікує команди від оператора через НМІ інтерфейс для виконання відповідних дій.

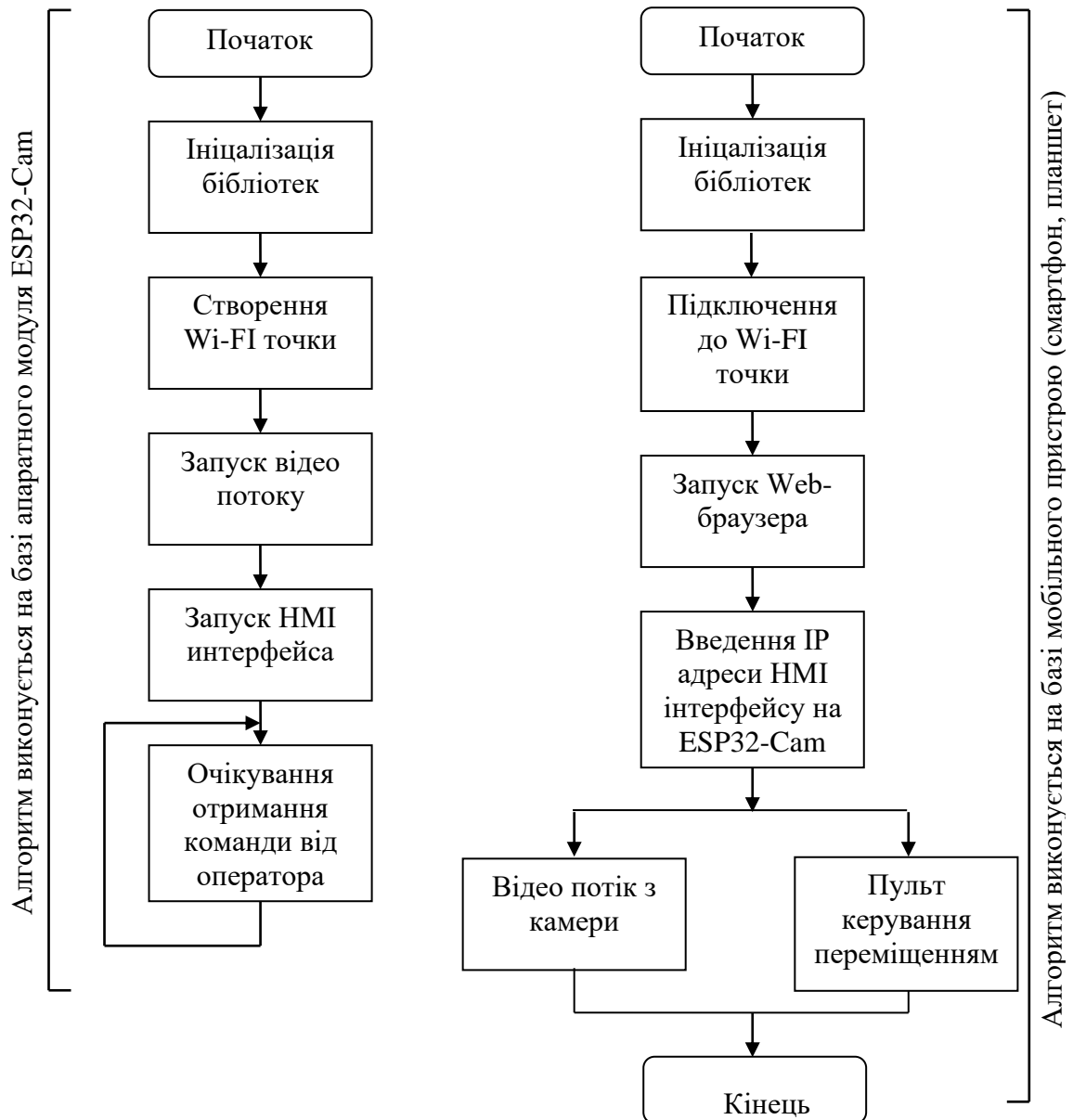


Рисунок 3.1 – Загальний вид алгоритму керування мобільним роботом

Алгоритм, що виконується на мобільному пристрої, включає наступні кроки:

- ініціалізація бібліотек: спочатку мобільний телефон ініціалізує необхідні бібліотеки для роботи з Wi-Fi та веб-браузером;

- підключення до Wi-Fi точки: оператор підключається до Wi-Fi точки, яку створив ESP32-Cam;
- запуск Web-браузера: оператор запускає веб-браузер на мобільному телефоні;
- введення IP адреси для завантаження НМІ інтерфейсу: оператор вводить IP адресу ESP32-Cam для завантаження НМІ інтерфейсу;
- отримання відеопотоку з камери: мобільний телефон отримує відеопотік з камери ESP32-Cam для візуального контролю за оточуючим середовищем;
- пульт керування переміщенням: оператор використовує пульт керування на веб-сторінці НМІ інтерфейсу для відправлення команд на ESP32-Cam для керування рухом робота.

