

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Дипломна робота**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та**  
**технології в приладобудуванні»**  
**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**  
**на тему: «Роботизована система для проведення пошуково-рятувальних**  
**робіт»**

Виконав :

студент III курсу, групи ПГ-п21

Фрей Ігор Миколайович \_\_\_\_\_

Керівник:

Асистент, Ph.D.

Паздрій Ольга Ярославівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доцент

Терещенко Микола Федорович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ Приладобудівний \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ **Н.І. Бурау** \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Фрею Ігорю Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломної роботи \_\_\_\_\_ Роботизована система для проведення пошуково-рятувальних робіт

Науковий керівник роботи \_\_\_\_\_ Паздрій Ольга Ярославівна, асистент \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи «6» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

платформа Arduino Nano, радіомодуль NRF24L01 для дистанційного керування платформою, модуль ESP32-CAM для відеопередачі.

4. Зміст роботи Вступ. 1. Обґрунтування задач роботизованих систем для проведення пошуково-рятувальних робіт. 2. Розробка прототипу гусеничної роботизованої платформи з дистанційним керуванням. 3. Тестування прототипу роботизованої платформи. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): презентація, яка містить структурні схеми, алгоритми, математичні вирази, графіки \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04.2025

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний пошук та обґрунтування задач роботизованих систем для проведення пошуково-рятувальних робіт.	15.04.2025	
2.	Огляд та класифікація роботизованих систем для проведення пошуково-рятувальних робіт.	22.04.2025	
3.	Вибір функціональної схеми для побудови гусеничничної роботизованої платформи.	28.04.2025	
4.	Розробка алгоритму функціонування роботизованої системи.	05.05.2025	
5.	Вибір елементної бази та розробка прототипу роботизованої системи.	12.05.2025	
6.	Експериментальне дослідження прототипу роботизованої платформи.	22.05.2025	
7.	Оформлення рукопису пояснювальної записки.	09.06.2025	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

І.М. Фрей

(ініціали, прізвище)

Керівник дипломної роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

О. Я. Паздрій

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена дослідженню та розробці прототипу роботизованої системи з дистанційним керуванням для проведення пошуково-рятувальних робіт.

Перший розділ присвячено огляду існуючих роботизованих систем для проведення пошуково-рятувальних робіт, визначено їх роль та актуальність в цьому напрямку. Розглянуто основні види існуючих роботизованих систем та їх особливості. Приділено увагу конструкціям роботизованих платформ, типам шасі.

У другому розділі розроблено прототип роботизованої системи. Створення структурної схеми, вибір необхідних компонентів. Розробка схем підключення пульта керування та роботизованої платформи. Створено алгоритми роботи за якими написано програмне забезпечення для роботизованої системи. Розробка 3D моделей в середовищі SolidWorks з урахуванням особливостей 3D друку та подальшим друком деталей на 3D принтері. Наприкінці другого розділу отримано функціональний прототип роботизованої системи з дистанційним керуванням.

У третьому розділі остаточне налаштування роботизованої системи, а також інструкція користувача, за якою можна налаштувати та користуватися роботизованою системою. Також проведено серію випробувань та визначено основні технічні характеристики.

**Ключові слова:** роботизована система, роботизована платформа, пошуково-рятувальні роботи, пульт керування, робот.

## ABSTRACT

The thesis is devoted to the research and development of a prototype of a remotely controlled robotic system for search and rescue operations.

The first section is devoted to a review of existing robotic systems for search and rescue operations, their role and relevance in this direction are determined. The main types of existing robotic systems and their features are considered. Attention is paid to the designs of robotic platforms, types of chassis.

In the second section, a prototype of a robotic system was developed. Creation of a structural diagram, selection of necessary components. Development of connection diagrams for the control panel and robotic platform. Algorithms were created, according to which the software for the robotic system was written. Development of 3D models in the SolidWorks environment, taking into account the features of 3D printing and subsequent printing of parts on a 3D printer. At the end of the second section, a functional prototype of a robotic system with remote control was obtained.

In the third section, the final configuration of the robotic system, as well as user instructions, according to which you can configure and use the robotic system. A series of tests were also conducted and the main technical characteristics were determined.

**Keywords:** robotic system, robotic platform, search and rescue, control panel, robot.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ .....	10
1.1 Роль роботизованих систем для проведення рятувально-пошукових робіт .....	10
1.2 Класифікація роботизованих систем для моніторингу важкодоступних територій .....	13
1.3 Особливості конструкції роботизованих платформ.....	18
1.3.1 Конструкція шасі .....	20
1.4 Роботизовані платформи гусеничного типу .....	23
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ГУСЕНИЧНИЧНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ .....	27
2.1 Структурна схема роботизованої системи .....	27
2.2 Вибір елементної бази .....	28
2.3 Розробка електричної частини .....	35
2.4 Розробка алгоритму роботи роботизованої системи .....	37
2.5 Розробка програмного забезпечення .....	40
2.6 Розробка гусеничного шасі.....	41
2.7 Висновки до розділу 2.....	45
РОЗДІЛ 3 ТЕСТУВАННЯ ПРОТОТИПУ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	47
3.1 Налаштування прототипу та інструкція використання .....	47
3.1.1 Налаштування передачі відео .....	49
3.2 Тестування прототипу .....	51
3.2.1 Вимірювання максимальної швидкості руху платформи по лінійній траєкторії.....	52
3.2.2 Вимірювання швидкості повороту платформи .....	53
3.2.3 Визначення максимального кута підйому платформи .....	54

3.3 Технічні характеристики розробленого прототипу РС .....	55
3.4 Висновки до розділу 3 .....	56
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	58
ДОДАТОК А – КОД ПУЛЬТА КЕРУВАННЯ .....	61
ДОДАТОК Б – КОД ДЛЯ РП .....	63

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

РС – роботизовані системи

БПЛА – безпілотні літальні апарати

ХБРЯ - хімічні, біологічні, радіологічні та ядерні загрози

РП – роботизована платформа

МК – мікроконтролер

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

## ВСТУП

На сьогоднішній день роботизовані системи широко використовуються в різних сферах. Особливо актуальним є їх застосування в екстремальних умовах, де існує небезпека життю людини або неможливість прямого втручання людини, наприклад під час проведення пошуково-рятувальних робіт або ліквідації наслідків аварій. Роботи стають все більш важливими у реагуванні на надзвичайні ситуації завдяки їхній здатності отримувати доступ до небезпечних і важкодоступних місць, підвищуючи безпеку та ефективність рятувальних робіт.

Через зростання щільності населення та збільшення кількості стихійних лих виникає потреба в ефективніших способах порятунку людей. У таких ситуаціях дистанційно керовані системи можуть значно допомогти, виконуючи обстеження місцевості, виявлення постраждалих, доставку медикаментів та речей першої необхідності.

Використання гусеничного шасі є перспективним рішенням для роботизованих систем. Тому що гусеничне шасі забезпечує більшу мобільність в обмеженому просторі та більшу прохідність.

Застосування комбінацій різних матеріалів, як перспективне рішення для досягнення поставлених вимог з максимальною ефективністю та адаптацію під різні умови експлуатації.

Метою дипломної роботи є дослідження та створення прототипу роботизованої системи з дистанційним керуванням для проведення пошуково-рятувальних робіт. В рамках роботи буде досліджено особливості конструкції роботизованих систем, особливості керування, аналіз існуючих рішень, тенденції розвитку та актуальність таких систем.

# РОЗДІЛ 1

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ

### 1.1 Роль роботизованих систем для проведення рятувально-пошукових робіт

Через зростання щільності населення та збільшення кількості стихійних лих виникає потреба в ефективніших способах порятунку людей. Для цього все частіше використовують роботизовані системи (РС).

Роботизована система – це інтегрована система, яка поєднує апаратні та програмні засоби для автоматизації виробничих чи побутових завдань з використанням виконавчих механізмів, сенсорів, систем управління та алгоритмів прийняття рішень [1]. Такі системи здатні взаємодіяти з навколишнім середовищем, адаптуватися до змінних умов та виконувати складні завдання з високим ступенем точності, повторюваності й ефективності.

У книзі [1] роботизовану систему визначено як багаторівневу ієрархічну структуру, яка складається з підсистем для сприйняття (сенсорика), прийняття рішень (планування, інтелект), управління рухом (керування приводами та координування дій) та взаємодії із зовнішнім світом (маніпулятори, мобільні платформи тощо). На сьогодні активно розвиваються інтелектуальні роботизовані системи, які здатні до самоорганізації, навчання та вдосконалення своєї поведінки на основі досвіду.

Таким чином, роботизовані системи відіграють ключову роль у реалізації автоматизації технічного моніторингу, управління виробничими процесами, автономних транспортних засобів та систем технічного зору, особливо в умовах складного або небезпечного середовища.

Під час проведення пошуково-рятувальних робіт перед рятувальниками постають такі основні завдання: виявлення постраждалих, отримання даних про поточний стан об'єкту, доставка медикаментів, речей першої необхідності до

постраждалих. Використання РС полегшує проведення пошуково-рятувальних операцій, зменшуючи ризики та зберігаючи час.

Не менш важливу роль у проведенні пошуково-рятувальних робіт відіграють такі РС як безпілотні літальні апарати (БПЛА). Завдяки розширенню їх функціональних можливостей, на сьогодні БПЛА виступають повноцінними роботизованими системами. Вони набули широкого застосування завдяки своїй універсальності, маневреності та здатності проникати до важкодоступних місць. БПЛА збирають аерофотознімки, роблять картографування зон надзвичайних ситуацій. Невеликі БПЛА здатні маневрувати по зруйнованих спорудах, що дозволяє швидко їх обстежувати без ризику для рятувальників. Безпілотні наземні РС проникають до будівель для надання візуальної інформації про об'єкт та наявності постраждалих, також можуть виконувати картографування для подальшого планування рятувальних операцій. Роботизовані системи в реагуванні на стихійні лиха еволюціонували від поодиноких інцидентів до повномасштабного застосування [2].

Сьогодні такі системи використовуються для ліквідації наслідків аварій, наприклад на Фукусімі [3], гасіння пожеж, наприклад пожежа в Нотр-Дам де Парі [4], також для обстеження небезпечних територій, виявлення небезпечних речовин [5], розчищення та дослідження завалів, пошуку людей.

Хоча минуло вже понад 10 років, наслідки аварії на атомній електростанції (АЕС) Фукусіма-1 досі усуваються. Коли три реактори розплавився, гаряче паливо перетворилося на розплавлену лаву та прогоріло крізь сталевий корпус і бетонну підлогу. Досі точно ніхто не знає, де саме всередині реакторних корпусів знаходиться паливо. Через надто високий рівень забруднення люди не можуть самостійно шукати паливо, тому для цього використовують РС.

Наземні РС проникли вузькими трубами й проходами в середину реакторів і використовувались для оцінки стану об'єкта та знаходження паливних елементів. Також застосували підводні РС для руху всередині реактора заповненого водою [3].

У 2019 році сталася пожежа в Нотр-Дамі, вогонь швидко охопив дерев'яний каркас та будівля втратила свою стійкість, будь-яке втручання людей стало

небезпечним. Щоб забезпечити безпеку рятувальників та зберегти історичну пам'ятку, паризька пожежна бригада задіяла Colossus, робота-пожежника, розробленого Shark Robotics. На рис. 1.1 показано робота під час гасіння пожежі.



Рисунок 1.1 – Colossus при пожежі в Нотр-Дамі

Робот Colossus стійкий до екстремальних температур і обладнаний тепловізійними камерами та камерами з зумом, був використаний для охолодження конструкції, обмеження поширенню вогню та забезпечення видимості в умовах задимлення. Працюючи майже 10 годин, Colossus забезпечив охолоджувальну потужність, еквівалентну 15 пожежникам, стабілізуючи критичну ситуацію та зберігаючи людські життя [4].

Також РС використовуються для обстеження та виявлення небезпечних предметів, хімічних, біологічних, радіологічних, ядерних загроз, знешкодження саморобних вибухових пристроїв або вибухонебезпечних боєприпасів. Наприклад, TALON від QinetiQ, багатоцільовий гусеничний робот оснащений маніпулятором та камерами. Був використаний для виявлення підозрюваного у вибуху на Бостонському марафоні, а також використовується для забезпечення безпеки під час великих спортивних заходів [5].



Рисунок 1.2 – Вигляд TALON від QinetiQ

Роботизовані системи відіграють все більшу роль при проведенні пошуково-рятувальних операцій. Їх існує велике різноманіття від безпілотних літальних до наземних та водних систем. Кожна система створена для виконання специфічних задач з високою ефективністю.

## **1.2 Класифікація роботизованих систем для моніторингу важкодоступних територій**

Основною метою РС є надання оперативної та точної інформації щодо обстановки в умовах проведення пошуково-рятувальних операцій. Крім того, може виникнути потреба шукати постраждалих та забезпечувати їх водою та медикаментами. Саме в перші години потрібно найбільше інформації. Тому застосування РС є дуже привабливим та актуальним рішенням [2].

В залежності від способу пересування сучасні роботизовані системи поділяють на такі типи:

- наземні;

- повітряні;
- водні.

В залежності від завдань пошуково-рятувальних робіт кожен тип має свої переваги. Наприклад, повітряні здатні обстежувати великі території за короткий час, водні здатні занурюватися та бути маневреними у воді.

Багатоцільовий мобільний робот PackBot 510 [6], розроблений iRobot. Робот призначений як для військ та і для служб швидкого реагування, що виконують небезпечні місії в умовах високої загрози. Зовнішній вигляд робота показано на рис. 1.3 [6].



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд PackBot510

PackBot 510 може виконувати спостереження та розвідку, виявлення хімічної, біологічної, радіологічної та ядерної (ХБРЯ) загроз, розчищення будівель та маршрутів, знешкодження вибухонебезпечних боєприпасів, обробку небезпечних матеріалів, виявлення саморобних вибухових пристроїв. Має модульну конструкцію, довжина якого зі складеними ластами становить 68,6 см, а з розкладеними — близько 88,9 см. Висота без корисного навантаження або маніпулятора становить 17,8 см, а ширина з ластами — 52,1 см. Багатоцільовий робот розвиває швидкість 9,3 км/год. Включає різноманітні системи зв'язку, такі як цифровий радіозв'язок з частотою 2,4 ГГц/4,9 ГГц, двосторонній аудіомодуль, навушники з мікрофоном та систему глобального позиціонування. Живиться від

двох літій-іонних акумуляторів BB-2590/U, які забезпечують безперервну роботу понад чотири години [6].

РС Quince [7], розроблений був розроблений командою дослідників під керівництвом професора Сатоші Тадокоро з Університету Тохоку та професора Ейдзі Коянагі з Технологічного інституту Тіби за підтримки Міжнародного інституту рятувальної системи. Призначений для ліквідації наслідків катастроф, пов'язаних з ХБРЯ загрозами. Він був розроблений для проведення обстежень на місці катастроф. Його функціонал включає розслідування забруднення, спричиненого сейсмічною катастрофою, розслідування хімічних заводів щодо витоку хімікатів та їх вибуху, розслідування регіонів, що постраждали від терористичних атак, таких як атака в токійському метро. Має ширину 490 мм, довжину 700 мм, висоту без навантаження 150 мм. Вага становить 32 кг, корисне навантаження при цьому 20 кг. Максимальна швидкість сягає 1.6 м/с. У якості джерела живлення використовуються літій-іонні акумулятори, які забезпечують 2-3 години роботи. Зовнішній вигляд робота продемонстрована на рис. 1.4 [7].

