

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Моделювання автоматизованої системи управління для знешкодження  
вибухонебезпечних предметів  
(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи АУТПм-22-2  
Мірошніченко С. Ю.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-  
-інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Освітня програма

Автоматизоване управління технологічними  
процесами  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Янушкевич Д.А.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024 р

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

Дата

---

Мірошніченко С.Ю.

---

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Ком'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

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

Освітня програма Автоматизоване управління технологічними процесами  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“24” січня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Мірошніченко Сергію Юрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання автоматизованої системи управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів

затверджена наказом по університету від 03.11.2023 р. № 1286Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24.01.2024р.

3. Вихідні дані до роботи Дані про процес гуманітарного розмінування, дані про системи управління, дані про методи знешкодження ВВП, програма

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

1) Аналіз систем управління для знешкодження ВВП

2) Робототехніка для знешкодження ВВП

3) Моделювання автоматизованої системи для знешкодження ВВП

4) Безпека праці

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(\*.pptx)

---

6. Керівник розділів роботи

| Найменування розділу | Керівник<br>(посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу |      |
|----------------------|---|---|------|
|                      |   | підпис                                      | дата |
| Основна частина      | доцент Янушкевич Д.А.                             |   |      |
|                      |   |   |      |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів роботи  | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|----|--|---------------------------------|----------|
| 1  | Отримання завдання до кваліфікаційної роботи   | 03.10.23                        | виконано |
| 2  | Вступ  | 03.11.23                        | виконано |
| 3  | Аналіз систем управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів                      | 17.11.23                        | виконано |
| 4  | Системи управління робототехнічним комплексом для знешкодження вибухонебезпечних предметів | 15.12.23                        | виконано |
| 5  | Моделювання автоматизованої системи для знешкодження вибухонебезпечних предметів           | 30.12.23                        | виконано |
| 6  | Безпека праці  | 01.01.24                        | виконано |
| 7  | Висновки   | 02.01.24                        | виконано |
| 8  | Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unocheck                                     | 14.01.24                        | виконано |
| 9  | Оформлення пояснювальної записки   | 15.01.24                        | виконано |
| 10 | Подання роботи на рецензію   | 18.01.24                        | виконано |
| 11 | Подання роботи на підпис зав. Кафедри  | 23.01.24                        | виконано |
| 12 | Подання кваліфікаційної роботи в ЕК  | 24.01.24                        | виконано |

Дата видачі завдання 03.10.2023 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Мірошніченко С. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент каф. Янушкевич Д. А.  
(посада, прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 104 с. 2 табл., 36 рис. , 4 дод., 50 джерел.

Ключові слова: РОЗМІНУВАННЯ, АРХІТЕКТУРА, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, РОБОТОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС.

Об'єктом дослідження є система управління у системі гуманітарного розмінування з використанням робототехнічного комплексу.

Предметом дослідження є моделювання та реалізація системи управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів за допомогою робототехнічного комплексу.

Мета роботи – полягає у підвищенні ефективності здійснення гуманітарного розмінування за рахунок застосування робототехнічних комплексів.

В ході роботи було проаналізовано системи управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів. В цей аналіз входить процеси обстеження та знешкодження вибухонебезпечних предметів з технологіями визначення вибухонебезпечних предметів на територіях, забруднених ВВП. На базі цього аналізу було створено архітектуру робототехнічного комплексу для знешкодження вибухонебезпечних предметів та спроектовано ходову частину з маніпулятором для її реалізації. На базі схем та елеметної бази було реалізовано робототехнічне рішення для знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Результатом роботи є реалізоване рішення та описана архітектура робототехнічного рішення.

## **THE ABSTRACT**

Explanatory note: 104 p. 2 tables, 36 Fig. , 4 add., 50 sources.