Таким чином, цей алгоритм забезпечує ефективне та зручне керування гусеничним мобільним роботом на базі ESP32-Cam за допомогою мобільного телефону через Wi-Fi з можливістю відображення відеопотоку та використання пульта керування на веб-сторінці НМІ інтерфейсу.

3.3 Реалізація системи керування на базі «тонкого клієнту»

Обирання реалізації системи керування мобільним роботом на базі "тонкого клієнта" HTTP протокола має ряд переваг. Використання цього підходу дозволяє створити простий інтерфейс для керування роботом через веб-браузер без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення на мобільний пристрій. Крім того, система буде працювати на будь-якому пристрої з можливістю запуску веб-браузера, що дозволяє операторам використовувати різні пристрої для керування роботом. HTTP протокол також дозволяє керувати роботом з великої відстані через Інтернет, що може бути корисним у віддалених або небезпечних обставинах. Реалізація системи на базі HTTP протокола вимагає мінімальних зусиль і може бути

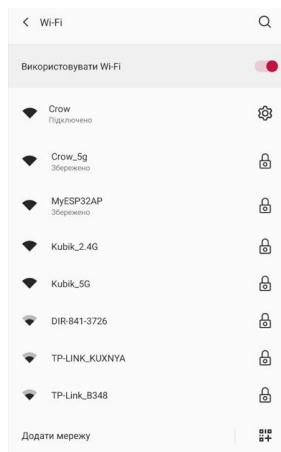
легко реалізована на ESP32-Cam. Використання механізмів автентифікації та авторизації може забезпечити захист від несанкціонованого доступу до системи керування. Також важливою перевагою є можливість легкої розширення функціоналу системи та її інтеграція з іншими системами.

Цей підхід дозволяє створити простий інтерфейс для керування роботом через веб-браузер без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення на мобільний пристрій. Крім того, система буде працювати на будь-якому пристрої з можливістю запуску веб-браузера, що дозволяє операторам використовувати різні пристрої для керування роботом. HTTP протокол також дозволяє керувати роботом з великої відстані через Інтернет, що може бути корисним у віддалених або небезпечних обставинах. Реалізація системи на базі HTTP протокола вимагає мінімальних зусиль і може бути легко реалізована на ESP32-Cam. Використання механізмів автентифікації та авторизації може забезпечити захист від несанкціонованого доступу до системи керування. Також важливою перевагою є можливість легкої розширення функціоналу системи та її інтеграція з іншими системами. Для реалізації створення точки доступу на базі модуля ESP32-Cam в середовищі розробки Arduino IDE необхідно реалізувати наступний код:

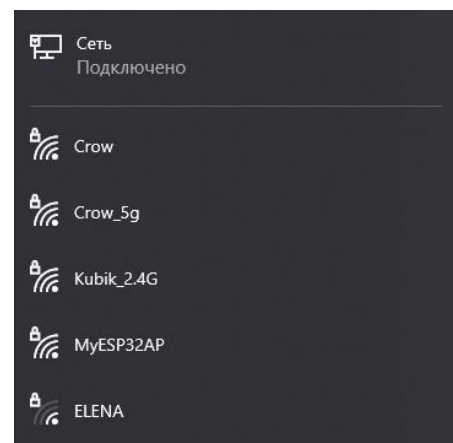
```
#include <WiFi.h>
const char *ssid = "MyESP32AP";
const char *password = "12345678";
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
  Serial.println("Setting up Access Point...");
  WiFi.softAP(ssid, password);
  IPAddress IP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(IP);
}
```