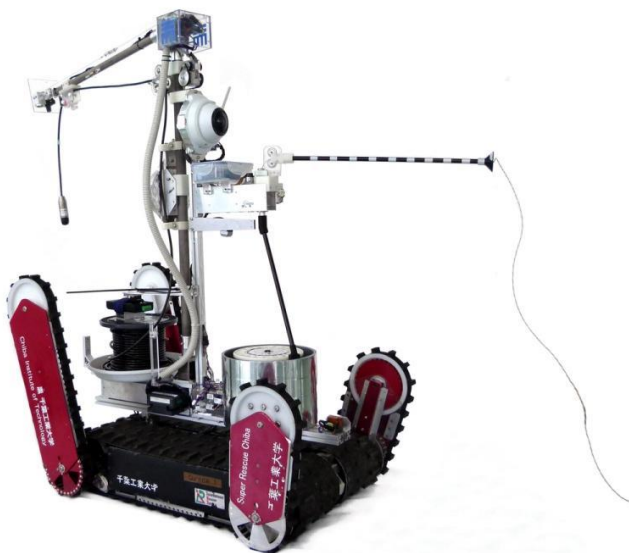


Рисунок 1.4 – Укомплектований датчиками та готовий до роботи Quince

Quince обстежив внутрішню частину атомної електростанції Фукусіма-1, пошкодження якої були спричинені землетрусом у Східній Японії 11 березня 2011 року. Quince, з модифікаціями для роботи на атомних електростанціях,

сфотографував деталі будівель електростанції, створив карти доз опромінення та відібрав проби радіоактивних матеріалів, що літають у повітрі. Він допоміг зменшити дозу опромінення працівників на місці та скоротив період роботи [8].

Мобільний робот Spot від Boston Dynamics [9], показано на рис. 1.5, призначений для різноманітних задач від патрулювання територій та обстеження промислових об'єктів до застосування при пошуково-рятувальних чи військових операціях. У квітні 2023 року на Мангеттені обвалився паркінг, внаслідок чого загинув менеджер гаража та п'ятеро інших отримали поранення. Пожежникам Нью-Йорка вдалося витягнути постраждалих з-під уламків, але департамент вважав об'єкт «дуже нестабільним». Пошук будь-яких додаткових поранених або навіть просте оцінювання пошкоджень могли б наразити пожежників на велику небезпеку. Натомість, FDNY відправила спецпідрозділ Spot, щоб той обійшов місце події та записав відеоматеріали, які потім транслювалися пожежникам у режимі реального часу [9].

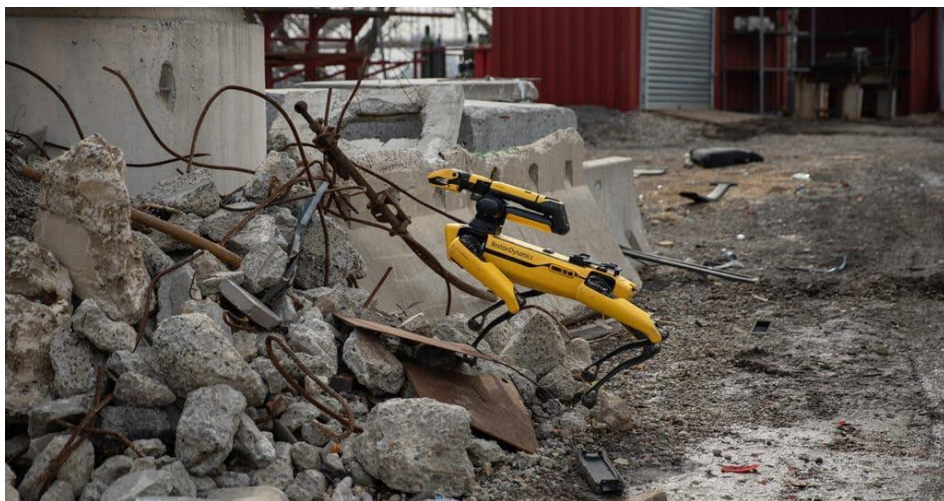


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд Spot від Boston Dynamics

Має вагу 32.7 кг, довжину 1100 мм, ширину 500 мм. Максимальна швидкість досягає 1.6 м/с. Максимальна висота перешкоди сягає 300 мм. Включає зв'язок Wi-Fi 2.4 ГГц та 5 ГГц або Ethernet. Захист від проникнення IP54, робоча температура від -20 °C до 55 °C [9].

Серед БПЛА широкого застосування отримав квадрокоптер Matrice 300 RTK (рис. 1.6) розроблений DJI. Квадрокоптер розроблений спеціально для аварійно-рятувальних служб, він здатний працювати за температур від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , під час сильних поривів вітру, має рівень захисту IP45 та стійкість до дощу, снігу та туману, що дозволяє працювати в будь-яку пору року. Завдяки комбінованій камері Zenmuse H20T (з чотирма сенсорами: камерою із зумом 20 МП, камерою з ширококутним об'єктивом 12 МП, лазерним далекоміром до 1200 м та радіометричною тепловізійною камерою з роздільною здатністю  $640 \times 512$  пікселів) його можна використовувати навіть вночі та в умовах сильного задимлення. Час польоту становить до 55 хвилин з максимальною дальністю польоту до 15 км та швидкістю 80 км/год. Дрон має розширені можливості цифрового інтелекту, які розпізнають об'єкт, знаходять його та автоматично відстежують, а система виявлення та позиціонування в 6 напрямках забезпечує безпеку дрона [10].



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд DJI Matrice 300 RTK

Надводний робот Beach Emily, розроблений для порятунку людей на пляжах, в океані, річках та під час повені. Робот оснащений дистанційним керуванням, здатний швидко досягати жертви та виграти час до прибуття рятувальників. Максимальна швидкість до 37 км/год, вага 12 кг, час роботи на повній потужності 14 хвилин. Розмір 35 x 35 x 127 сантиметрів. Корпус виконаний з композиту, що

дає стійкість до корозії, має ручки, за які потерпілі можуть закріпитися. Зовнішній вигляд робота показано на рис. 1.7 [11].



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд Beach Emily

Кожна РС має свої конструктивні особливості, які визначаються характером завдань, покладених на неї, умовами експлуатації та вимогами до мобільності, вантажопідйомності чи автономності.

### **1.3 Особливості конструкції роботизованих платформ**

Роботизована платформа (РП) — це система з програмним забезпеченням, сенсорними елементами та іншими технологіями, які дозволяють їй розпізнавати, рухатися та взаємодіяти з навколишнім середовищем залежно від можливих непередбачених подій.

Структура РП показана на рис. 1.8 на прикладі мобільного робота для інспекції витоку небезпечних газів [12].

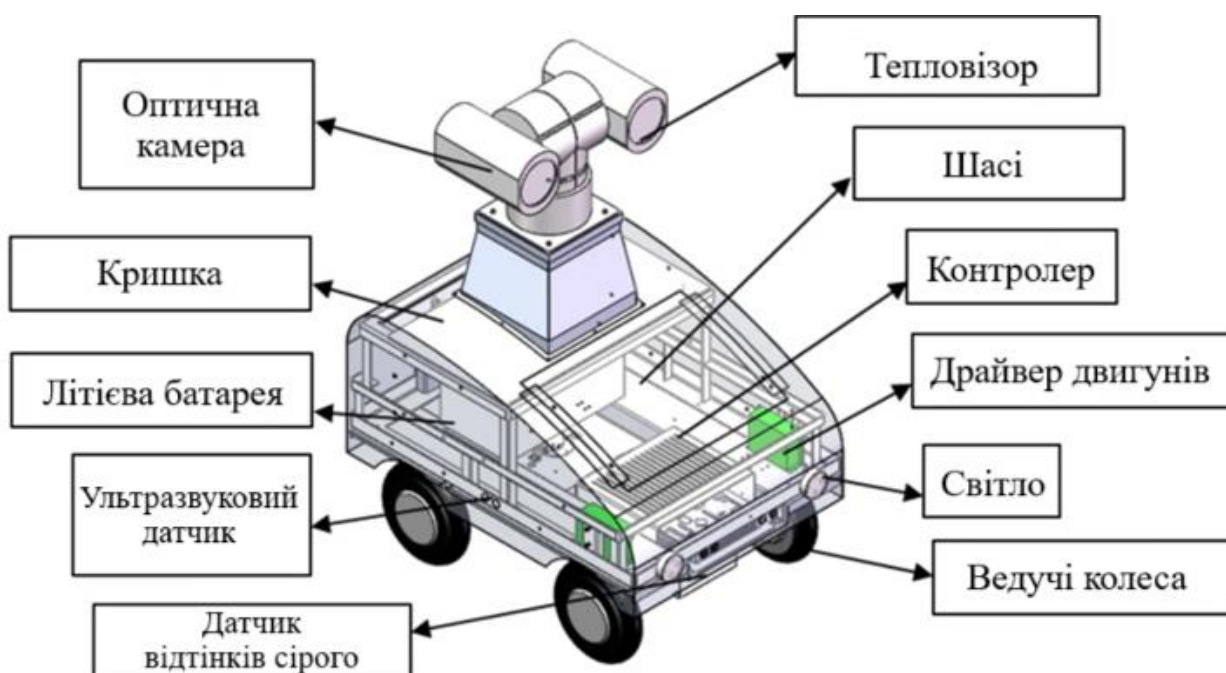


Рисунок 1.8 – Структура РП

В основі всіх РП лежить шасі, до якого кріпляться всі інші компоненти. Контролер забезпечує керування та обробку всіх даних з датчиків. В якості джерела живлення використовують акумулятори, найчастіше літій-іонні або літій-полімерні. Драйвер двигуна забезпечує живлення та керування моторами.

Залежно від способу керування розрізняють: автономні, напівавтономні та дистанційно керовані [13]. Автономні РП діють за визначеним алгоритмом. Напівавтономні діють за визначеним алгоритмом але за необхідності оператор може втрутитись в керування. Напівавтономні використовуються для зменшення навантаження на оператора, що дає змогу керувати кількома системами одночасно. Дистанційно керовані повністю керуються оператором.

Для забезпечення дистанційного керування використовуються різні системи зв'язку. Найпопулярнішими є системи з частотою роботи в діапазоні 2.4 ГГц, наприклад, ZigBee, Bluetooth, ISA 100.11a, WirelessHART та WIA-PA. Також часто використовують системи з діапазоном частот 5.8 ГГц [14].

В залежності від призначення на РП можуть мати різне оснащення: камери, маніпулятори, датчики та інші виконавчі органи.

Камера це основне оснащення всіх РП. За допомогою камер забезпечується візуальний контроль. Зображення може передаватися оператору або безпосередньо оброблятися бортовим контролером – комп’ютерний зір. Часто використовуються тепловізійні камери, що дозволяє орієнтуватися в умовах поганої видимості, а також камери з зумом, що дає можливість наближення об’єкта. Наприклад пожежний робот Colossus та квадрокоптер DJI Matrice 300 RTK оснащені такими камерами.

Маніпулятор один з найпоширеніших виконавчих органів. Застосовується для виконання механічних операцій: переміщення, захоплення. Маніпулятори розрізняють за вантажопідйомністю: надлегкі 1...10 Н; середні 10...1000 Н; важкі 1...10 кН; надважкі понад 10 кН. В маніпуляторах застосовуються різні типи приводів: електромеханічні, гідравлічні, пневматичні, комбіновані. Також важливою характеристикою є точність позиціонування маніпулятора [13]. Наприклад, раніше розглянуті TALON, PackBot510 та Spot оснащені маніпуляторами, що дозволяє їм механічно взаємодіяти з різними предметами.

Для виконання поставлених задач РП обладнаються різними датчиками та сенсорами. Вони відповідають за навігацію, орієнтацію в просторі, вимір радіаційного фону, вимір температури, аналіз повітря, виявлення перешкод та картографування. До таких відносять:

- ультразвукові та лазерні датчики відстані, наприклад, технологія LiDAR – вимірювання відстаней за допомогою лазерних імпульсів [15];
- гіроскопічні модулі та акселерометри; дозиметри та лічильники Гейгера, як у Quince на Фукусімі;
- аналізатори газів – для виявлення домішок в повітрі.

### **1.3.1 Конструкція шасі**

В залежності від типу шасі відносять: крокуючі, колісні, гусеничні, гібридні [16].

Гусеничні та колісні, виходячи з назви, в основі шасі мають гусениці та колеса. Відносно проста та стійка конструкція, через що й набули широкого використання. Гусеничні платформи можуть рухатися по нерівній та податливій місцевості, оскільки їхня поверхня контакту з землею значно більша, ніж у колісних роботів. З іншого боку, вони зазвичай рухаються повільніше та з меншою енергоефективністю. Колісні мають найпростішу та найбільш енергоефективну конструкцію. Враховуючи особливості стійкості та енергоефективності, колісні та гусеничні платформи використовуються не лише для виявлення постраждалих, але й взаємодію з ними, доставка води, ліків або безпосередньо евакуації постраждалих. Поєднуючи гусениці або колеса в різних формах та комбінаціях досягається висока прохідність таких платформ [17].

Крокуючі платформ використовують кінцівки для пересування, в залежності від кількості кінцівок бувають двоногі, чотириногі, шестиногі (гексаподи). Адаптивність є важливою характеристикою для роботизованих платформ, а натхненні поведінкою тварин крокуючі платформи, є найефективнішим рішенням у випадку нерівної місцевості та перешкод. Мають високу прохідність та не потребують неперервного шляху, можуть долати завали, розщелини. Як правило, повільніші та менш енергетично ефективні на рівних ділянках. Основним недоліком є їхня вартість та складність конструкції, особливо для динамічних платформ [16].

Повітряні поділяються на два типи: роторні та з фіксованим крилом [18]. Літальні апарати з фіксованим прості в експлуатації, мають більший радіус дії та ідеально підходять для спостереження та моніторингу на великій території. Літальні апарати з фіксованим крилом також мають перевагу в тому, що можуть виявляти об'єкти на великих відстанях та більшу автономність. Однак недоліком є те, що для реагування потрібен більший час, оскільки апарат з фіксованим крилом потребує часу та простору, перш ніж він встановить свій курс. Роторні БПЛА мають менші потреби в просторі та часу, що дає змогу розгортати їх в міських районах та в обмежених просторах. Ними часто легше керувати, завдяки набору двигунів, керованих складною системою керування, яка забезпечує стабільність

апарату та можливість вертикально зльоту і посадки. Мають чудову маневреність і можуть зависати в повітрі. Недоліком є менша автономність та вібрації викликані ротором, що ускладнює роботу обладнання для візуального моніторингу [18].

Комбінуючи різні типи роботизованих платформ, отримують так звані гібридні платформи. Таке поєднання дозволяє використовувати переваги кожної з платформ для виконання поставлених задач. На рис. 1.9 показано поєднання крокуючої та колісної платформ, таке поєднання збільшує рухливість та прохідність [19].