**Keywords: DEMINING, ARCHITECTURE, CONTROL SYSTEM, EXPLOSIVE-DANGEROUS ITEMS, ROBOTECNICAL COMPLEX.**

The object of development is the development of an automated control system for the disposal of explosive objects.

The subject of development is a control system for the disposal of explosive objects.

The purpose of the work is to develop a prototype of an automated solution for the disposal of explosive objects.

At the beginning of the work, the control system for the disposal of explosive objects was analyzed. This analysis includes the processes of examination and disposal of explosive objects with technologies for detecting explosive objects in contaminated areas. On the basis of this analysis, the future architecture of the robotic solution for the disposal of explosive objects was formed, and the chassis with the manipulator was designed for implementation. A robotic solution for the disposal of explosive objects was implemented on the basis of schemes and the electronic database.

The result of the work is the implemented solution and the described architecture of the robotic solution.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Перелік скорочень .....   | 7  |
| Вступ.....  | 8  |
| 1 Аналіз систем управління для знешкодження ВНП .....                     | 10 |
| 1.1 Актуальність проблеми знешкодження ВНП .....                          | 10 |
| 1.2 Види ВНП та їх ідентифікаційні ознаки .....                           | 13 |
| 1.3 Нетехнічне та технічне обстеження забруднених ВНП .....               | 16 |
| 1.4 Технології виявлення ВНП .....  | 22 |
| 1.5 Аналіз системи управління базованої на ROS.....                       | 23 |
| 1.6 Висновки до розділу.....  | 25 |
| 2 Системи управління РК для знешкодження ВНП .....                        | 26 |
| 2.1 Розроблення систем управління для знешкодження ВНП.....               | 26 |
| 2.2 Системи прийняття рішень для знешкодження ВНП.....                    | 27 |
| 2.3 Креативний підхід до системи управління для знешкодження<br>ВНП ..... | 29 |
| 2.4 Висновки до розділу .....   | 34 |
| 3 Моделювання автоматизованої системи для знешкодження ВНП ....           | 36 |
| 3.1 Модель РК та системи управління для знешкодження ВНП.....             | 36 |
| 3.2 Вибір мікроконтролеру для системи управління прототипом<br>РК .....   | 43 |
| 3.3 Система управління платформою РК.....                                 | 45 |
| 3.4 Моделі маніпуляторів для встановлення на РК.....                      | 48 |
| 3.5 Система управління для шарнірного маніпулятора .....                  | 51 |
| 3.6 Технічний стек для реалізації системи управління .....                | 52 |
| 3.7 Реалізація змодельованої платформи РК та системи управління           | 54 |
| 3.8 Реалізація змодельованого маніпулятора та системи<br>управління ..... | 58 |
| 3.9 Висновки до розділу.....  | 63 |
| 4 Безпека праці .....   | 65 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів ..... | 65  |
| 4.2 Організація робочого місця .....               | 65  |
| 4.3 Вплив шуму на роботу програміста .....         | 66  |
| 4.4 Електробезпека. Статична електрика .....       | 67  |
| 4.5 Проведення атестації робочих місць .....       | 68  |
| 4.6 Проведення медичних оглядів .....              | 68  |
| 4.7 Висновки до четвертого розділу.....            | 69  |
| Висновки.....                                      | 70  |
| Перелік джерел посилань .....                      | 71  |
| Додаток А .....                                    | 77  |
| Додаток Б.....                                     | 87  |
| Додаток В .....                                    | 92  |
| Додаток Г .....                                    | 102 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВНП – вибухонебезпечні предмети;

ІЧ – інфочервоне світло;

РК – робототехнічний комплекс;

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція;

mAh – milliampere-hour;

PWM – pulse width modulation;

SWAT – special weapons attack team;

RISC – reduced instruction set computing;

ROS – robot operating system.