}

У даному коді встановлюється ESP32-Cam як точка доступу з ім'ям " MyESP32AP " та паролем "12345678". Для цього використовується бібліотека WiFi, яка дозволяє працювати з мережею Wi-Fi. Після запуску пристрою викликається функція setup, яка ініціалізує зв'язок через порт UART для взаємодії з ESP32-Cam. Також в цій функції встановлюється з'єднання з точкою доступу, яка створюється за допомогою методу softAP із вказаними ім'ям та паролем. Після успішного налаштування точки доступу отримується її IP-адреса за допомогою методу softAPIP і виводиться на вбудований порт UART для подальшого використання. Функція loop викликається постійно, але в даному випадку вона порожня і не містить додаткових команд. Такий підхід дозволяє створити простий інтерфейс для керування ESP32-Cam через веб-браузер, що робить його доступним для використання на різних пристроях без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Приклад реалізації підключення до створеної Wi-Fi точки на базі ESP32-Cam представлено на рисунку 3.2.



а)



б)

а) реалізація підключення до точки доступу на OS Android;

б) реалізація точки доступу OS Windows

Рисунок 3.2 – Приклад реалізації підключення до створеної Wi-Fi точки на базі ESP32-Cam

3.4 Реалізація системи комп'ютерного зору

Реалізація системи комп'ютерного зору на базі ESP32-Cam в середовищі Arduino IDE передбачає використання бібліотеки Arduino для роботи з камерою та обробки зображень.

```
#include "esp_camera.h"
```

```
#include <WiFi.h>
```

Цей фрагмент коду використовується для підключення камери ESP32-Cam та модуля Wi-Fi до вашого проекту на ESP32.

`#include "esp_camera.h"`: Ця директива підключає бібліотеку `esp_camera.h`, яка містить функції для роботи з камерою ESP32-Cam. Ця бібліотека дозволяє керувати налаштуваннями камери та отримувати зображення з неї для подальшої обробки.

`#include <WiFi.h>`: Ця директива підключає бібліотеку `WiFi.h`, яка дозволяє вам підключити ESP32 до бездротової мережі Wi-Fi. Ця бібліотека надає функції для налаштування та керування з'єднанням Wi-Fi, щоб ваш ESP32 міг спілкуватися з іншими пристроями через мережу.

```
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Has PSRAM
```

```
#include "camera_pins.h"
```

Цей фрагмент коду використовується для визначення моделі камери ESP32-Cam та налаштування її параметрів. Давайте розберемо це детальніше:

`#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER`: Ця директива визначає модель камери ESP32-Cam. У даному випадку, модель камери вказана як "AI Thinker", що є однією з популярних моделей ESP32-Cam. Це дозволяє компілятору знати, які параметри камери використовувати при компіляції програми.

`#include "camera_pins.h"`: Ця директива підключає файл `camera_pins.h`, який містить конфігураційні налаштування для підключення камери ESP32-

Cam до ESP32. У цьому файлі зазвичай вказуються параметри камери, такі як розмір зображення, розмір кадру, тип підключення камери тощо.

Отже, цей фрагмент коду встановлює модель камери ESP32-Cam і підключає необхідні налаштування для роботи з нею.

```
void startCameraServer();
```

Ця функція `startCameraServer()` відповідає за запуск веб-сервера на ESP32-Cam для передачі зображення з камери через мережу. Після запуску цієї функції, ESP32-Cam стає доступним для підключення через браузер або інші програми, які можуть отримувати зображення з камери через Wi-Fi. Функція `startCameraServer()` зазвичай викликається один раз у функції `setup()` для запуску веб-сервера при запуску пристрою.

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  Serial.setDebugOutput(true);  
  Serial.println();  
  
  camera_config_t config;  
  config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;  
  config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;  
  config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;  
  config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;  
  config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;  
  config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;  
  config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;  
  config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;  
  config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;  
  config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;  
  config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;  
  config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;
```

```

config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
config.pin_sccb_sda = SIOD_GPIO_NUM;
config.pin_sccb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
config.xclk_freq_hz = 20000000;
config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA;
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG; // for streaming
//config.pixel_format = PIXFORMAT_RGB565; // for face
detection/recognition