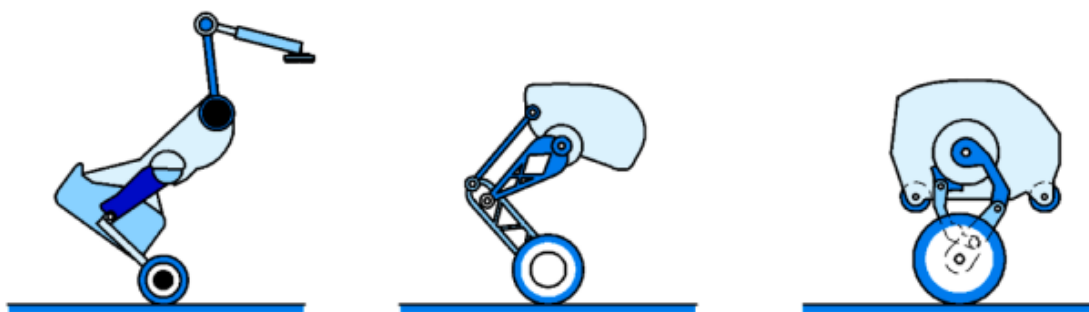


Рисунок 1.9 – Приклад гібридних платформ

В табл. 1.1 наведено основні характеристики та особливості кожного типу шасі.

Таблиця 1.1 – Особливості шасі

Тип шасі	Прохідність	Енерго-ефективність	Складність конструкції	Складність керування
Колісне	Низька	Висока	Низька	Низька
Гусеничне	Висока	Середня	Середня	Низька
Крокуюче	Найвища	Низька	Висока	Висока
Гібридне	Найвища	Низька	Висока	Висока

Наземні роботизовані платформи (РП) є найпоширенішим типом РП для проведення пошуково-рятувальних робіт.

### 1.4 Роботизовані платформи гусеничного типу

Гусеничне шасі – це тип рушія, в якому використовуються гусениці. На рис. 1.10 показано схему гусеничного шасі, де 1, 4 – ведучі ролики; 2 – гусениця; 3, 5 – опорні ролики; 6 – натяжний ролик.

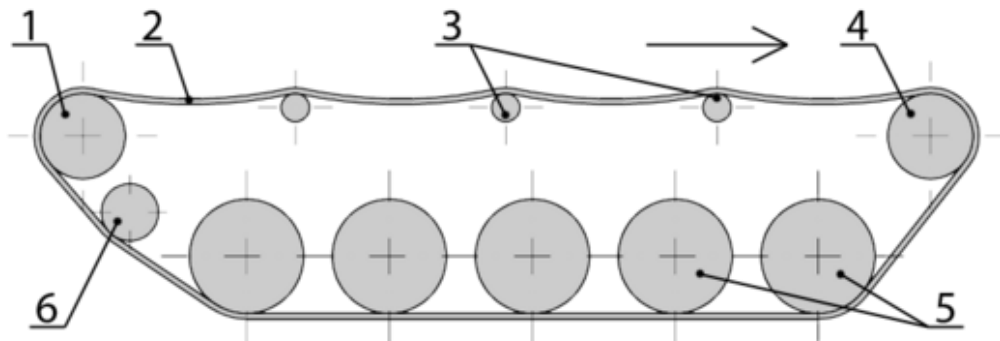


Рисунок 1.10 – Схема гусеничного шасі

Одним з основних критеріїв прохідності гусеничної платформи є конструкція гусениць. В залежності від конструкції гусениця буває наборною з окремих траків з'єднаних шарнірами або з суцільного еластичного полотна. Основними матеріалами що застосовуються для виготовлення гусениць є: гума, метал, композити. Поєднуючи ці матеріали отримують комбіновані варіанти, які задовольняють поставлені задачі. На рис. 1.11 продемонстровано конструкції гусениць [20].

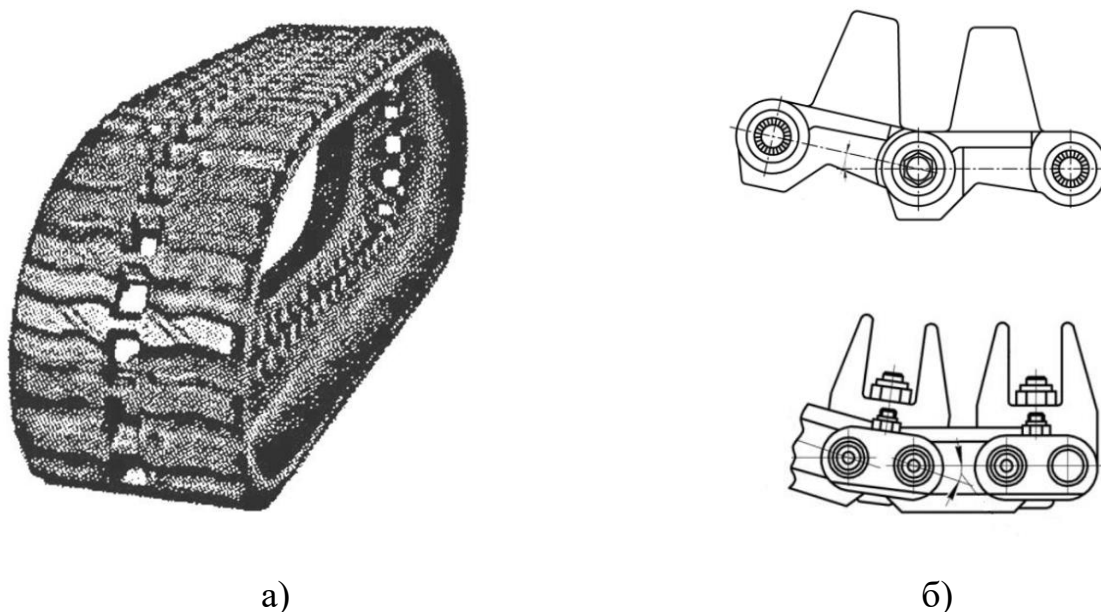


Рисунок 1.11 – Конструкції гусениць: а) кільцева стрічкова гусениця; б) ланкова гусениця

Використання гусениць у роботизованих платформах дозволило їм покращити зчеплення з нерівною поверхнею або пухкими частинками, але це призводить до більшого споживання енергії через тертя. У випадку стандартних гусеничних роботів максимальна висота перешкод, яку можна подолати, відповідає радіусу колеса, до якого кріпиться гусениця. Однак, для збільшення цієї висоти були розроблені деякі модифікації [19].

На рис. 1.12 (а) показано гусеничну платформу оснащену двома додатковими роликми, таке розташування роликів створює певний кут атаки – кут з яким гусениця стикається з перешкодою, що дозволяє долати перешкоди висотою більші за радіус ведучого колеса. За рахунок скосу передньої частини гусениця дістається вершини перешкоди раніше та це є ключовим фактором подолання ступінчатих перешкод [21].

На рис. 1.12 (б) продемонстровано гусеничну платформу з подвійним приводом. Запропонований механізм здатний забезпечувати два види руху, перший це рух гусениць вперед та назад, другий це рух з'єднувальної рами, яка з'єднує дві зірки гусениці. Такий рух рами дозволяє отримувати різні конфігурації для подолання перешкод різної складності [22].

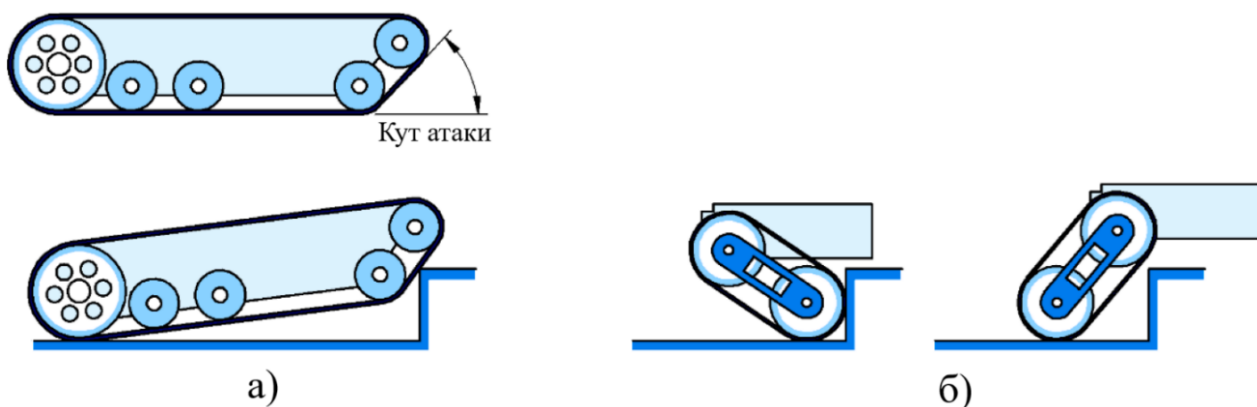


Рисунок 1.12 – Тип гусеничної платформи а) гусениця з кутом атаки; б) гусениця з подвійним приводом

На рис. 1.13 показано платформи з кількома гусеницями, де кожна платформа має кілька корпусів з'єднаних кількома або одним шарніром. Шарнір створює можливість руху корпусів відносно один одного, що дозволяє платформі краще адаптуватися до нерівної місцевості та перешкод, збільшуючи зчеплення з дорогою та покращуючи прохідність. Додатковою перевагою цих платформ є кут атаки, який створюється передньою частиною, що ще більше підвищує можливість подолання перешкод [19].

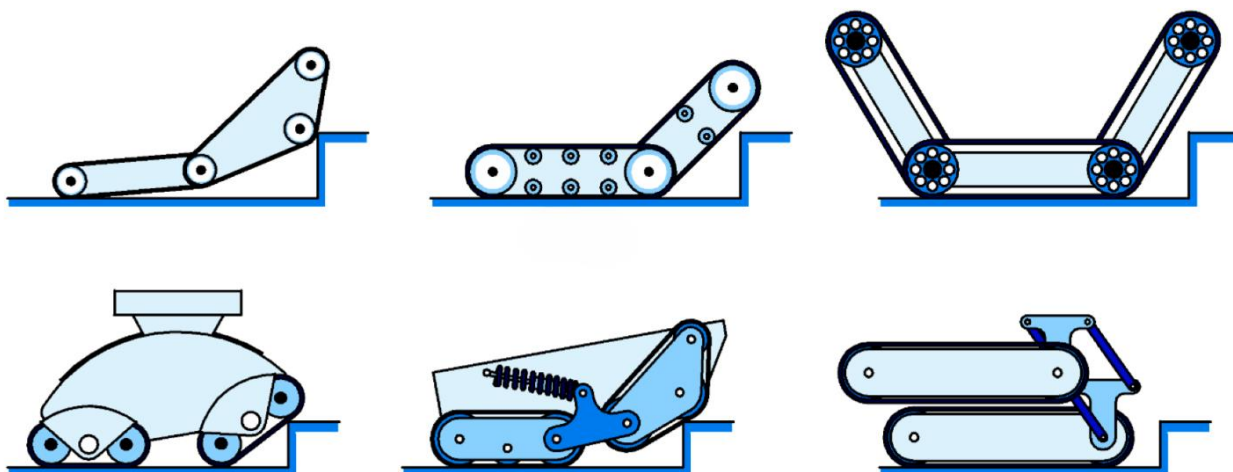


Рисунок 1.13 – Платформи з кількома гусеницями [19]

Широкого застосування отримали платформи в яких окрім основної гусениці ще є додаткові гусениці на рухомих кінцівках. Рухаючи цими кінцівками можна змінювати кут атаки, що дозволяє адаптуватися під різноманітні перешкоди, в тому числі сходи.

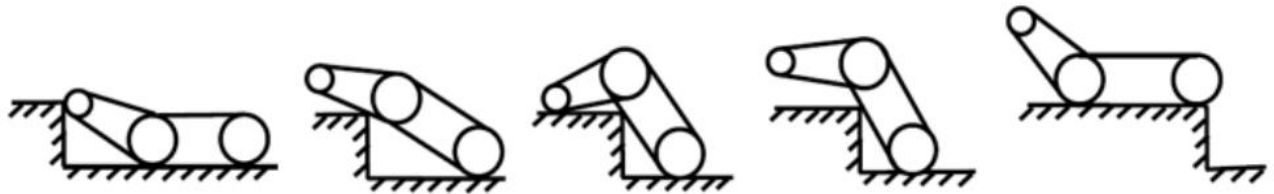


Рисунок 1.14 – Платформа з рухомою кінцівкою

На рис. 1.14 показано платформу з рухомою кінцівкою в процесі перетину сходинки. На першому етапі кінцівка підіймається та торкається верхньої частини сходинки, далі кінцівка заїжджає на сходинку, потім опускається для підвищення зчеплення з поверхнею, згодом вся платформа заїжджає на сходинку. За рахунок рухомих кінцівок значно підвищується здатність долати перешкоди. Щонайменше, здатність долати підйоми у цих платформ на 20% більше за базові конфігурації платформ такого ж розміру [23].

Таким чином було сформульовано основну мету роботи - розробити прототип роботизованої платформи з дистанційним керуванням та передачею зображення для візуального моніторингу.

Для поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести літературний пошук та визначити напрямки розвитку та вдосконалення роботизованих платформ з дистанційним керуванням для проведення пошуково-рятувальних робіт.
2. Вибрати тип гусеничного шасі, розробка функціональної схеми, побудова алгоритму роботи гусеничної платформи. Вибір елементної бази та безпосередньо розробка прототипу.
3. Провести випробування та надати інструкцію користувача.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ГУСЕНИЧНИЧНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ

#### 2.1 Структурна схема роботизованої системи

Роботизована система (РС) повинна мати систему для дистанційного керування та систему для візуального моніторингу. Радіокерування та відеопередача здійснюється окремими системами, що дозволяє збільшити надійність та зменшити вартість за рахунок використання простіших мікроконтролерів. Радіокерування здійснюється на частоті 2.4 ГГц. Відеопередача здійснюється по Wi-Fi.

РП повинна мати: радіомодуль та мікроконтролер (МК), відео передатчик з камерою та МК, також має бути живлення та виконавчі механізми.

Структурна схема РП показана на рис. 2.1.