## ВСТУП

Способи розмінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів вже давно є важливими завданнями у сфері безпеки та оборони. В сучасному світі де загрози вибухонебезпечних об'єктів, таких як міни, вибухові пристрої несплановані вибухи залишаються актуальними та надзвичайно небезпечними, розробка та використання спеціалізованих роботів для знешкодження стає нагальною необхідністю. Ці роботи представляються собою сучасний інженерний підхід до вирішення завдань, пов'язаних з вибухонебезпечними матеріалами та пристроями, які призначені не лише для збереження життя та здоров'я людей, а для забезпечення ефективності військових операцій та захисту цивільного населення.

Об'єктом дослідження є система управління у системі гуманітарного розмінування з використанням робототехнічного комплексу.

Предметом дослідження є моделювання та реалізація системи управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів за допомогою робототехнічного комплексу.

Мета роботи – полягає у підвищенні ефективності здійснення гуманітарного розмінування за рахунок застосування робототехнічних комплексів.

Знешкодження вибухонебезпечних предметів вимагає великої обережності та високої кваліфікації операторів. Раніше ця робота виконувалася вручну та завжди приносила серйозні ризики. Однак завдяки розвитку сучасних технологій спеціалізовані роботи стають надійними та безпечним засобом для виявлення, обстеження та усунення вибухонебезпечних об'єктів. Вони забезпечують безпеку операторів та надають можливість виконувати завдання в умовах, де раніше це було практично неможливо.

Створення системи управління це послідовний процес де інженер повинен оцінювати усі можливі фактори при проектуванні системи та її

реалізації. Шукати рішення серед безліч компромісів, які в результаті повинні задовольнити усі можливі сторони, які замовляли цей продукт та люди які будуть цим користуватись.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних методів виявлення мінних полей;
- описати та проаналізувати системи управління в роботизованих комплексах;
- змодельувати роботизований комплекс на базі системи управління для знешкодження ВВП.

Пояснювальну записку виконано згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], та методичних вказівок [2].

Результати роботи пройшли апробацію на збірник матеріалів V форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2023 [3].

# 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВНП

## 1.1 Актуальність проблеми знешкодження ВНП

Проблема знешкодження вибухонебезпечних предметів є дуже актуальною і важливою, оскільки вибухонебезпечні матеріали та пристрої можуть призвести до серйозних травм, руйнувань та загибелі людей. В сучасному світі пошук та утилізація ВНП є нагальною проблемою, особливо в контексті бойових дій, які відбуваються в Україні. Сучасні конфлікти призводять до трагедії не лише тим, що технологічний прогрес дозволяє створювати зброю, здатну швидко вбивати велику кількість людей. Значний наслідок полягає і в тому, що сучасні війська залишають за собою обширні території, засмічені невибухнутими бомбами, снарядами та залишеними мінами. Спостерігається, що ці смертоносні засоби залишаються небезпечними протягом десятиліть після завершення конфлікту.

Згідно з офіційною інформацією, війна призвела до забруднення близько 174 тисяч квадратних кілометрів території, включаючи 13,5 тисяч квадратних кілометрів водних акваторій. Станом на грудень 2023 року піротехнікам вдалося пройти обстеження 93 тисяч гектарів забрудненої території, де вони виявили 427 тисяч ВНП, включаючи протипіхотні міни, касетні боєприпаси та дистанційно встановлені міни. Процес розмінування таких територій займе 25-30 років. Ці області включають території Київської, Сумської, Харківської, Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей [4]. Карта потенційно забруднених вибухонебезпечними предметами територій України подана на рис. 1.1.