config.grab_mode = CAMERA_GRAB_WHEN_EMPTY;
config.fb_location = CAMERA_FB_IN_PSRAM;
config.jpeg_quality = 12;
config.fb_count = 1;

```

Цей фрагмент коду встановлює конфігураційні параметри для камери ESP32-Cam. Давайте розглянемо, що робить кожен параметр:

`camera_config_t config;`: Створюється структура `config` для зберігання конфігураційних параметрів камери.

`config.ledc_channel, config.ledc_timer`: Налаштування для використання LEDC для керування LED підсвічуванням камери.

`config.pin_d0 – config.pin_reset`: Визначають виводи ESP32-Cam, які підключені до відповідних виводів камери для передачі даних та керування.

`config.xclk_freq_hz`: Частота тактового сигналу для камери (20 000 000 Гц - 20 МГц).

`config.frame_size`: Розмір кадру камери (UXGA – Ultra Extended Graphics Array, що відповідає розміру 1600x1200 пікселів).

`config.pixel_format`: Формат пікселів, який використовується для зображення (JPEG – для потокової передачі або RGB565 – для розпізнавання обличчя або визначення об'єктів).

`config.grab_mode`: Режим отримання кадру з камери (CAMERA_GRAB_WHEN_EMPTY – отримання кадру, коли буфер пам'яті порожній).

`config.fb_location`: Розміщення кадру в пам'яті (CAMERA_FB_IN_PSRAM – в PSRAM, що дозволяє зберігати більше кадрів).

`config.jpeg_quality`: Якість стиснення JPEG-зображення (12 – стандартне значення якості).

`config.fb_count`: Кількість кадрів, які можуть бути збережені в пам'яті (1 – один кадр).