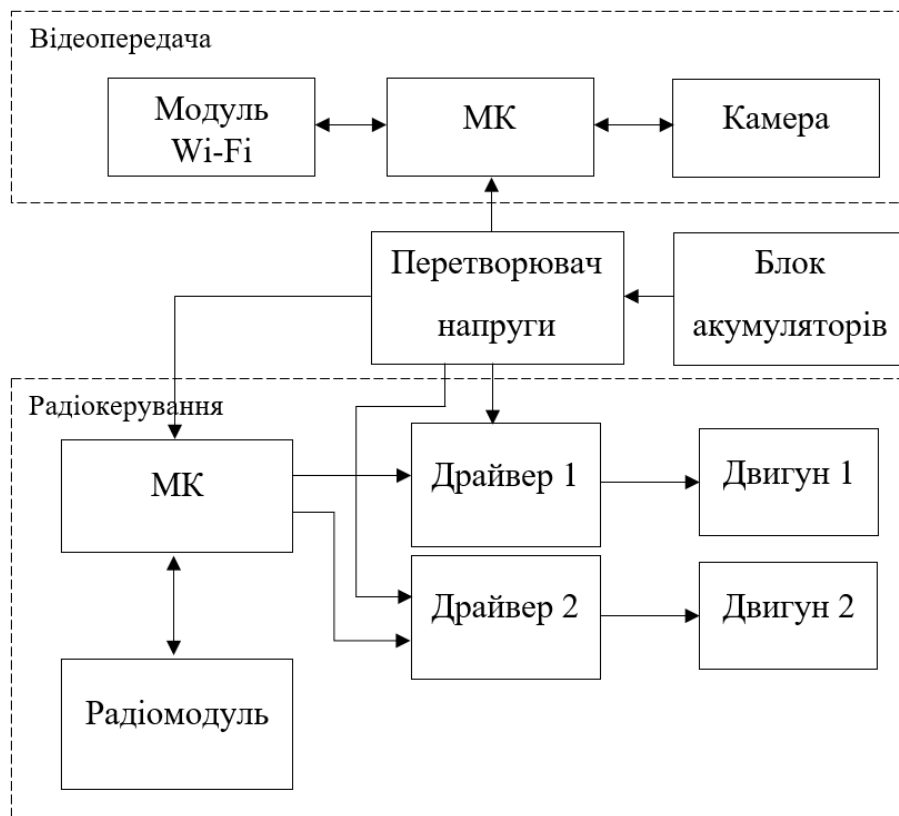


Рисунок 2.1 – Структурна схема РП

Пульт керування для РП повинен мати: відеоприймач, радіомодуль, МК, джойстик для керування та живлення. Структурна схема пульта керування зображена на рис. 2.2.

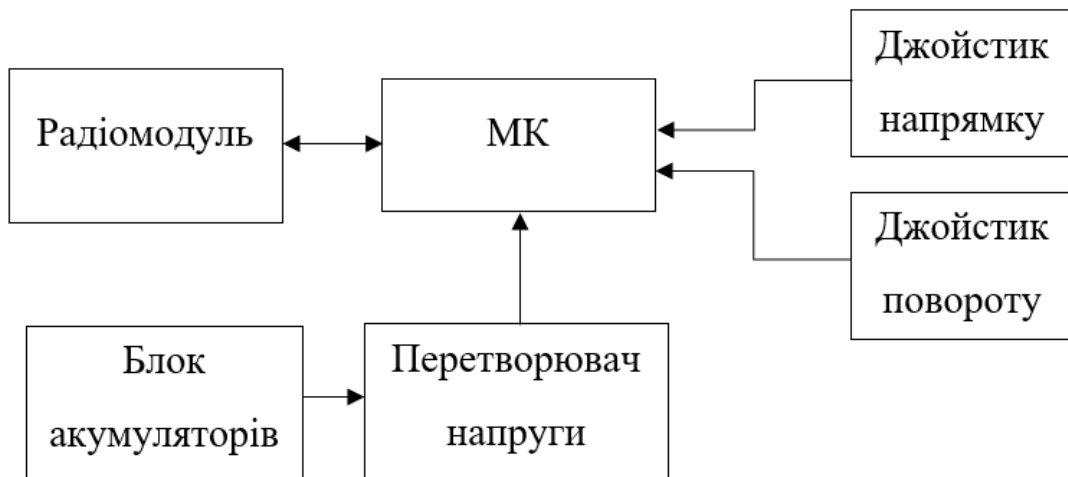


Рисунок 2.2 – Структурна схема пульта керування

Джойстики напрямку та повороту використовуються для керування РП, сигнали з джойстиків зчитуються МК та відправляються за допомогою радіомодуля на РП. На РП сигнал приймається радіомодулем та передається на МК де формуються сигнали керування для драйверів.

Для відеопередачі МК отримує зображення з камери, оброблює його та передає через Wi-Fi. Зображення отримується ноутбуком чи телефоном з підтримкою Wi-Fi.

## 2.2 Вибір елементної бази

Для забезпечення візуального моніторингу обрано ESP 32-CAM [24] – це плата для розробки на базі ESP32 розміром 27x40 мм. Плата поєднує Wi-Fi,

Bluetooth та низько енергетичний BLE (Bluetooth Low Energy) з двома високопродуктивними 32-бітними процесорами LX6. Тактова частота до 160 МГц. SPI Flash пам'ять 32 Мбіт. Оперативна пам'ять: 520 КБ вбудованої та 4 Мбіт зовнішньої. Підтримка інтерфейсів: UART, SPI, I2C, PWM. Підтримка microSD карт. Кількість портів вводу/виводу: 9. Швидкість послідовного порту: за замовчуванням 115200 біт/с. Підтримка камер OV2640 та OV7670. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.3 [24].

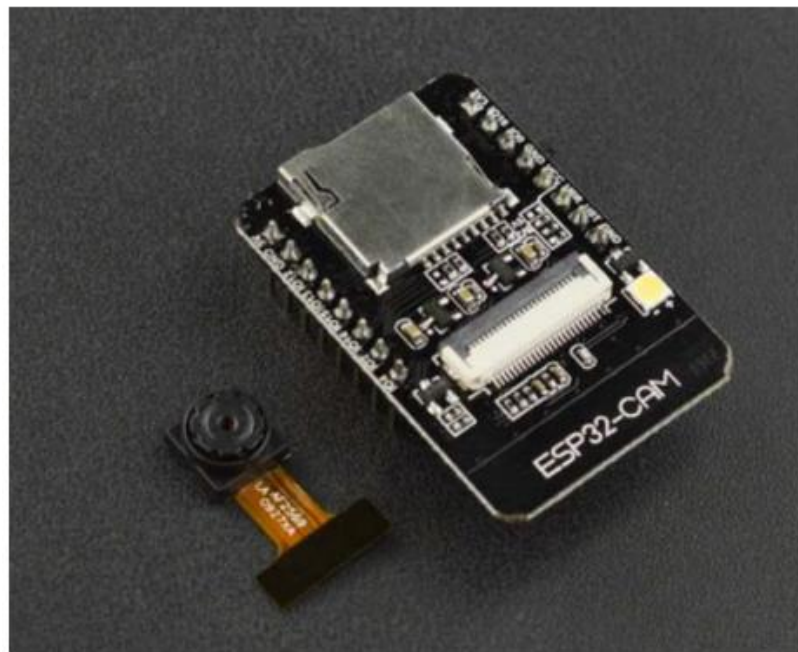


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд ESP32-CAM

Для прототипу обрано камеру OV2640 з роздільною здатністю 2МПі та об'єктивом з кутом огляду 180°.

Для забезпечення радіокерування обрано модуль nRF24L01P+ [25] – це одночіповий приймач-передавач 2.4ГГц, що підходить для бездротових застосувань з низьким енергоспоживанням. Розроблений для роботи в діапазоні частот ISM 2.400-2.4835ГГц. Має 126 каналів зв'язку. Потребує стабільного живлення 3.3В. Керується по інтерфейсу SPI, тому для роботи потрібен МК з підтримкою SPI. Зовнішній вигляд продемонстровано на рис. 2.4 [25].



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд модуля nRF24L01P+

Для стабільного живлення радіомодуля обрано адаптер живлення зі стабілізатором напруги з 5В до 3.3В та конденсаторами для стабілізації живлення. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд адаптера живлення

В якості МК для роботи з радіомодулем та виконавчими механізмами РП обрано платформу Arduino Nano на базі ATmega328P [26]: Це мініатюрний мікроконтролер, який відповідає за обробку сигналів та керування іншими

компонентами системи. Arduino Nano має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть бути використані як виходи з широтною-імпульсною модуляцією (ШІМ), і 8 аналогових входів. Він базується на чіпі ATmega328P з тактовою частотою до 16МГц. Обладнаний:32КБ флеш пам'яті з яких 2КБ зарезервовано для завантажувача, 2КБ оперативної пам'яті та 1КБ енергонезалежної пам'яті. Зовнішній вигляд Arduino Nano показано на рис.2.6 [26].



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд Arduino Nano

Для керування моторами обрано драйвер BTS 7960 високострумний напівмостовий драйвер [27]. Вихідний струм 43А, напруга силової частини до 28В, напруга живлення логічної частини 5В. Драйвер підтримує ШІМ керування до 25кГц. Драйвер здатен керувати одним мотор в прямому та реверсивному напрямку. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.7 [27].

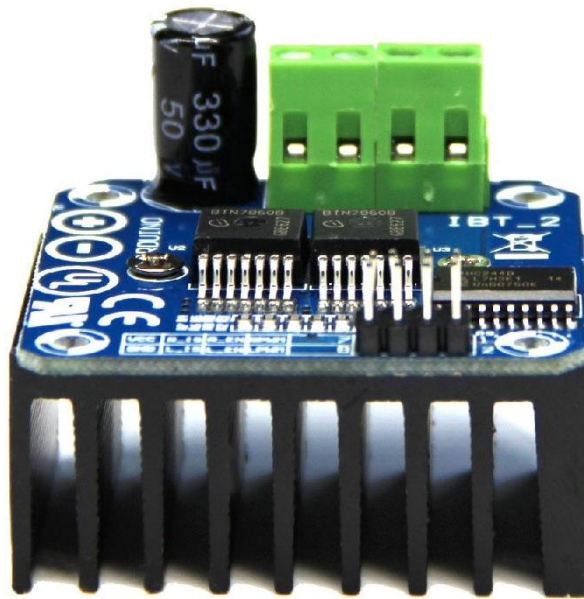


Рисунок 2.7 – Драйвер BTS 7960

Оскільки драйвер здатен керувати лише одним двигуном в обох напрямках, необхідно два драйвери для забезпечення руху в усіх напрямках: вперед/назад, повороти ліворуч/праворуч.

В якості приводу обрано колекторний двигун JGA25-370 з редуктором [28]. Мотор-редуктор використовує зубчасту передачу для перетворення початкових високих обертів та низького крутного моменту двигуна на низькі оберти та високий момент на виході з редуктора. Номінальна напруга 12В, номінальний струм 0.65А. Оберти на виході 245 об/хв. Загальний вигляд продемонстровано на рис. 2.8 [28].



Рисунок 2.8 – Вигляд мотор-редуктора JGA25-370

Для живлення РП обрано високоструміві літій-іонні акумулятори формату 18650 LiitoKala Lii HG2. Номінальна ємність 3000мАг, номінальна напруга 3.6В та струм розряду 15А, короткочасно 20А. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.9 [29].



Рисунок 2.9 – Акумулятор 18650 LiitoKala HG2

Для пульта керування обрано джойстик, що має 5 виводів: VCC (+5В), GND, X переміщення, Y переміщення та Button (кнопка). Джойстик побудований на двох потенціометрах. Зовнішній вигляд показано на рис. 2.10 [30].

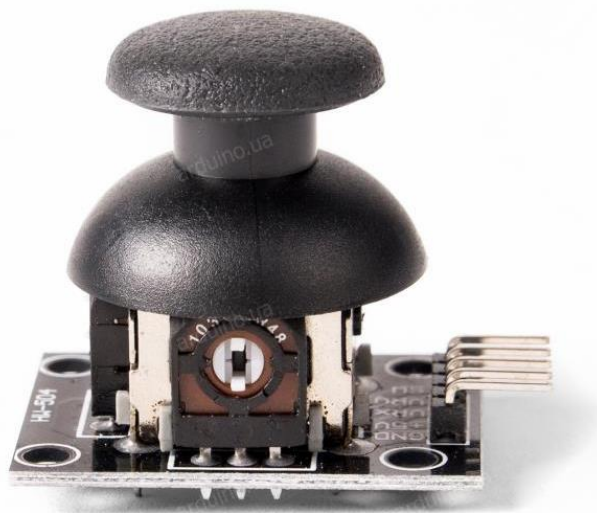


Рисунок 2.10 – Джойстик для пульта керування

Також було обрано серводвигуни для підвісу камери, що дасть змогу обертати камерою без руху всієї платформи. Обрано серводвигун SG90 9g Micro Servo 180° [31]. Напруга живлення 5В, швидкість обертання 0.1с/60°. Максимальний кут повороту 180°. Крутний момент 1.8кгсм. Вага 9г. Для підключення має 3 виводи: VCC, GND, PWM – для подачі керуючих імпульсів. Зовнішній вигляд продемонстровано на рис. 2.11 [31].



Рисунок 2.11 – Вигляд серводвигуна SG90 9 g Micro Servo

Для забезпечення живлення логічної частини напругою 5В було обрано понижуючий DC-DC перетворювач MP1584 [32]. MP1584 – це високочастотний понижуючий імпульсний стабілізатор. Діапазон вхідної напруги від 4.5В до 28В. Має низький струм спокою 100мкА, що дозволяє використовувати його в пристроях з живленням від батареї. За допомогою змінного резистору виставляється напруга на виході. Зовнішній вигляд MP1584 показано на рис. 2.12 [32].

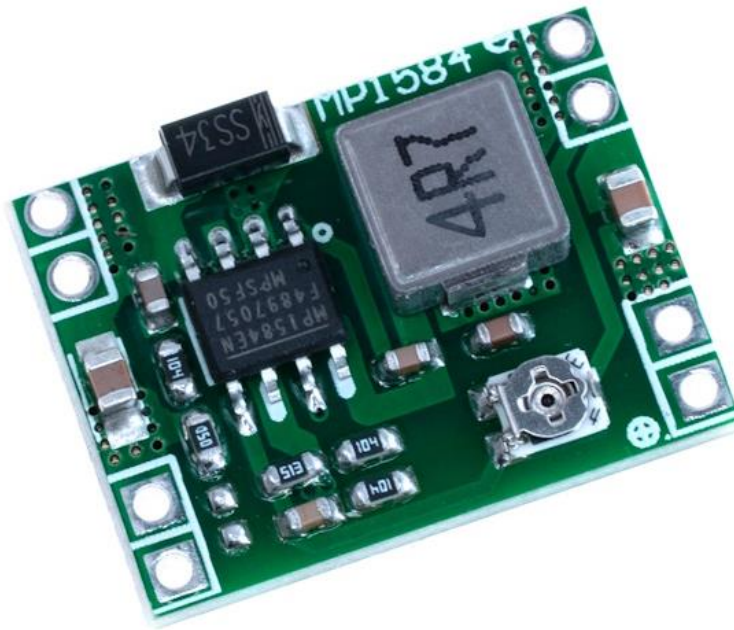


Рисунок 2.12 - Зовнішній вигляд MP1584

Наступним кроком після вибору всіх компонентів та ознайомленням з їх особливостями необхідно розробити схеми підключення пульта керування та роботизованої платформи.

### 2.3 Розробка електричної частини

Для пульта керування в якості приймача відео використано телефон з підтримкою Wi-Fi. Живлення подається через USB кабель з акумулятора телефону. На рис. 2.13 показано схему підключення компонентів пульта керування, де 1,2 – це джойстики напрямку та повороту; 3 – радіомодуль nRF24L01P+; 4 – платформа Arduino Nano.