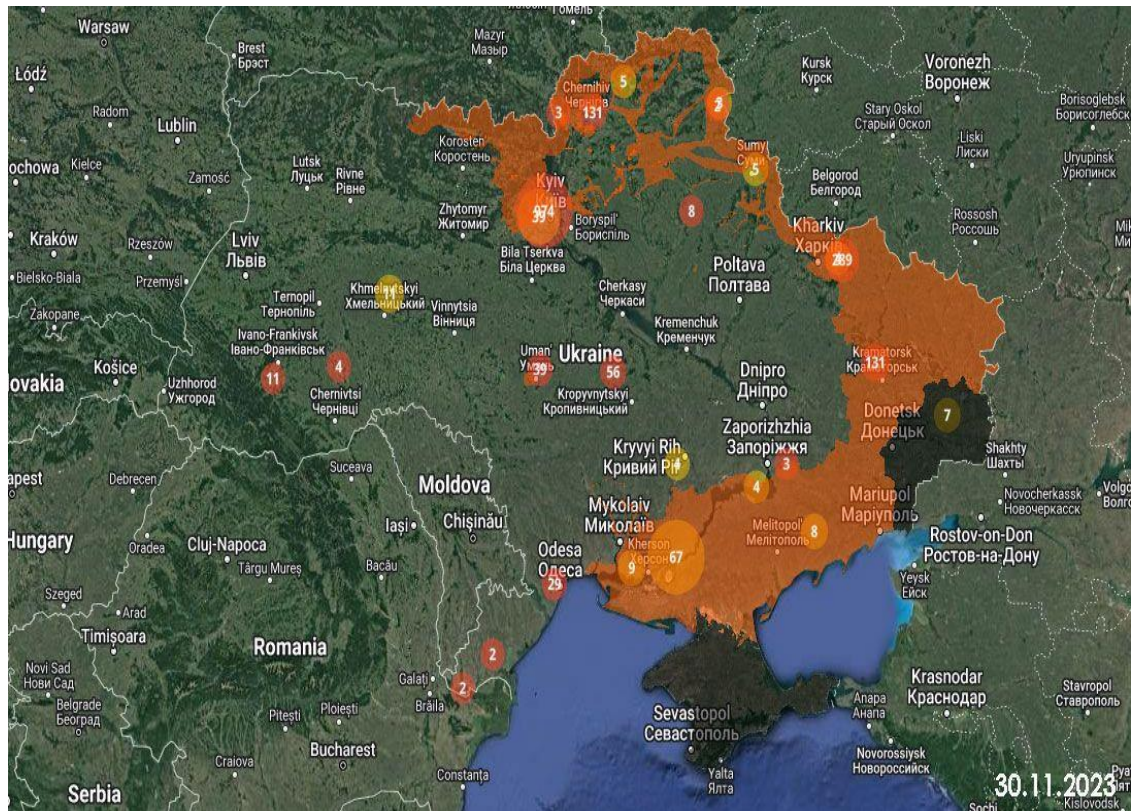


Рисунок 1.1 – Карта потенційно забруднених ВНП територій [5]

Розмінування потенційно забруднених територій повинно проходити через гуманітарне розмінування.

Гуманітарне розмінування – це комплекс планових заходів, що проводяться з метою ліквідації небезпеки, пов'язаної з мінами і вибухонебезпечними предметами, та включають нетехнічне та технічне обстеження, маркування і складання карт території, очищення забрудненої території, підготовку документації після розмінування, надання інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території. На рис. 1.2 зображено кількість знешкоджених вибухонебезпечних предметів у 2021 році.