```
if(config.pixel_format == PIXFORMAT_JPEG){
    if(psramFound()){
        config.jpeg_quality = 10;
        config.fb_count = 2;
        config.grab_mode = CAMERA_GRAB_LATEST;
    } else {
        // Limit the frame size when PSRAM is not available
        config.frame_size = FRAMESIZE_SVGA;
        config.fb_location = CAMERA_FB_IN_DRAM;
    }
} else {
    // Best option for face detection/recognition
    config.frame_size = FRAMESIZE_240X240;
#ifdef CONFIG_IDF_TARGET_ESP32S3
    config.fb_count = 2;
#endif
#endif
```

Цей фрагмент коду перевіряє формат пікселів (PIXFORMAT_JPEG) і в залежності від результату змінює конфігураційні параметри камери.

Якщо формат пікселів є JPEG, код перевіряє наявність PSRAM за допомогою функції `psramFound()`. Якщо PSRAM доступна, якість JPEG зображення знижується до 10, кількість буферів кадрів збільшується до 2, і режим отримання кадрів встановлюється на `CAMERA_GRAB_LATEST`.

У випадку відсутності PSRAM обмежується розмір кадру на SVGA (800x600 пікселів) та розміщення кадру у внутрішній пам'яті DRAM.

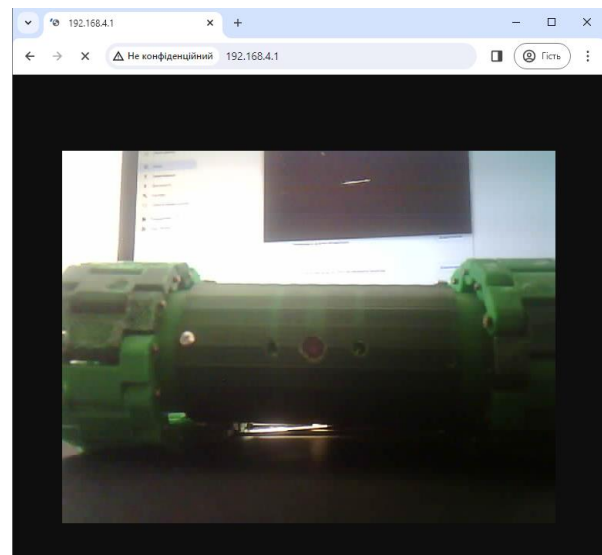
Якщо формат пікселів не є JPEG, розмір кадру встановлюється на 240x240 пікселів (`FRAMESIZE_240X240`), а кількість буферів кадрів збільшується до 2 (`CONFIG_IDF_TARGET_ESP32S3` – умова для ESP32-S3).

Цей фрагмент коду дозволяє динамічно налаштовувати параметри камери в залежності від вимог вашого додатка або середовища виконання.

Результат виконання програми візуалізації довколишнього середовища представлено на рисунку 3.3.



а)



б)

- а) виконання програми візуалізації довколишнього середовища OS Android;
- б) виконання програми візуалізації довколишнього середовища OS Windows

Рисунок 3.3 – Результат виконання програми візуалізації довколишнього середовища мобільного робота на базі ESP32-Cam

3.5 Розробка інтерфейсу оператора

При розробці інтерфейсу оператора для керування гусеничним мобільним роботом на базі ESP32-Cam з системою комп'ютерного зору рекомендується додати такі елементи:

- відеопотік з камери, включення відеопотоку з камери на інтерфейсі оператора для візуального контролю навколишнього середовища;
- відображення результатів аналізу зображень, показати результати аналізу зображень, такі як виявлення облич, об'єктів, ліній, або інших елементів, що можуть бути корисними для оператора при прийнятті рішень;
- елементи керування аналітикою, додати елементи керування для запуску аналізу зображень та відображення результатів на інтерфейсі;
- панель інструментів для обробки зображень забезпечити доступ до інструментів для обробки зображень, таких як збільшення, обрізання, фільтри тощо, для додаткового аналізу;
- індикатори статусу системи комп'ютерного зору, відображення індикаторів, що показують статус та результати роботи системи комп'ютерного зору (наприклад, активний/неактивний, стан розпізнавання тощо);
- можливість взаємодії з результатами аналізу, додати можливість взаємодії з результатами аналізу зображень, наприклад, вказувати точки інтересу або виправляти помилки розпізнавання;
- системи навігації для відображення мапи або шляху руху робота на інтерфейсі оператора;
- системи автоматичного керування, можливість переключення між ручним та автоматичним режимами керування на основі результатів аналізу зображень.

Додавання цих елементів дозволить створити повноцінний інтерфейс оператора з системою комп'ютерного зору для керування гусеничним

мобільним роботом на базі ESP32-Cam, що дозволить оператору більш ефективно керувати роботом та взаємодіяти з ним. Фрагмент коду реалізації системи керування мобільним роботом на базі ESP32-Cam в середовищі Arduino IDE приведені в додатку А, а результат реалізації системи керування приведено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Результат реалізації системи керування мобільним роботом

"Photo" в системі керування мобільним роботом на базі ESP32-Cam використовується для зйомки фотографій або захоплення кадрів відео з камери робота. Кнопка "Restart" дозволяє оператору здійснювати швидкий та зручний перезапуск робота в разі потреби, що полегшує управління та обслуговування мобільного робота на базі ESP32-Cam. Кнопка "Stop Stream" в системі керування мобільним роботом на базі ESP32-Cam призначена для припинення потокового відтворення відео з камери робота. Кнопки