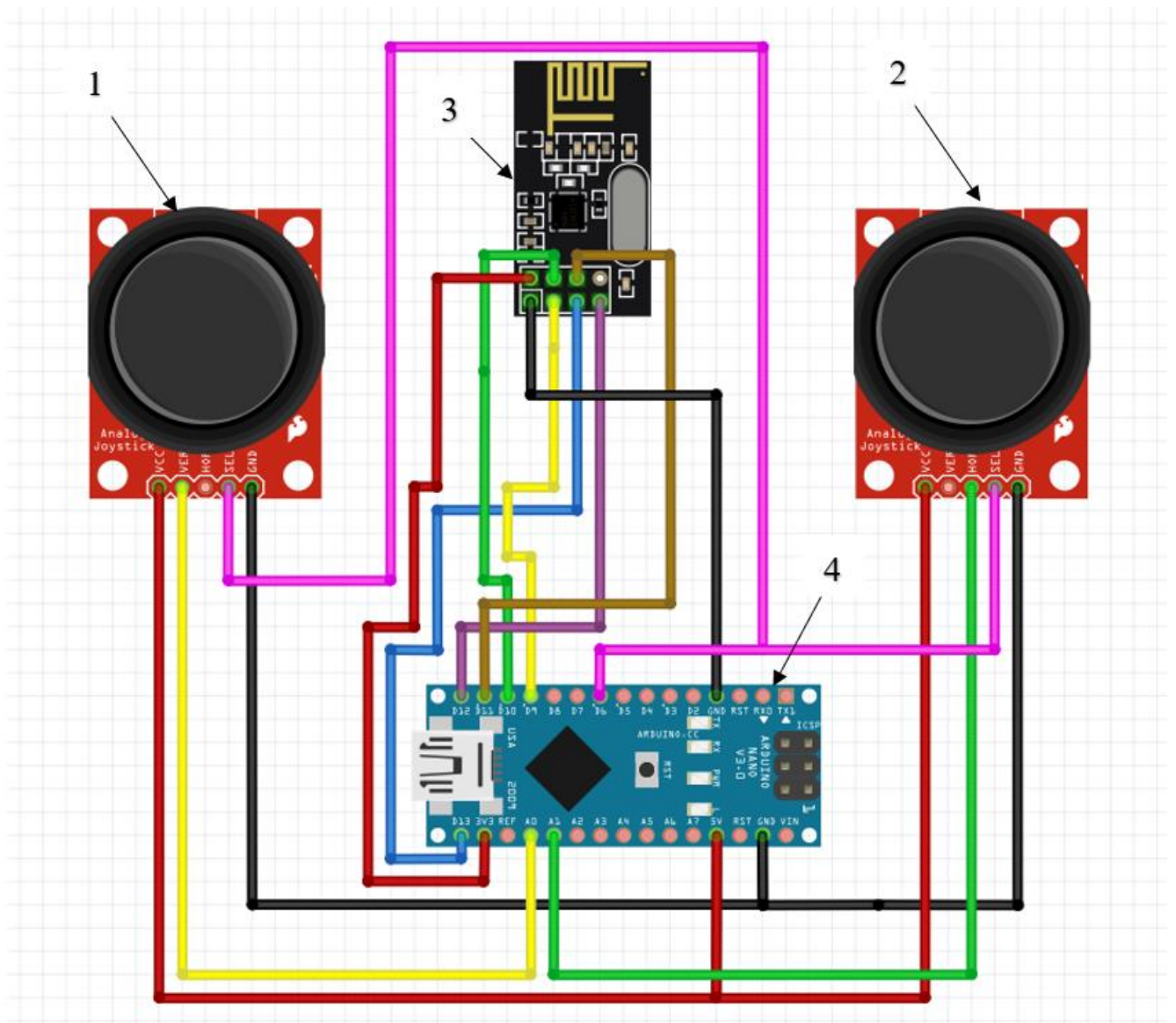


Рисунок 2.13 – Схема підключення пульта керування

На рис. 2.14 показано підключення компонентів РП. Для зменшення схеми, живлення силової частини драйверів та понижуючого DC-DC перетворювача показано як виводи проводів. Живлення РП відбувається від трьох послідовно з'єднаних Li-ion акумуляторів формату 18650, що дає номінальну напругу живлення 11.1В. DC-DC перетворювач необхідний для забезпечення живлення логічної частини напругою 5В, в незалежності від напруги акумуляторів.

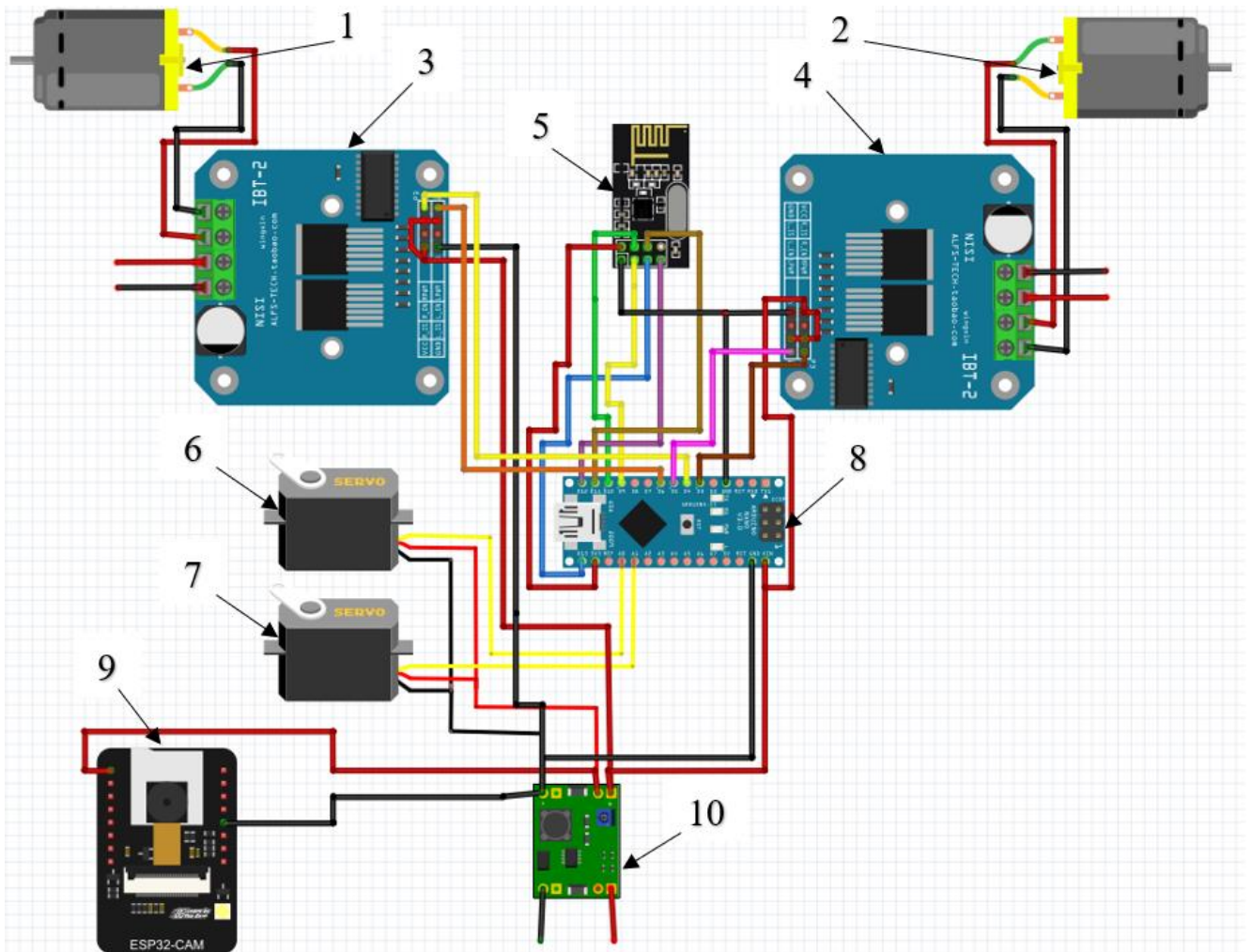


Рисунок 2.14 – Схема підключення РП

На рис. 2.14 показано схему підключення компонентів РП, де 1, 2 – лівий та правий двигуни; 3, 4 – драйвери лівого та правого моторів; 5 - радіомодуль nRF24L01P+; 6, 7 – сервомотори підвісу камери; 8 - платформа Arduino Nano; 9 – модуль ESP32-CAM з камерою OV2640; 10 - DC-DC перетворювач MP1584.

## 2.4 Розробка алгоритму роботи роботизованої системи

Для забезпечення руху РП в усіх напрямках пульт керування повинен передавати значення з джойстиків для руху вперед/назад, для повороту ліворуч/праворуч та стан кнопки для активації режиму сервомоторів. Алгоритм роботи пульта керування показано на рис. 2.15.

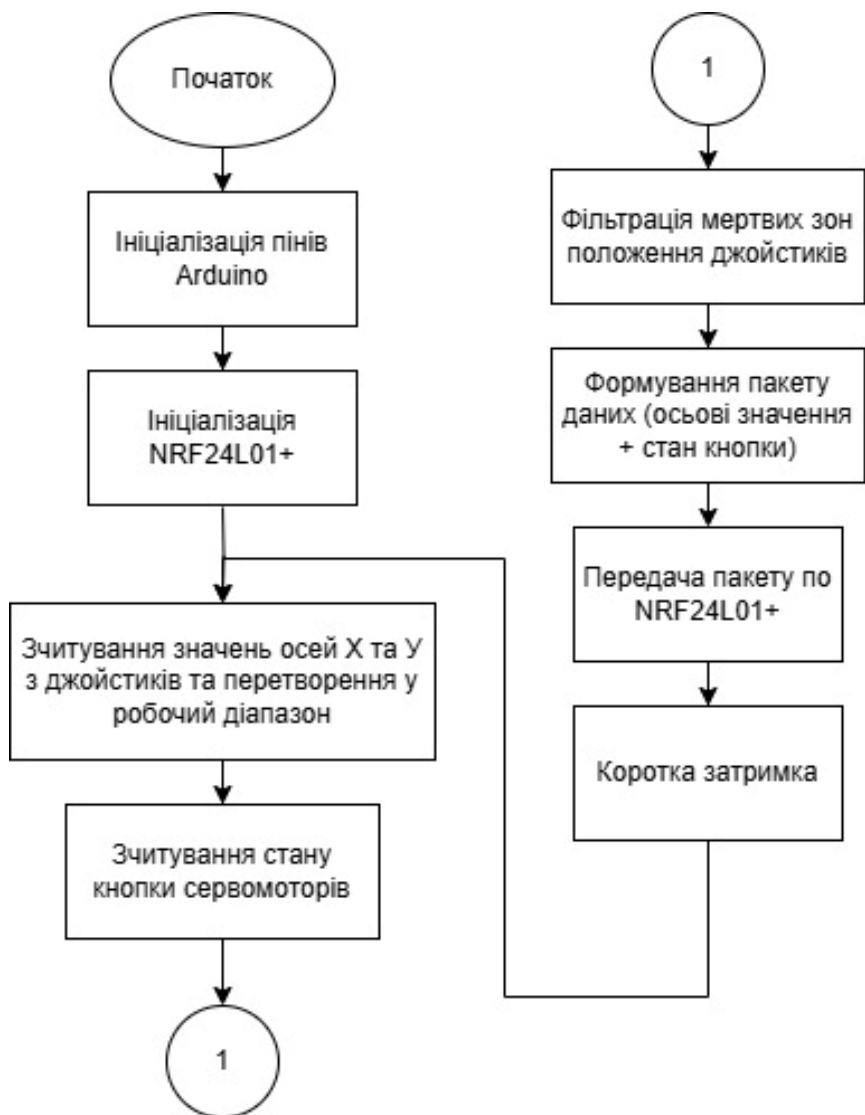


Рисунок 2.15 – Алгоритм роботи пульта керування

Алгоритм роботи пульта керування починається з ініціалізації пінів та nRF24L01P+. Після чого починається основний нескінченний цикл в якому відбувається зчитування положення джойстиків з подальшим перетворенням для роботи в необхідному діапазоні. Далі зчитується стан кнопки, яка відповідає за включення режиму керування сервомоторами підвісу камери. Для уникнення випадкового спрацювання введено «мертву» зону для джойстиків. Після чого формується пакет з положення джойстиків та станом кнопки та відправляється за допомогою радіомодуля. Після відправки пакету введено невелику затримку для стабільної роботи. Цикл повторюється поки присутнє живлення.

РП має приймати значення джойстиків з пульта керування та опрацювати їх для руху платформи. Також має бути реалізована зупинка моторів при втраті або затримці сигналу. Алгоритм роботи РП продемонстровано на рис. 2.16.



Рисунок 2.16 – Алгоритм роботи РП

Алгоритм роботи РП починається з ініціалізації пінів та nRF24L01P+. Після чого очікується пакет даних від пульта керування. Якщо дані не отримано, то мотори повністю зупиняються. Якщо дані отримано, то відбувається їх опрацювання та подаються сигнали керування на драйвери. Після чого вводиться

не велика затримка для стабільної роботи радіокерування. Цикл працює поки присутнє живлення.

Наступним кроком є створення програмного забезпечення відповідно до алгоритмів роботи.

## 2.5 Розробка програмного забезпечення

Для роботи РС розроблено дві програми в середовищі розробки Arduino IDE, одна для пульта керування, друга для РП. В обох схемах використовується модуль nRF24L01P+ в пульті керування в якості передатчика, а в РП в якості приймача. Взаємодія між мікроконтролером та модулем відбувається по інтерфейсу SPI, тому було використано бібліотеку `#include <SPI.h>`. Для роботи з радіомодулем було використано дві бібліотеки, створено об'єкт радіомодуля та задано канал зв'язку. Радіомодулі в обох схемах підключається однаково, тому піни задано однаково:

```
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define CE_PIN 9,
#define CSN_PIN 10.
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
const byte address[6] = "00001";
```

Також було задано структуру зберігання даних:

```
struct Data {
    int x;
    int y;
    bool servoMode;
};
```

Після цього етапу код пульта керування та РП починає мати відмінності. В кодї пульта керування задано піни для зчитування положення джойстиків та стану кнопки режиму керування сервомоторами. Після чого формується пакет даних по

заданий структурі та відправляється по заданому каналу. Повний код пульта керування наведено в Додаток А.

В коді РП також задіяно бібліотеку для керування сервомоторами:

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

Задано піни для керування драйверами та сервомоторами. РП прослуховує заданий канал та очікує отримання пакету даних, потім згідно структури отримує дані про положення джойстиків та стану кнопки. Далі обраховує сигнали керування для драйверів. Також реалізовано захист при втраті сигналу, якщо дані не отримано протягом заданого часу, то зупиняються всі мотори. Повний код роботизованої платформи наведено в Додаток Б.

## 2.6 Розробка гусеничного шасі

Всі деталі для прототипу будуть друкуватися на 3D принтері, тому вони проектувалися з урахуванням особливостей 3D друку. Матеріалом для друку обрано PLA, оскільки він є достатньо міцним, простим у використанні та нетоксичним, що важливо для друку в закритому приміщенні. 3D моделі створювалися за допомогою середовища SolidWorks.