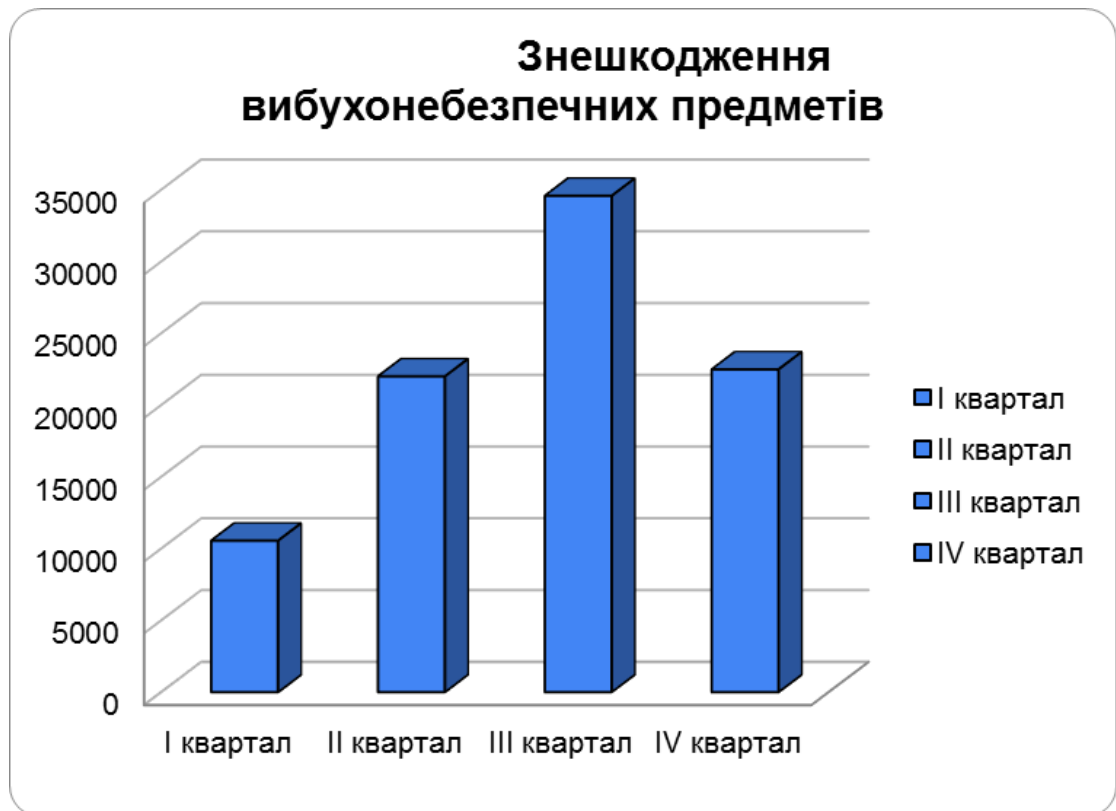


Рисунок 1.2 – Знешкодження ВВП у 2021

Гуманітарне розмінування становить суттєвий елемент гуманітарної допомоги в умовах конфліктів та криз. Міжнародні організації, такі як Міжнародний Комітет Червоного Хреста, Організація Об'єднаних Націй та неприбуткові групи, активно проводять гуманітарне розмінування з метою забезпечення безпеки та надання допомоги людям, що постраждали від мін та вибухівок [6].

Складові системи гуманітарного розмінування взаємодіють для створення комплексної стратегії, спрямованої на безпечне видалення вибухонебезпечних об'єктів та відновлення безпеки життєдіяльності людини на території України. Для більш обширного огляду процесу гуманітарного розмінування наведено ілюстрацію процесів на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Процес гуманітарного розмінування

Отже, проблема знешкодження вибухонебезпечних предметів є актуальною та вимагає постійного вивчення та розвитку нових методів та технологій для безпечного здійснення таких операцій. Робота спеціалізованих служб, які виконують завдання знешкодження вибухонебезпечних об'єктів, має велике значення для забезпечення безпеки громадськості.

## 1.2 Види ВВП та їх ідентифікаційні ознаки

Вибухонебезпечні предмети – вибухові матеріали промислового призначення та саморобного виготовлення, боєприпаси, що містять вибухові речовини, а також біологічні та хімічні речовини: бомби і боєголовки; керовані і балістичні ракети; артилерійські, мінометні, ракетні боєприпаси і боєприпаси до стрілецької зброї; усі міни, торпеди і глибинні бомби; піротехнічні вироби військового та спеціального призначення; касетні бомби і касети; електричні

вибухові пристрої; саморобні вибухові пристрої та інші предмети, що є вибухонебезпечними за своєю природою [7].