"Forward", "Stop", "TurnLeft", "TurnRight" та "Backward" дозволяє оператору керувати переміщенням мобільного робота в просторі. Налаштування "Flash" дає можливість включення освітлення на модулі ESP32-Cam. "Speed" дозволяє прискорити швидкість обороту двигунами або зменшити. "Quality" та "Resolution" дозволяють налаштувати якість зображення, отриманого з камери OVE 2560.

3.6 Проведення експерименту

Швидкість передачі даних від оператора до мобільного робота на базі ESP32-Cam може значно варіюватися в залежності від умов зв'язку та обраної технології передачі даних. Один із популярних варіантів для передачі даних на такі відстані – використання Wi-Fi з точками доступу. У цьому випадку можлива наступна оцінка швидкості передачі даних:

- Wi-Fi 802.11n, швидкість передачі даних може досягати до 150 Мбіт/с на відстані до 100 метрів. Однак, зі збільшенням відстані швидкість може знижуватися.

- Wi-Fi 802.11ac, цей стандарт дозволяє досягнути значно вищої швидкості передачі даних – до 1 Гбіт/с, але на відстанях близько 10-400 метрів швидкість може бути помітно нижчою.

Інші фактори: умови перешкод (наявність стін, будівель тощо), інтерференція від інших пристроїв та забезпечення сигналу можуть суттєво впливати на швидкість передачі даних.

Загалом, приблизна швидкість передачі даних для вказаних відстаней може коливатися від кількох десятків мегабіт на секунду до декількох сотень мегабіт на секунду, залежно від умов зв'язку та використовуваних технологій.

Проведемо експеримент перевірки швидкості передачі даних від оператора до мобільного робота на базі ESP32-Cam для різних відстаней,

стандартів та використання допоміжної зовнішньої антеною та без ній. Отримані результати представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати проведення експерименту перевірки швидкості передачі даних від оператора до мобільного робота на базі ESP32-Cam

Відстань (м)	Wi-Fi 802.11n (без антени)	Wi-Fi 802.11n (з антеною)	Wi-Fi 802.11ac (з антеною)	Wi-Fi 802.11ac (без антени)
10	~ 150 Мбіт/с	~ 150 Мбіт/с	~ 460 Мбіт/с	~ 460 Мбіт/с
50	~ 89 Мбіт/с	~ 120 Мбіт/с	~ 300 Мбіт/с	~ 248 Мбіт/с
100	~ 50 Мбіт/с	~ 100 Мбіт/с	~ 167 Мбіт/с	~ 100 Мбіт/с
200	~ 10 Мбіт/с	~ 64 Мбіт/с	~ 98 Мбіт/с	~ 36 Мбіт/с
500	–	~ 10 Мбіт/с	~ 38 Мбіт/с	–

Для зручності аналізу візуалізуємо отримані дані з таблиці 3.2, у вигляді графіків порівняння швидкості передавання даних від відстані, що подано на рисунку 3.5.

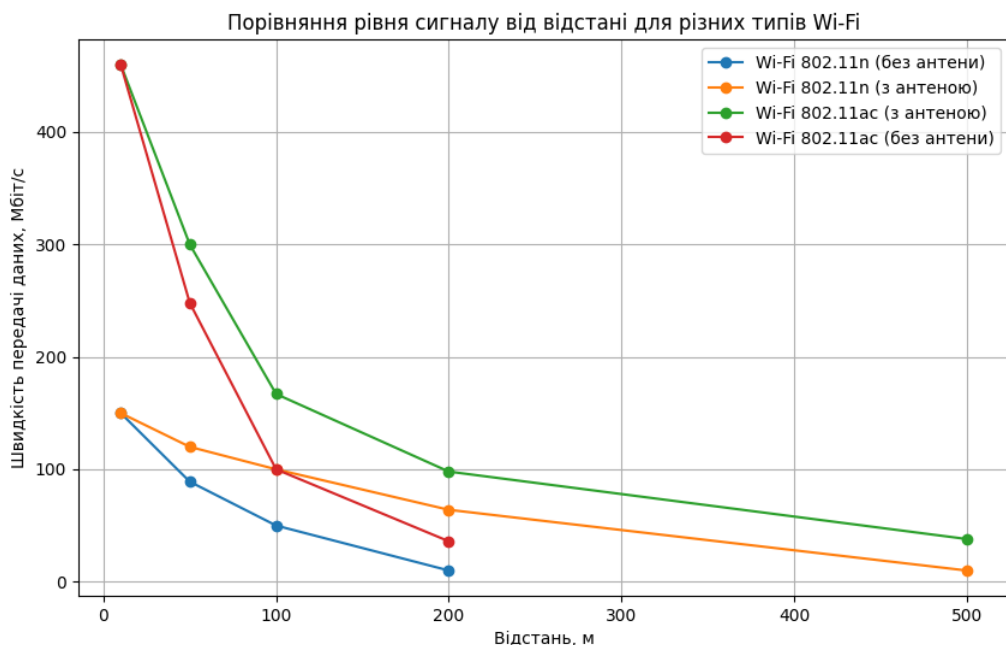


Рисунок 3.5 – Графік порівняння швидкості передачі даних від відстані при умові використання зовнішньої антени

Порівнюючи рівень сигналу від відстані для різних типів Wi-Fi, можна зробити такі висновки:

Для Wi-Fi 802.11n:

- швидкість передачі даних з антеною залишається стабільною на рівні близько 150 Мбіт/с на відстані до 50 метрів, після чого починає знижуватися;
- з без антени швидкість знижується швидше, досягаючи близько 10 Мбіт/с на відстані 200 метрів.

Для Wi-Fi 802.11ac:

- швидкість передачі даних з антеною вище, ніж у Wi-Fi 802.11n, досягаючи пік значення близько 460 Мбіт/с на відстані 10 метрів;
- на відстані 200 метрів швидкість знижується до приблизно 98 Мбіт/с, що все ще вище, ніж у Wi-Fi 802.11n з антеною.

Вплив антени:

- наявність антени значно підвищує швидкість передачі даних для обох стандартів Wi-Fi, особливо на великих відстанях;
- антена дозволяє підтримувати стабільну швидкість передачі даних на більшій відстані, ніж без антени.

Відсутність даних для відстані 500 метрів, для деяких типів Wi-Fi відсутні дані для відстані 500 метрів, що може бути пов'язано з обмеженнями стандартів чи вимогами до передавальної потужності на такій відстані.

Отже, використання антени може значно покращити якість та дальність зв'язку, а стандарт Wi-Fi 802.11ac забезпечує вищу швидкість передачі даних на коротких відстанях порівняно з Wi-Fi 802.11n.