Створення прототипу почалося з гусениці та ведучої зірки. Було створено 3D модель та надруковано першу ітерацію, зовнішній вигляд показано на рис 2.17.



Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд гусениці

Великим недоліком даної конструкції виявилось недостатнє зчеплення з поверхнею, через що така конструкція виявилась неефективною. Для усунення цього недоліка було прийнято рішення використати композитну конструкцію. Для цього було спроектовано форму та нову раму гусениці (рис. 2.18). Основною рамою гусениці залишилась друкована деталь з PLA пластика, а для зовнішнього покриття гусениці обрано двокомпонентний силікон.

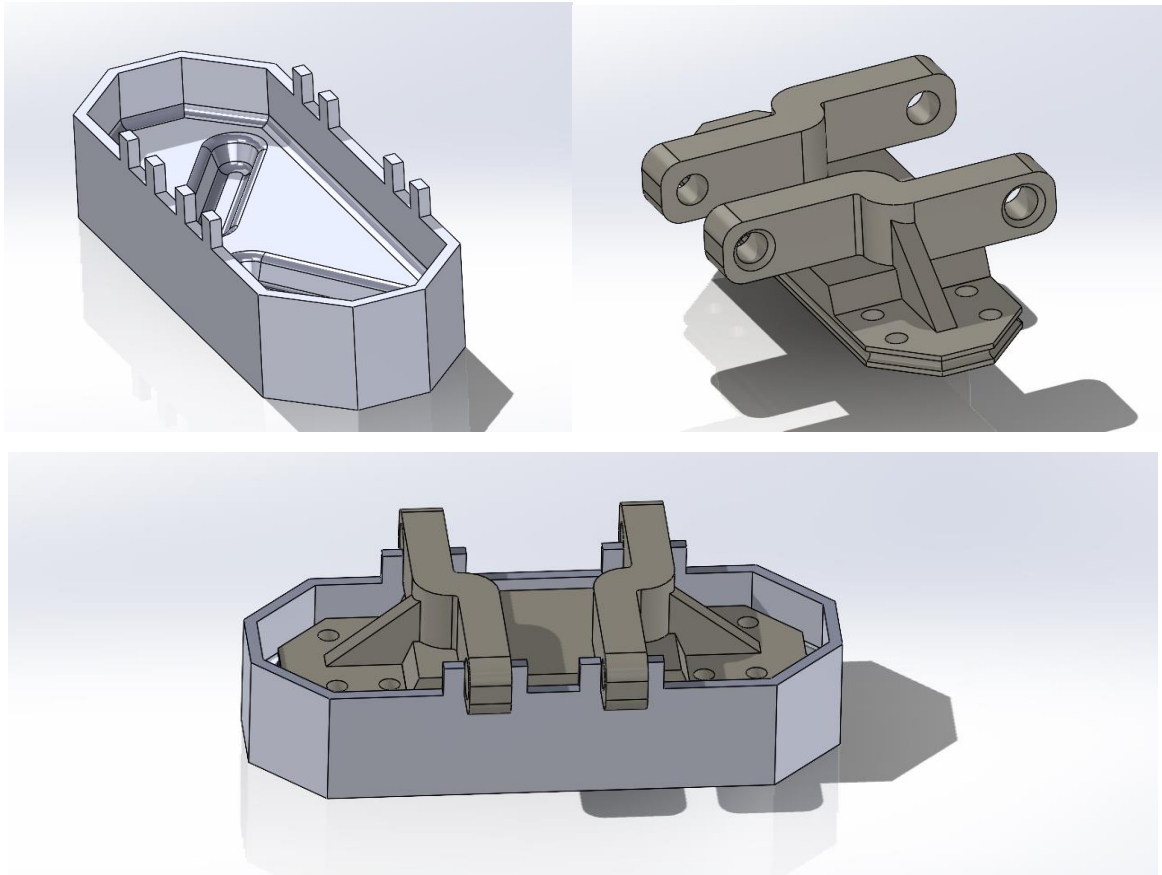


Рисунок 2.18 – Гусениця та форма для зовнішнього покриття

Процес створення композитної гусениці починається з вкладання рами гусениці у форму, потім в форму заливається силікон. Після застигання силікону готова гусениця виймається з форми (рис. 2.19). Малюнок протектора залежить від вигляду форми, тому можна створити оптимальний протектор під поставленою задачі.

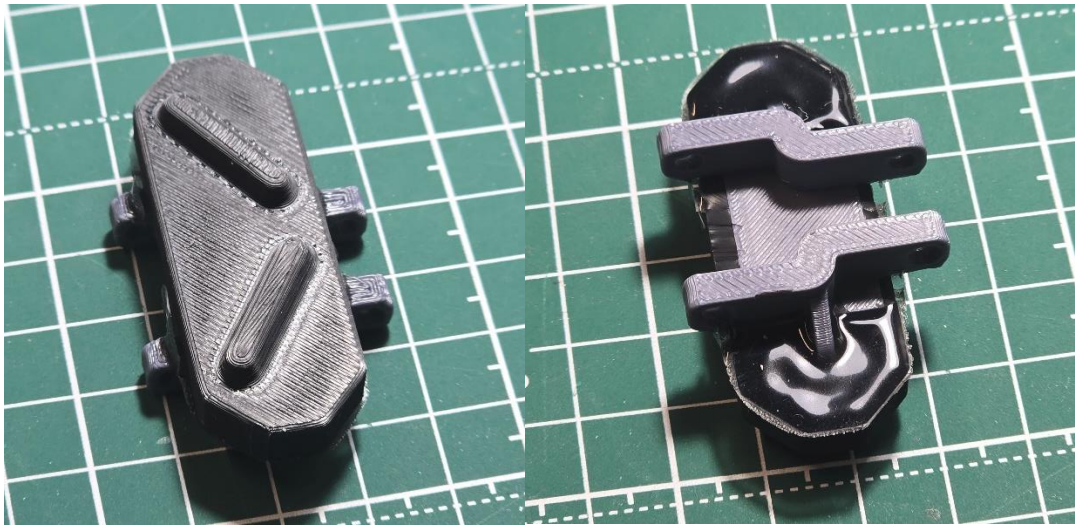


Рисунок 2.19 – Вигляд готової композитної гусениці

Було проведено тести з різними формами протектору, ітерації гусениць показано на рис. 2.20.

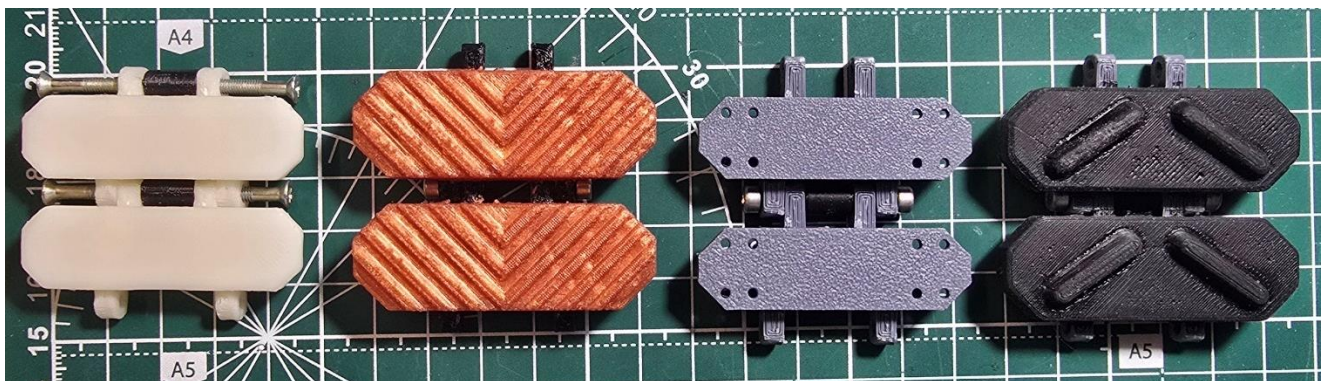


Рисунок 2.20 – Ітерації гусениць

На рис. 2.20 показано ітерації по порядку, зліва перша ітерація, справа остаточний варіант гусениці. Така форма та матеріал протектору значно збільшили зчеплення з поверхнею.

Також було проведено порівняння з різними видами силікону, а саме було використано силікони марок: SKL-30, SKL-40, SKL-50 [33]. Де числовий індекс позначає твердість по Шору А, відповідно 30А, 40А та 50А. Порівняльні характеристики силіконів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики силіконів

Марка силікону	SKL-30	SKL-40	SKL-50
Твердість (Шор А)	30	40	50
Навантаження	Низьке	Середнє	Високе
Зчеплення	Високе	Середнє	Середнє
Міцність при розриві	6,7 МПа	6,2 МПа	6,9 МПа
Температурний діапазон експлуатації	- 60 +250 °С	- 60 +250 °С	- 60 +250 °С

Виходячи з табл. 2.1 для прототипу було обрано силікон марки SKL-50, оскільки він має високу твердість, що значить він менше деформується під навантаженням та має найвищу міцність при розриві 6.9 МПа. Якщо силікон буде занадто м'яким то під великим навантаженням від буде сильно деформуватися, через що можуть виникнути завеликі втрати на тертя.

Після створення гусениць та ведучих зірок було змодельовано раму, шасі та підвіс для камери. 3D модель платформи показано на рис. 2.21.

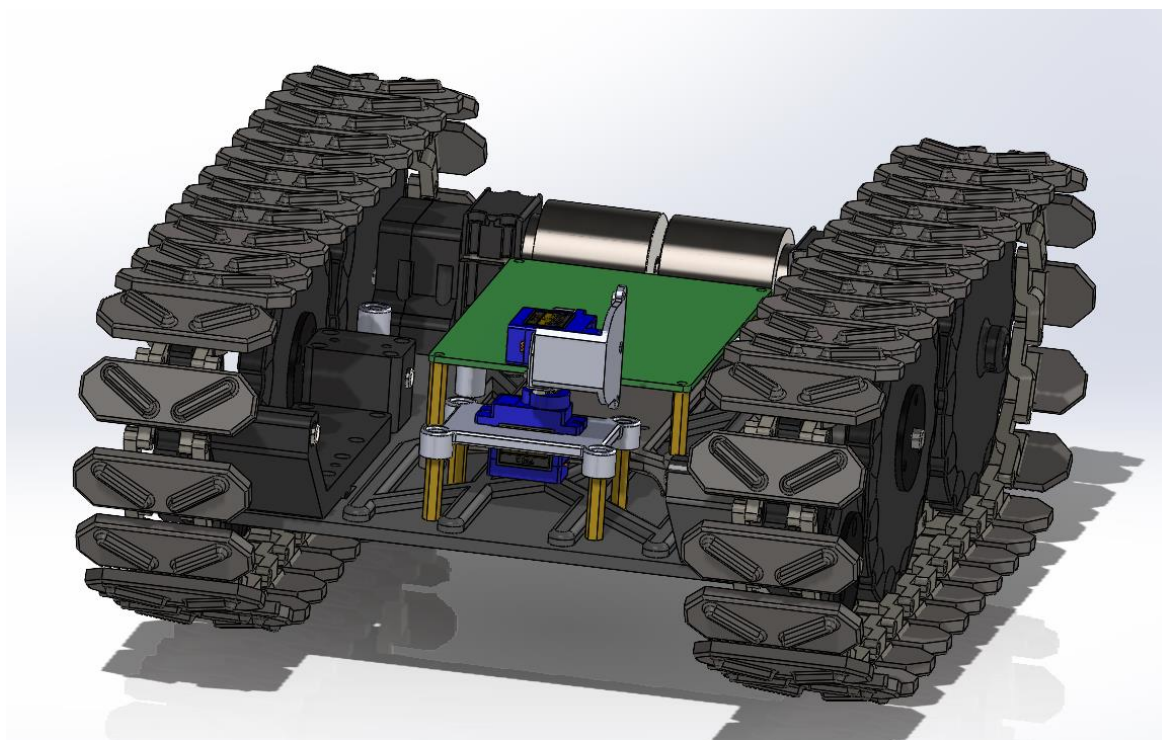


Рисунок 2.21 – 3D модель платформи

Деталі було надруковано на 3D принтері та зібрано платформу. Вигляд зібраної РП продемонстровано на рис. 2.22.

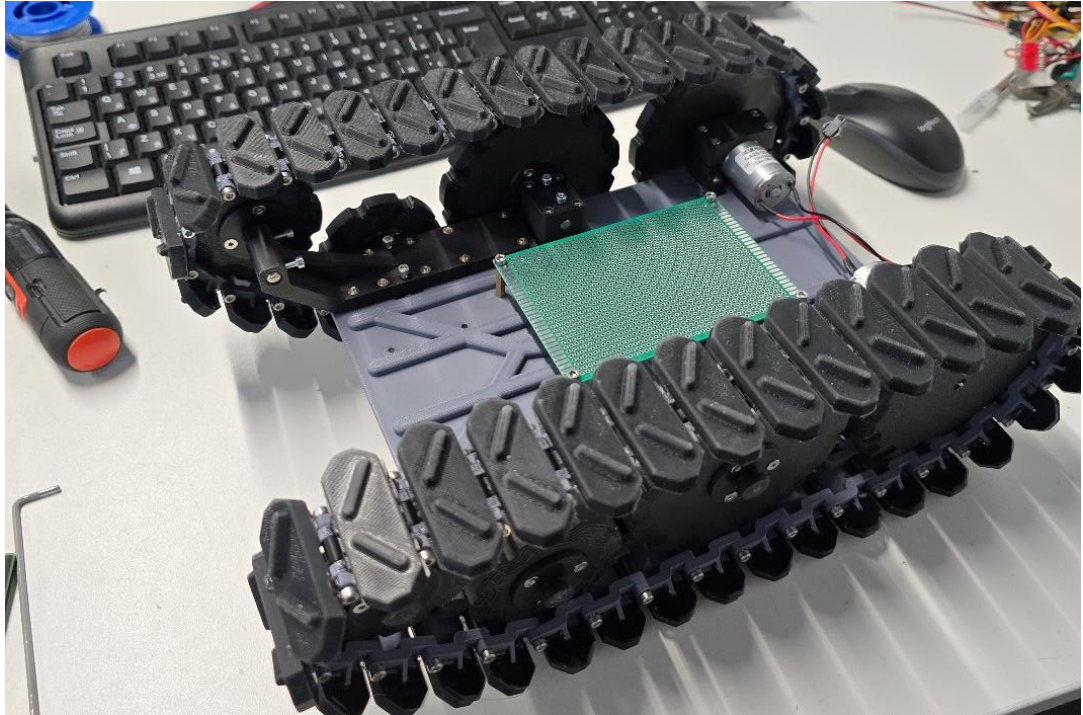


Рисунок 2.22 – Зовнішній вигляд механічної частини РП

Наступним кроком проектування РП є створення верхньої кришки для утворення площадки, що дасть змогу закріплювати корисне навантаження. Також перенесення всієї електроніки в єдиний корпус, що підвищить стійкість до механічного впливу.