Вибухонебезпечні предмети включають такі речовини, як боєприпаси, що містять вибухові речовини, біологічні та хімічні речовини: бомби та боєголовки; керовані та балістичні ракети; артилерійські, мінометні, ракетні та стрілецькі боєприпаси; усі міни, торпеди та глибинні бомби; піротехнічні матеріали; електричні вибухові пристрої; саморобні вибухові пристрої; та багато інших вибухонебезпечних речовин. На рис. 1.3 зображено загальну класифікацію ВВП.

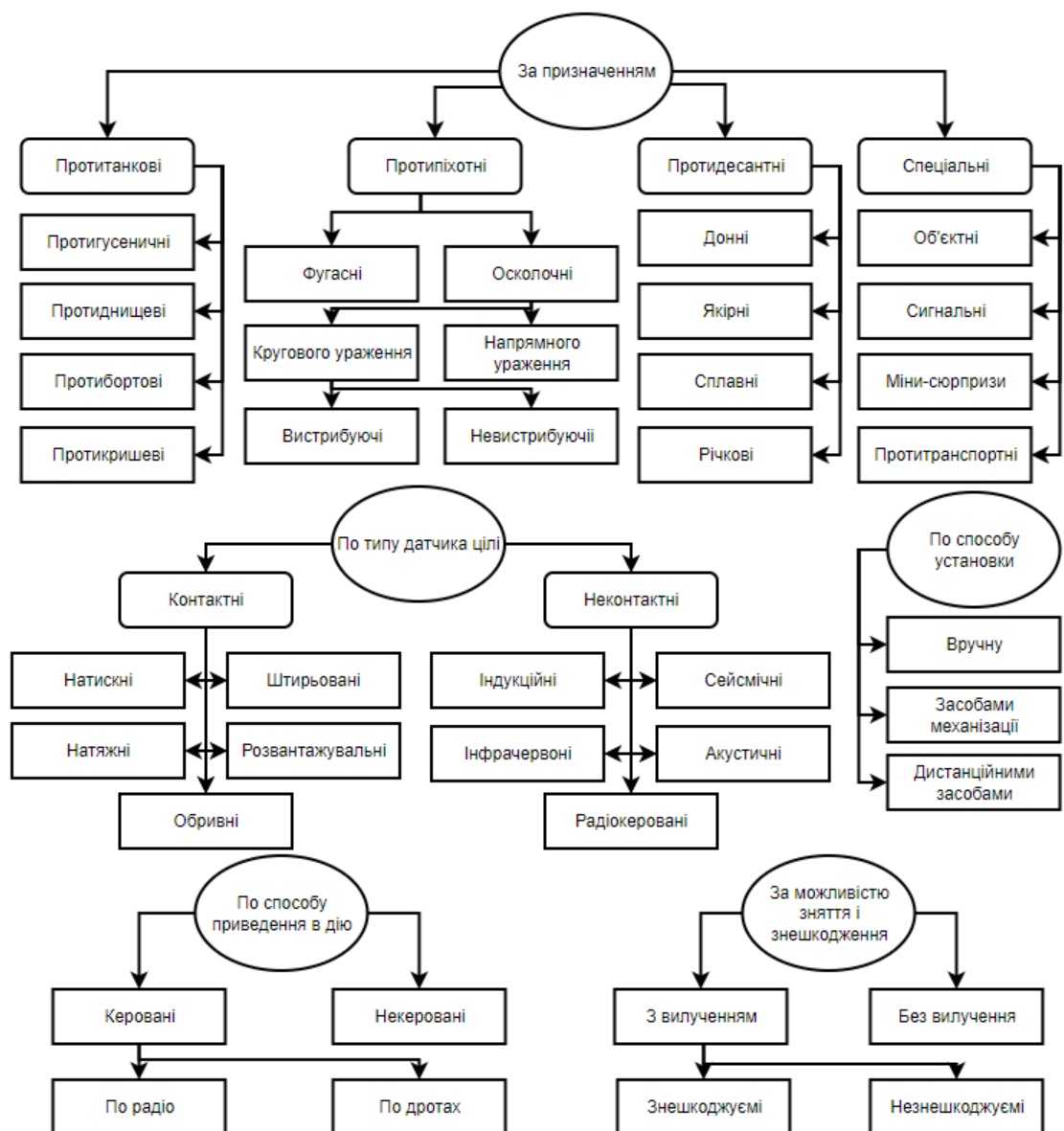


Рисунок 1.3 – Класифікація ВВП

На території України можуть знаходитися різні ВВП, які включають в себе міни, боєприпаси, вибухові пристрої, вибухові речовини та необладнані снаряди. Найбільш небезпечними ВВП є протитанкові міни ТМ-62М.

Протитанкова міна ТМ-62М представляє собою важливий компонент в системах протипіхотного та протитанкового захисту. Ця міна була розроблена в СРСР і здобула широке використання в ряді країн, включаючи Росію та інші, як ефективний засіб протидії бронетехніці противника. ТМ-62М є модифікацією попередньої моделі ТМ-62, і її характеристики та принципи дії були оптимізовані для підвищення ефективності на полі бою. На рис. 1.4 зображено протитанкову міну ТМ-62М [8].



Рисунок 1.4 – Протитанкова міна ТМ-62М

За своєю конструкцією, ТМ-62М має типову циліндричну форму, з важливими параметрами, такими як вага, діаметр і висота, добре збалансованими для оптимального використання. Вага міни забезпечує

можливість легкого транспортування та встановлення в полі бою. Характеристики протитанкової міни ТМ-62М наведені у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики міни ТМ-62М [9]

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Субкатегорія озброєння          | Протитранспортна міна                      |
| Спорядження бойової частини (г) | 7 500-8 500 г, тротил або морська суміш    |
| Повна маса (г)                  | 9 500 г                                    |
| Розміри (мм)                    | 320 × 128                                  |