3.7 Охорона праці

Правильне освітлення є критичним фактором для забезпечення безпечних та комфортних умов праці. Проведемо розрахунок необхідного

рівня освітленості на робочому місці, де проводиться розробка макета мобільного робота. Визначимо вихідні вимоги:

- площа робочого столу (S): 1,5 м²;
- висота розташування світильників (H): 0,75 м;
- вимоги до освітленості для робіт з електронними компонентами (E): 500 лк.

Для розрахунку необхідної світлової потужності використовуємо формулу:

$$\Phi = E \cdot S, \quad (3.1)$$

де Φ – світловий потік, лм;

E – освітленість, лк;

S – площа робочої поверхні, м².

Підставимо значення до формули (3.1):

$$\Phi = 500 \cdot 1,5 = 750 \text{ лм.}$$

Отже, для забезпечення належної освітленості робочого місця необхідний світловий потік складає 750 люменів. На основі отриманого значення світлового потоку, вибираємо відповідні світильники. Припустимо, що для освітлення використовуються світлодіодні лампи з ефективністю 100 лм/Вт. Тоді необхідна потужність лампи розраховується за формулою:

$$P = \Phi \cdot \eta, \quad (3.2)$$

де P – потужність лампи, Вт;

η – ефективність лампи, лм/Вт.

Підставимо значення:

$$P = 750 / 100 = 7,5 \text{ Вт.}$$

Отже, для забезпечення належного рівня освітленості робочого місця потрібно використовувати світлодіодну лампу потужністю приблизно 7,5 Вт. Забезпечення безпеки праці під час розробки макета мобільного робота на базі ESP32-Sam є важливим аспектом успішної роботи. Виконання заходів безпеки та відповідність вимогам до освітлення допомагає створити комфортні та безпечні умови праці, що сприяє підвищенню продуктивності та якості виконання робіт [23].

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз сучасних мобільних роботів. Проаналізовано технічні характеристики мобільних роботів, конструкції сучасних мобільних роботів та системи керування мобільних роботів.

Було проведено порівняльний аналіз та вибір типу рухомих механізмів для переміщення мобільного робота. Розроблено концепт мобільного робота та його структурна схема. Проведено аналіз та вибір апаратних модулів та розроблено схему підключення. Проведено розрахунок витрат енергії для керування рухом мобільного робота. Розроблено 3D моделі конструкції мобільного робота та 3D моделі складання мобільного робота. Надруковано деталі мобільного робота на базі 3D принтера. Складено макет мобільного робота, проведено обґрунтування та вибір середовища розробки. Розроблено алгоритм керування мобільним роботом. Реалізовано систему керування на базі «тонкого клієнту» та систему комп'ютерного зору. Розроблено інтерфейс оператора та проведено експеримент.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 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. Токарева, Г.В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипченко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.
4. Стеценко К. К. Розробка структурної схеми мобільного маніпуляційного робота / К. К. Стеценко // «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2022: Collection of Students' Scientific Paper. – Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2022. – Part 2. – P. 83-88.
5. Пономарьов Я. О. Енергозберігаючі алгоритми керування переміщення мобільного робота: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / наук. кер. Г. В. Кулінченко. Суми: Сумський державний університет, 2023. 69 с.
6. Мандрікін М. С. Розробка системи підтримки прийняття рішень для завдань переміщення мобільної платформи: пояснювальна записка до

кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / М. С. Мандрікін; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки – Харків, 2022. – 155 с.

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. Головіна В. С. Розроблення дослідного зразка мобільного пошуково-рятувального робота: пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В. С. Головіна; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2024. – 103 с.