## 2.7 Висновки до розділу 2

В ході другого розділу було створено структурну схему пульта керування та РП. Визначено та обрано необхідні компоненти для створення прототипу РС. Після формування структурної схеми та обрання компонентів здійснено розробку схему підключення пульта керування та схему РП. Наступним кроком було створено

алгоритми роботи пульта керування та РП, на основі яких було написано програмне забезпечення для РС.

Далі було створено 3D моделі шасі та гусениць з урахуванням особливостей 3D друку. Розроблено композитну гусеницю. За кілька ітерацій створено гусеницю з оптимальним покриттям, що значно збільшує зчеплення РП з поверхнею. Всі деталі було надруковано на 3D принтері та зібрано механічну частину РП.

Наступним кроком було збірка електричної частини РП та пульта керування. Всі компоненти було зібрано за створеними схемами підключення. Електрична частина пульта керування була інтегрована в зручний ігровий контролер.

Наприкінці другого розділу було отримано функціональний прототип РС з дистанційним керуванням та можливістю візуального моніторингу.

## РОЗДІЛ 3

### ТЕСТУВАННЯ ПРОТОТИПУ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

#### 3.1 Налаштування прототипу та інструкція використання

В ході другого розділу було створено прототип РС з дистанційним керуванням [35]. Було розроблено та зібрано гусеничне шасі, раму, підвіс камери. Зібрано електричну частину пульта керування та РП. Зовнішній вигляд платформи продемонстровано на рис. 3.1.

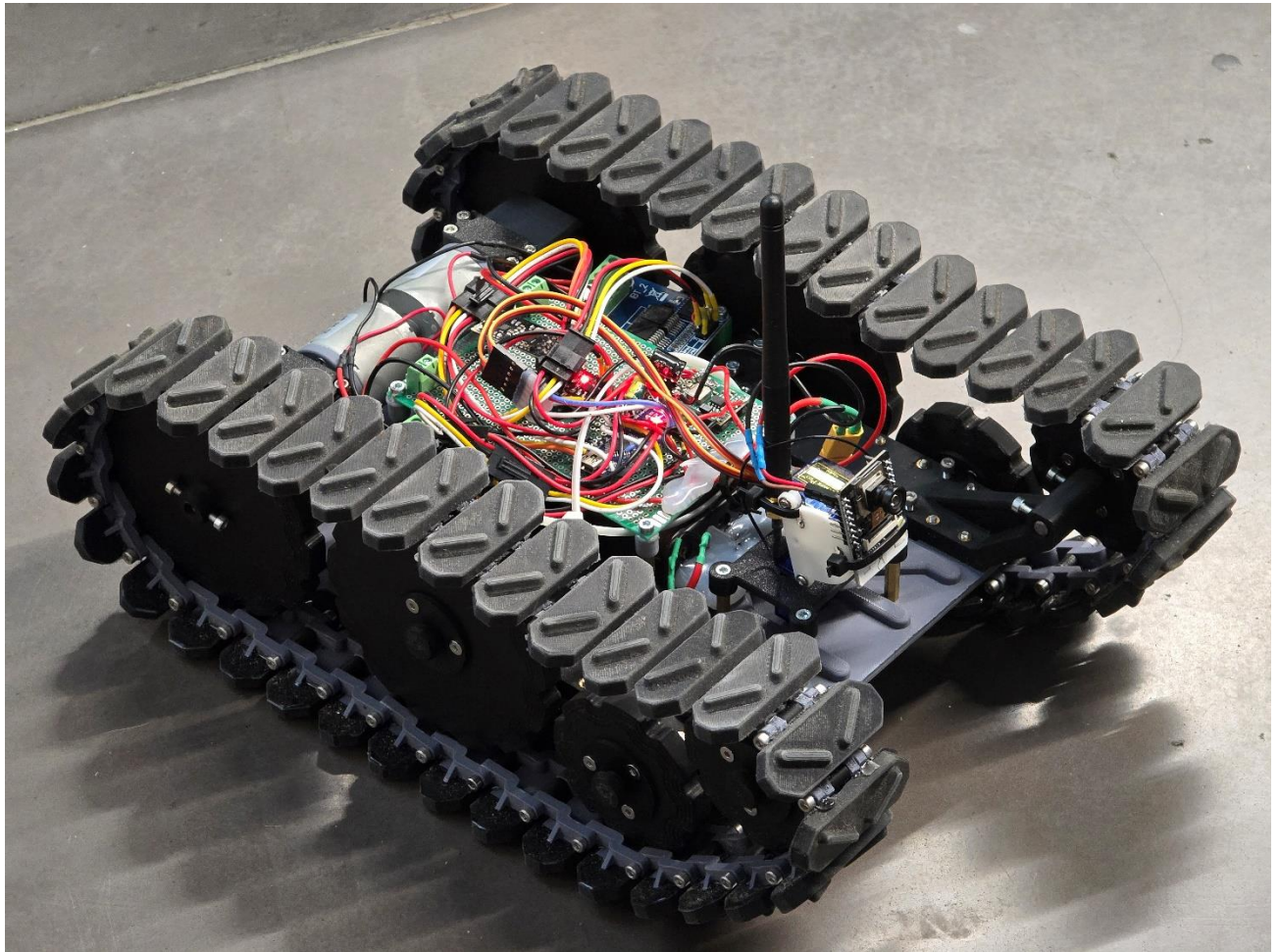


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд прототипу РП

В якості приймача відео використовується телефон або ноутбук з підтримкою Wi-Fi, живлення пульта керування відбувається через USB кабель від телефону чи ноутбука.

Корпус було взято з ігрового контролера. Зовнішній вигляд пульта керування продемонстровано на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд пульта керування

Для початку роботи необхідно завантажити код в ESP32-CAM з введеними логіном та паролем мережі Wi-Fi з якою працюватимуть. Після цього перезавантажити модуль, він підключиться до Wi-Fi та напише IP адресу за якою можна буде приєднатися до передачі відео. Для створеного прототипу це адреса: 192,168,31,97, цю адресу необхідно ввести в браузері на приймачі відео під'єданого до тієї ж мережі Wi-Fi.

Для запуску PC необхідно:

1. на РП під'єднати роз'єм живлення;
2. під'єднати до живлення пульт керування.

Цього вже достатньо аби радіокерування почало працювати та РП могла керуватися з пульта керування без передачі відео.

Для руху платформи вперед та назад задіяно лівий джойстик. Для повороту платформи задіяно правий джойстик.

Якщо при використанні лівого джойстика платформа обертається або їде в іншому напрямку, необхідно змінити полярність підключення мотора, який обертається не в тому напрямку або двох моторів якщо платформа їде в зворотному напрямку.

Щоб керувати підвісом камери необхідно натиснути на один з джойстиків, вмикається режим керування сервомоторами. Лівий джойстик керує нахилом камери вперед та назад. Правий джойстик відповідає за поворот камери ліворуч, праворуч.

Якщо при керування сервомоторами лівий та правий джойстик працюють не в правильних напрямках, необхідно змінити підключення сервомоторів місцями.

### **3.1.1 Налаштування передачі відео**

Для налаштування відеопередачі, необхідно в браузері ввести IP адресу, після чого відкриється вікно роботи з модулем ESP32-CAM, показано на рис. 3.3. У відкритому вікні необхідно натиснути кнопку «Start Stream», з'явиться зображення з РП. Відеопередача налаштована.

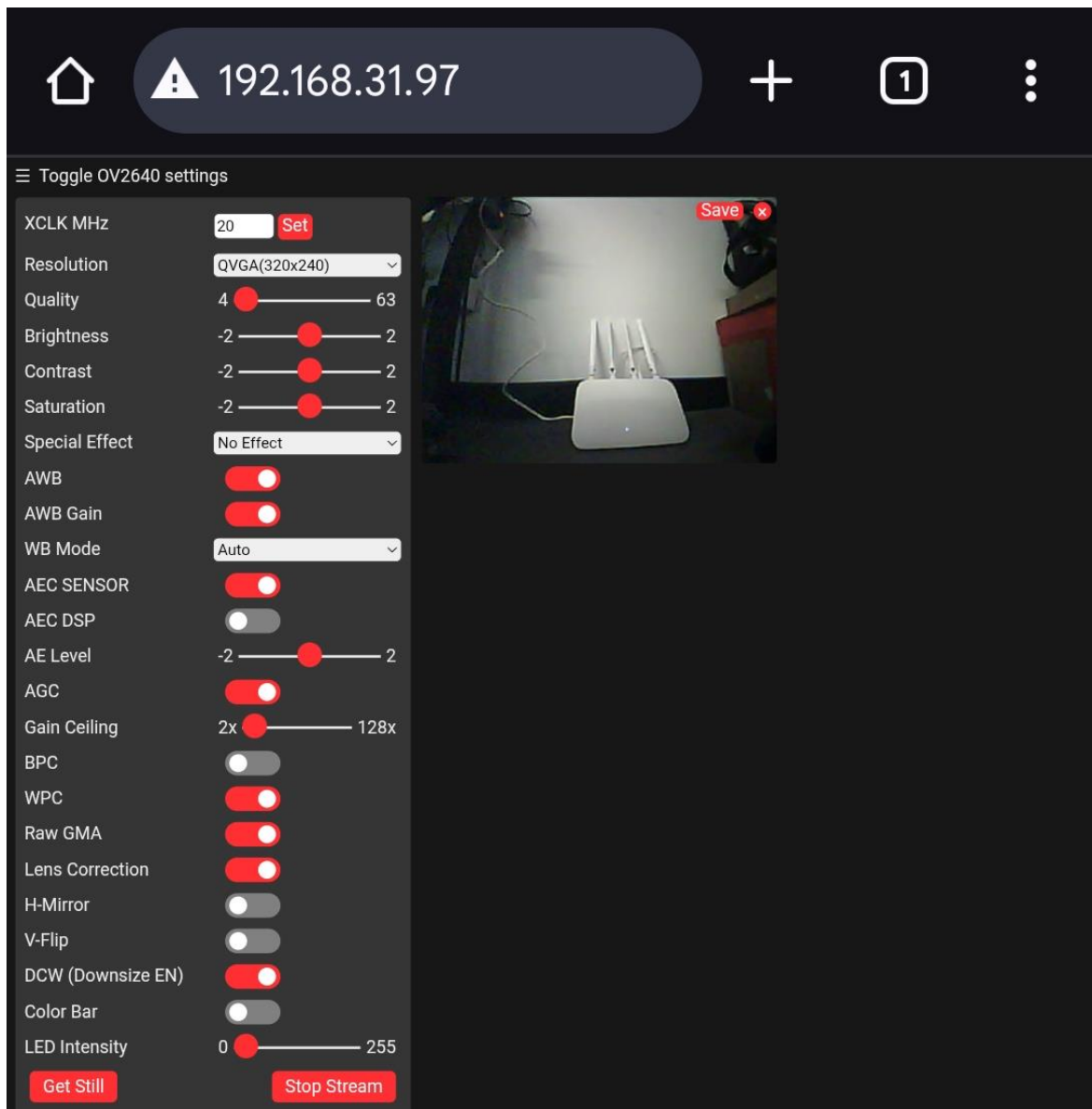


Рисунок 3.3 – Вікно роботи з ESP32-CAM

Якщо передача відео відбувається з затримкою, можна зменшити роздільну здатність в пункті «Resolution» та збільшити значення в пункті «Quality», якість відео погіршиться але швидкість передачі збільшиться, змінюючи ці параметри можна обрати оптимальний режим. Також можна змінювати параметри яскравості, балансу білого, контрастності, що дозволяє налаштувати зображення під різні умови.

Чим далі платформа знаходиться від Wi-Fi передатчика тим більша затримка передачі відео. Рекомендується понижувати якість та роздільну здатність при

збільшені відстані від РП. Приклад зображення отриманого з РП продемонстровано на рис. 3.4.

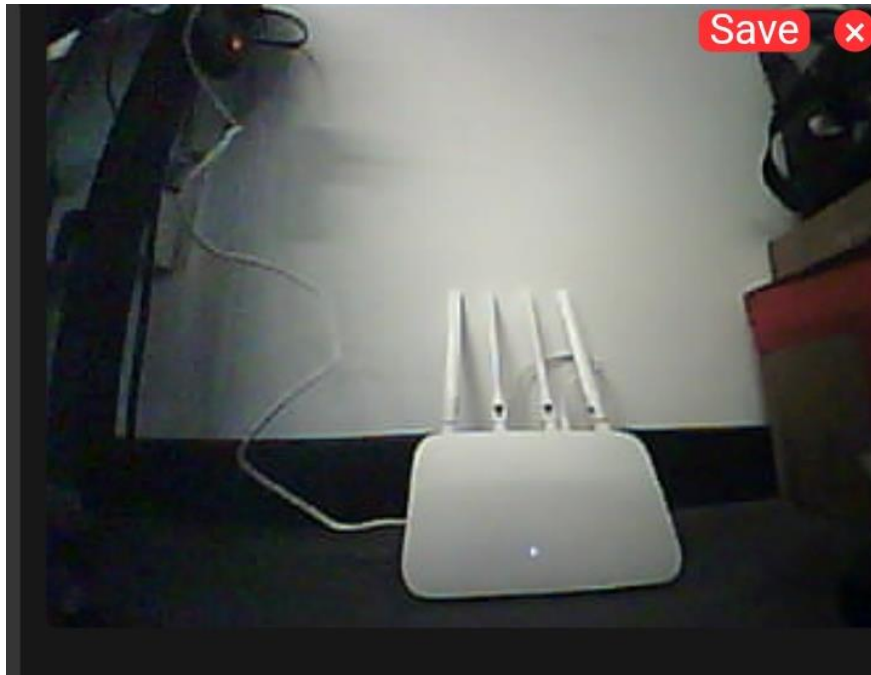


Рисунок 3.4 – Зображення отримане від РП

Якість та швидкість передачі зображення доволі високе оскільки РП знаходиться недалеко від Wi-Fi передатчика.

Наступними покращеннями можуть бути:

- створення стабілізації зображення при русі платформи;
- підвищення потужності передавача, що збільшить дальність та стабільність передачі зображення.

### 3.2 Тестування прототипу

Під час тестування було проведено тести для визначення технічних характеристик РП, а саме такі тести:

- вимірювання максимальної швидкості руху платформи по лінійній траєкторії;

- вимірювання швидкості повороту платформи;
- визначення максимального кута підйому платформи.

### 3.2.1 Вимірювання максимальної швидкості руху платформи по лінійній траєкторії

Мета тесту: Провести випробування для визначення максимальної швидкості платформи з різним навантаженням та з різним покриттям.

Методика проведення: Було виміряно відрізок довжиною 20 метрів. Для визначення швидкості засікається час за який платформа долає даний відрізок. Спочатку платформа без навантаження, потім додається по 0,5 кг, поки загальне навантаження не стане 2 кг. Результати тестів наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання швидкості

№ п/п	Навантаження, кг	Відстань, м	Час, с	Швидкість, м/с
1	0	20	18,5	1,08
2	0,5	20	19	1,05
3	1	20	19,8	1,01
4	1,5	20	19,8	1,01
5	2	20	19,5	1,02

Як видно з табл. 3.1 на рівній та гладкій поверхні, навантаження майже не впливає на швидкість платформи.