| Країна походження               | Росія                                      |
| Підрильник                      | МВЧ-62/МВП-62/МВП-62М/МВН-72/МВН-80/МВД-62 |

### 1.3 Нетехнічне та технічне обстеження забруднених ВНП

Розпочинаючи процес гуманітарного розмінування, спеціалістам необхідно діяти за етапами, які збільшують ефективність та безпеку гуманітарного розмінування ВНП.

Основними етапами процесу гуманітарного розмінування можна розділити на етапи, які наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Етапи процесу гуманітарного розмінування

|             |  |
|-------------|--|
| Номер етапу | Назва етапу  |
| 1-й етап    | Нетехнічне обстеження  |
| 2-й етап    | Технічне обстеження  |
| 3-й етап    | Розмінування території, забруднених ВНП  |
| 4-й етап    | Утилізація (знищення, знешкодження) ВНП  |
| 5-й етап    | Контроль якості розмінування та передача територій, забруднених ВНП користувачам |

Першим етапом процесу гуманітарного розмінування є нетехнічне обстеження.

Нетехнічне обстеження – збір, аналіз та оцінювання інформації стосовно території для подальшої її класифікації за статусом небезпеки, без використання технічних засобів пошуку ВВП.

Нетехнічне обстеження території реалізується через послідовне проведення аналітичного та практичного дослідження.

Проведення аналітичного дослідження території, яка викликає сумніви щодо забруднення вибуховими предметами, включає збір доказів щодо ймовірності наявності ВВП, їх аналіз та класифікацію за рівнем небезпеки. Важливо зауважити, що виїзд на саму територію не здійснюється протягом аналітичного дослідження.

Під час збору доказів під час проведення аналітичного дослідження використовуються всі можливі джерела інформації. У випадку отримання від Інформатора інформації про небезпечну територію або виявлення підозрілих предметів, Інформатора просять створити карту-схему небезпечної території з відзначенням ВВП та інших підозрілих предметів, видимих орієнтирів, шляхів підходу тощо.