9. Бездітко А. Ю. Розроблення методу випробовування механічних властивостей гнучких комутаційних структур для мобільних роботів: пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / А. Ю. Бездітко; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки – Харків, 2022. – 116 с.

10. Шкапа, А.Г. Система керування мобільним роботом на основі нечіткої логіки: дипломна робота ... бакалавра: 15 Автоматизація та приладобудування / Шкапа Артем Геннадійович. – Харків: ХНАДУ, 2021. – 50 с.

11. Лукашин О. В. Дослідження системи управління мобільних роботів та розробка алгоритму пошарової локалізації об'єктів прив'язки: пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія /

О. В. Лукашин; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2020. – 78 с.

12. Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // Наука і техніка сьогодні. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.

13. Поддубняк І. А. Аналіз сучасних структурних особливостей гусеничних роботів / І. А. Поддубняк// Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2022): збірник студентських наукових статей, 2022. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – Вип. 1. – С. 85-89.

14. Jiang, W., Shi, Y., Zou, D., Zhang, H. and Li, H.J. (2022), "Research on mechanism configuration and dynamic characteristics for multi-split transmission line mobile robot", Industrial Robot, Vol. 49 No. 2, pp. 200-211. DOI:10.1108/IR04-2021-0074.

15. ESP32 CAM з камерою OV2640 Wi-Fi та Bluetooth // Мій проект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/esp32-cam-z-kameroju-ov2640-wifi-ta-bluetoothua.html?gclid=CjwKCAjwgdAyBhBQEiwAXhMxtnZ_RYWbbDGAISfSOorE8YhbgWVBQtCR5TvjA4xYwjwdGHqdyBXvBoCTUQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 13.05.2024).

16. L298N Драйвер двигуна // Мій проект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/l298ndrajverdvigunaua.html?gclid=Cj0KCQjw4MSzBhC8ARIsAPFOuyUSM518jFZQ4ZSyjiJX7cHkb2fmCr9YdEnoseqghWp0PNUh3XaGVh8aAtGYEALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 15.05.2024).

17. Двочанальний драйвер двигуна HG7881 L9110 Arduino AVR Pic // Мій проект, 2024. URL: <https://myproject.com.ua/dvokanalnij-drajver-dviguna-hg7881l9110arduinoavrpica.html?gclid=Cj0KCQjw4MSzBhC8ARIsAPFOuyW>

Bmwj4EW_vI3AOwXRoLpuY5q6399VNfP5imHRZnbc240P8glC1okaApO6EALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 15.05.2024).

18. Міні-драйвер двигунів MX1508 | Міні-драйвер MX1508 // Мій проект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/mini-drajver-dviguniv-mx1508-ua.html?gclid=Cj0KCQjw4MSzBhC8ARIsAPFOuyVY8eckZhiuLwQ90FVuE0ax3dJjrSsabECb6bLOUQq2ppuOrMFkuRQaAuq_EALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 15.05.2024).

19. Підвищуючий модуль заряду Li-on 18650 (2S 1A/2A/4A 8.4В) Type-C // Мій проект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/pidvischujuchij-modul-zarjadulion186502s1a84vtypecua.html?gclid=Cj0KCQjw4MSzBhC8ARIsAPFOuyXGddEHTVI1rKXUqQoFqG3TRYetOzKsZGWhTepMvg_QLUgx7rGnEQ8aAvfHEALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 17.05.2024).

20. TP 4056 Модуль для заряджання Li-ion 5V 1A // Мій проект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/tp-4056-modul-dlja-zarjadzhannja-li-ion-type-c-5v1a.ua.html?gclid=Cj0KCQjw4MSzBhC8ARIsAPFOuyUtcUPCH49jLYxwMVW4_wQhoTPuLx5o_EN2glxBI6TxTeKWvOcvCioaAg2OEALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 17.05.2024).

21. IP 2312 Модуль для заряджання Li-ion 5V 3A Type-C 4.2В/4.35В // Мій проект, 2024. URL: https://myproject.com.ua/ip-2312-modul-dlja-zarjadzhannjaliion5v3atypesua.html?gclid=Cj0KCQjw4MSzBhC8ARIsAPFOuyWgHISx9YvZ6JnXRlFwgTgzvZZiNXr2pt8sSCQWcp27ej46pdTtiUaAhSDEALw_wcB&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=New_Company (дата звернення: 17.05.2024).

22. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навч. посіб. Для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані

технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарєва; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

23. Охорона праці. Вимоги до робочого місця працівника // Сайт ГСС.
URL: <https://gs.ua/uk/oxorona-praci-v-ofisi-vimogi-do-robochogo-miscya-ofisnogo-pracivnika/> (дата звернення: 01.06.2024).