Після виміру швидкості на гладкій поверхні, було проведено тест на пересіченій місцевості. Швидкість та маневреність на пересіченій місцевості значно погіршується. Максимальна швидкість склала 0,6 м/с. Вигляд платформи на пересіченій місцевості показано на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – РП на пересіченій місцевості

### 3.2.2 Вимірювання швидкості повороту платформи

Мета тесту: Провести випробування для визначення швидкості обертання платформи з різним навантаженням.

Методика проведення: Платформа навантажується по 0,5 кг та засікається час за який платформа робить 10 обертів. Покриття має невеликі нерівності. Результати тестів наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання швидкості обертання

№ п/п	Навантаження, кг	Кіл-сть обертів	Час, с	Швидкість, об/с
1	0	10	13,6	0,73
2	0,5	10	15	0,67
3	1	10	19,37	0,52
4	1,5	10	35	0,29
5	2	-	-	-

Чим більше навантаження, тим менша швидкість обертання. Оскільки гусениця виконана з силікону, то при збільшенні навантаження збільшується площа контакту гусениці з покриттям. При навантаженні 2 кг, супротив від тертя більший за крутний момент двигунів, платформа не обертається. При тестах на покритті з травою (до 30 см), платформа також не обертається.

### 3.2.3 Визначення максимального кута підйому платформи

Мета тесту: Провести випробування для визначення максимального кута підйому поверхні

Методика проведення: Було створено похилу поверхню зі змінним кутом нахилу від 10 до 40 градусів. Кут при якому платформа не зможе заїхати буде вважатися максимальним кутом підйому. Зовнішній вигляд похилої поверхні показано на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Похила поверхня для тестів

Визначено, що максимальний кут підйому складає  $30^\circ$  з навантаженням 1 кг. Основне обмеження по куту підйому – це недостатнє зчеплення з тестовою похилою поверхнею.

### 3.3 Технічні характеристики розробленого прототипу РС

В ході проведення тестів було визначено такі технічні характеристики прототипу (табл. 3.3)

Таблиця 3.3 -Технічні характеристики розробленого прототипу РС

Параметр	Значення/Опис
Тип платформи	гусенична
Тип керування	радіокерування, 2.4 ГГц
Дальність керування	100 метрів
Камера	ESP32-CAM + 2МП OV2640
Відеопередача	20 метрів
Струм споживання	стан спокою: 110 мА рух без навантаження: 1 А максимальний струм: 5,6 А
Ємність акумулятора	3000 мАг
Час роботи	стан спокою: до 24 годин рух без навантаження: до 3 годин максимальне навантаження: до 30 хвилин
Швидкість	гладка поверхня: 1 м/с пересічена місцевість: 0,6 м/с
Швидкість обертання	без навантаження: 0,73 обертів/с навантаження 1 кг: 0,52 обертів/с

Продовження таблиці 3.3

Долання перешкод	до 10 см висотою
Кут підйому	до 30°
Вага	платформи: 2,25 кг пульта керування: 0,4 кг
Габарити (Д x Ш x В)	платформи: 35,5 x 24 x 12,5 см

### 3.4 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було остаточне налаштування РС, було перевірено коректне спрацювання всіх джойстиків, кнопок, правильність напрямків моторів та сервомоторів, а також створено інструкцію користувача, яка дозволяє налаштувати та користуватися РС.

Після завершення налаштувань проведено тестування для визначення технічних характеристик та відповідності технічним вимогам. Було проведено такі тести: вимірювання максимальної швидкості руху платформи по лінійній траєкторії; вимірювання швидкості повороту платформи; визначення максимального кута підйому платформи.

Результати випробувань дозволили визначити основні технічні характеристики розробленої РС, виявити сильні сторони конструкції та можливі напрямки подальшого вдосконалення.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було створено функціональний прототип РС з дистанційним керуванням та можливістю передачі зображення для візуального моніторингу, призначеної для використання в пошуково-рятувальних роботах.

У першому розділі було проведено літературний пошук існуючих рішень РС, розглянуто основні види РС, визначено їх роль при проведенні пошуково-рятувальних робіт. Було досліджено особливості конструкції, типи шасі їх переваги та недоліки.

В ході другого розділу було створено структурні схеми пульта керування та РП. Визначено та обрано необхідні компоненти для створення прототипу. Розроблено схему підключення всіх компонентів. Створено алгоритми роботи пульта керування та РП, на основні яких було написане програмне забезпечення для РС. Також розроблено 3D моделі механічної частини РС, виготовлено їх за допомогою 3D принтеру та здійснено збірку прототипу

У третьому розділі виконано налаштування РС, створено інструкцію користувача, яка дозволяє налаштувати та користуватися РС. Також було проведено серію тестів, результатом тестування визначено основні технічні характеристики прототипу РС.

Отриманий прототип РС з дистанційним керуванням відповідає вимогам поставленим в технічному завданні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] G. N. S. Kimon P. Valavanis, *Intelligent Robotic Systems: Theory, Design and Applications*, New York: Springer Science & Business Media, 1992.
- [2] M. M. H., «Robotics in Disaster Response: Enhancing Search and Rescue Operations,» *RESEARCH INVENTION JOURNAL OF BIOLOGICAL AND APPLIED SCIENCES*, 2024.
- [3] L. Stahl, «Robots come to the rescue after Fukushima Daiichi nuclear disaster,» CBS NEWS, 2021.
- [4] SHARK ROBOTICS, «Notre-Dame fire: how technology helped preserve a global icon,» SHARK ROBOTICS, 2024.
- [5] QinetiQ, «TALON® Medium-Sized Tactical Robot,» QinetiQ.
- [6] Army Techology, «PackBot 510 Multimission Robot, US,» Army Techology, 2019.
- [7] Furo, «Quince,» Future Robotics Technology Center, 2011.
- [8] Chiba Institute of Technology and Tohoku University, «Quince,» ROBOTICS, 2011.
- [9] Boston Dynamics, «Spot to the Rescue,» 2024.
- [10] The State Emergency Service of Ukraine, «Recce UAV of the Main Department received quadcopter DJI Matrice 300 RTK,» The State Emergency Service of Ukraine, 2020.
- [11] EMILY, «BEACH EMILY for beach and ocean rescue,» EMILY.
- [12] Q. Z. M. L. B. L. X. F. J. L. Xueshan Gao, «Mobile Robot Combination Autonomous Behavior Strategy to Inspect Hazardous Gases in Relatively Narrow Man–Machine Environment,» *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2022.
- [13] А. Г. В.Б. Струтинський, НАЗЕМНІ РОБОТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ, Житомир: ПП «Рута», 2023.
- [14] E. V. C. N. A. F. O. B. M. G.-G. Isidro Calvo, «Reliable Control Applications with Wireless Communication Technologies: Application to Robotic Systems,» *sensors*, 2021.
- [15] NOAA, «What is lidar?,» National Ocean Service, 2024.
- [16] S. M. A. G. B. G. K. M. T. H. C. C. M. H. A. I. D. F. L. M. G. R. S. D. S. Jeffrey Delmerico, «The current state and future outlook of rescue robotics,» 2019.
- [17] M. B. S. E. N. P. B. P. F. Luca Bruzzone, «Functional Design of a Hybrid Leg-Wheel-Track Ground Mobile Robot,» *Machines*, 2021.

- [18] A. Aabid, B. Parveez, N. Parveen, S. A. Khan, M. A. Raheman, J. M. Zayan и O. Shabbir, «Reviews on Design and Development of Unmanned Aerial Vehicle (Drone) for Different Applications,» *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 2022.
- [19] J. M. García и F. G. Duarte, «Mobile rolling robots designed to overcome obstacles: A review,» *Forces in Mechanics*, 2024.
- [20] В. І. Кубіч, ХОДОВА ЧАСТИНА ГУСЕНИЧНИХ МАШИН, Запоріжжя: МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА», 2019.
- [21] W. Tao, Y. Ou и H. Feng, «Research on Dynamics and Stability in the Stairs-climbing of a Tracked Mobile Robot,» *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2017.
- [22] Q. Quan и S. Ma, «Controllable postures of a dual-crawler-driven robot,» *Mechatronics*, 2010.
- [23] H. W. H. S. Y. L. а. T. P. Lei Shang, «Investigating the Obstacle Climbing Ability of a Coal Mine Search-and-Rescue Robot with a Hydraulic Mechanism,» *Applied Sciences*, 2022.
- [24] DFROBOT, «ESP32-CAM Development Board,» [Онлайновий]. Available: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf).
- [25] NORDIC SEMICONDUCTOR, «nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver,» [Онлайновий]. Available: [https://cdn.sparkfun.com/assets/3/d/8/5/1/nRF24L01P\\_Product\\_Specification\\_1\\_0.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/3/d/8/5/1/nRF24L01P_Product_Specification_1_0.pdf).
- [26] Arduino, «Arduino Nano User Manual,» [Онлайновий]. Available: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>.
- [27] Infineon technologies, «BTS 7960 High Current PN Half Bridge,» [Онлайновий]. Available: [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BTS7960-DS-v01\\_01-en.pdf?fileId=db3a304412b407950112b43945006d5d](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BTS7960-DS-v01_01-en.pdf?fileId=db3a304412b407950112b43945006d5d).
- [28] SEEED, «JGA25-370 Geared Motor,» [Онлайновий]. Available: [https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seeed%20Technology/114090046\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Seeed%20Technology/114090046_Web.pdf).
- [29] LiitoKala, «18650 LiitoKala Lii HG2,» [Онлайновий]. Available: <https://liitokala.com.ua/product/liitokala-lii-hg2-18650-3000mah-20a/?srsltid=AfmBOoo2YRmEi-B-ufOHLiOwCAVjzc89t-mH0iwTk9My9mYWrqvNBLAj>.

- [30] ARDUINO.UA, «Джойстик для Arduino,» [Онлайновий]. Available: <https://arduino.ua/prod194-djoistik-dlya-arduino>.
- [31] ARDUINO.UA, «Серводвигун SG90 2кг 180°,» [Онлайновий]. Available: <https://arduino.ua/prod416-servoprivod-sg90-2kg>.
- [32] MPS, «MP1584 Step-Down Converter,» [Онлайновий]. Available: <https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/view/551592/MPS/MP1584.html>.
- [33] SILIKONI, «Силікон з платиновим катализатором,» [Онлайновий]. Available: [https://silikoni.com.ua/molding\\_silicone/filter/parent=1092/](https://silikoni.com.ua/molding_silicone/filter/parent=1092/).
- [34] Н. Chitikena, F. Sanfilippo и S. Ma, «Robotics in Search and Rescue (SAR) Operations: An Ethical and Design Perspective Framework for Response Phase,» 2023.
- [35] Паздрій О.Я., Фрей І.М., "Роботизована платформа з дистанційним керуванням для візуального моніторингу у важкодоступних територіях", у Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні", Київ, Україна, 04-05 грудня 2024, с 30-32. [Онлайн]. Доступно: <https://surl.lu/smquhz>

## ДОДАТОК А – КОД ПУЛЬТА КЕРУВАННЯ

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
#define JOY_X A0
#define JOY_Y A1
#define SERVOMODE_PIN 6
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
const byte address[6] = "00001";
struct Data {
    int x;
    int y;
    bool servoMode;
};
Data data;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(SERVOMODE_PIN, INPUT_PULLUP); // кнопка: натиснута =
LOW
    radio.begin();
    radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);
    radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
    radio.openWritingPipe(address);
    radio.stopListening();
}
void loop() {
    data.x = (analogRead(JOY_X)-512)*(-1);

```

```
data.y = analogRead(JOY_Y)-512;
data.servoMode = digitalRead(SERVOMODE_PIN) == LOW;
// Фільтрація мертвих зон
if (abs(data.x) < 15) data.x = 0;
if (abs(data.y) < 15) data.y = 0;
radio.write(&data, sizeof(data));
// Для відлагодження:
Serial.print("X: "); Serial.print(data.x);
Serial.print(" | Y: "); Serial.print(data.y);
Serial.print(" | ServoMode: "); Serial.println(data.servoMode ? "ON" : "OFF");
delay(30); // частота оновлення ~30 мс
}
```

**ДОДАТОК Б – КОД ДЛЯ РП**

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <Servo.h>
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
// Драйвери
#define L_RPWM 3
#define L_LPWM 5
#define R_RPWM 4
#define R_LPWM 6
// Серви
#define SERVO_X_PIN A0
#define SERVO_Y_PIN A1
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
const byte address[6] = "00001";
Servo servoX;
Servo servoY;
struct Data {
    int x;
    int y;
    bool servoMode;
};
Data receivedData;
unsigned long lastReceivedTime = 0;
const unsigned long timeout = 1000;
int servoXPos = 90;
```

```
int servoYPos = 90;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(L_RPWM, OUTPUT); pinMode(L_LPWM, OUTPUT);
  pinMode(R_RPWM, OUTPUT); pinMode(R_LPWM, OUTPUT);
  servoX.attach(SERVO_X_PIN);
  servoY.attach(SERVO_Y_PIN);
  servoX.write(servoXPos);
  servoY.write(servoYPos);
  radio.begin();
  radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);
  radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
  radio.openReadingPipe(0, address);
  radio.startListening();
  stopMotors();
}

void loop() {
  if (radio.available()) {
    radio.read(&receivedData, sizeof(receivedData));
    lastReceivedTime = millis();
    if (receivedData.servoMode) {
      controlServos(receivedData.x, receivedData.y);
      stopMotors();
    } else {
      controlMotors(receivedData.x, receivedData.y);
    }
  }
  if (millis() - lastReceivedTime > timeout) {
```

```

    stopMotors();
}
}
void controlMotors(int x, int y) {
    int leftSpeed = y + x;
    int rightSpeed = y - x;
    leftSpeed = constrain(leftSpeed, -512, 512);
    rightSpeed = constrain(rightSpeed, -512, 512);
    leftSpeed = map(leftSpeed, -512, 512, -255, 255);
    rightSpeed = map(rightSpeed, -512, 512, -255, 255);
    moveBTS7960(L_RPWM, L_LPWM, leftSpeed);
    moveBTS7960(R_RPWM, R_LPWM, rightSpeed);
}
void moveBTS7960(int rpwmPin, int lpwmPin, int speed) {
    if (speed > 10) {
        analogWrite(rpwmPin, speed);
        analogWrite(lpwmPin, 0);
    } else if (speed < -10) {
        analogWrite(rpwmPin, 0);
        analogWrite(lpwmPin, -speed);
    } else {
        analogWrite(rpwmPin, 0);
        analogWrite(lpwmPin, 0);
    }
}
void stopMotors() {
    moveBTS7960(L_RPWM, L_LPWM, 0);
    moveBTS7960(R_RPWM, R_LPWM, 0);
}

```

```
}  
  
void controlServos(int x, int y) {  
    int deltaX = map(x, -512, 512, 10, -10);  
    int deltaY = map(y, -512, 512, 10, -10);  
    servoXPos = constrain(servoXPos + deltaX, 70, 160);  
    servoYPos = constrain(servoYPos + deltaY, 10, 170);  
    servoX.write(servoXPos);  
    servoY.write(servoYPos);  
}
```