Загальний процес нетехнічного обстеження та класифікації території за рівнем небезпеки подано на рис. 1.6.

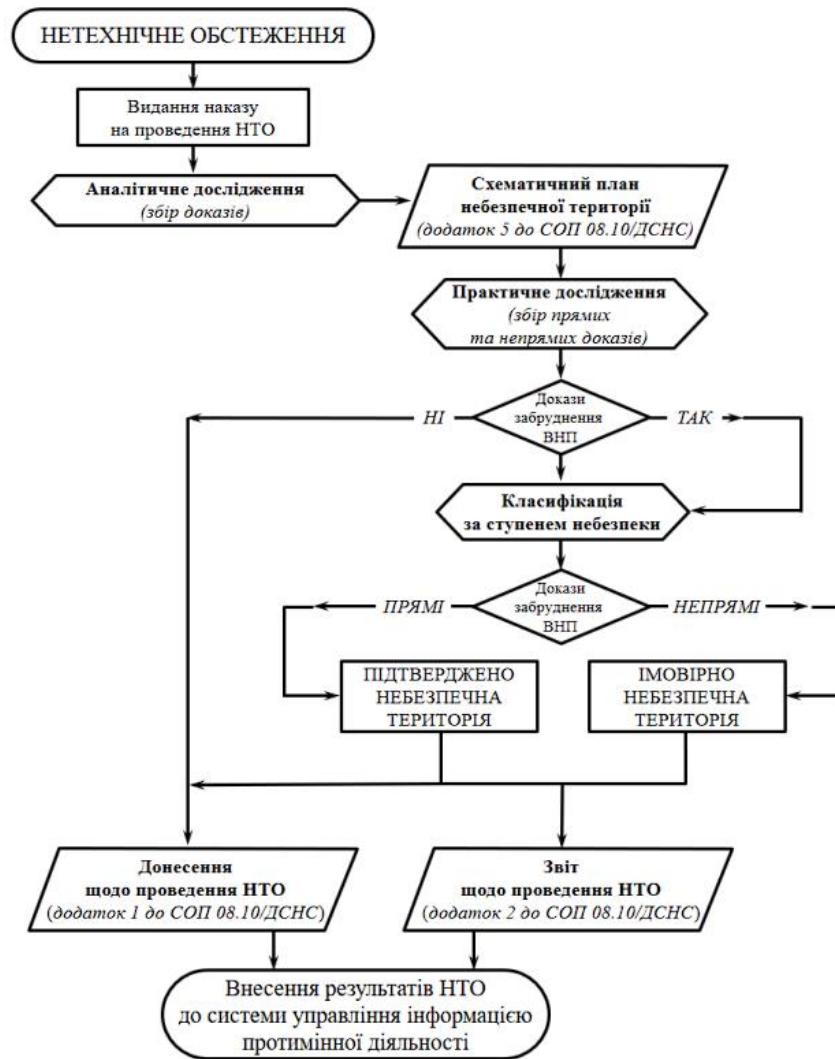


Рисунок 1.6 – Загальний алгоритм нетехнічного обстеження

Наступним етапом гуманітарного розмінування обстеження забруднених ВВП є метод технічного обстеження територій.

Етап технічного обстеження територій це процес систематичного вивчення певних областей з метою виявлення та класифікації потенційно небезпечних об'єктів чи матеріалів. Цей процес може включати в себе ряд методів і технік для визначення наявності вибухових або інших небезпечних речовин на території. Технічне обстеження може бути виконане двома методами: цільовим та систематичним.

Цільовий метод застосовується на територіях, які після нетехнічного обстеження визначені як підтверджено небезпечні. Головна мета цього методу

підтвердження або спростування прямих доказів і визначення меж для очищення або зменшення обсягу технічного обстеження.

Систематичний метод використовується на територіях, класифікованих як імовірно небезпечні. Основна мета отримання доступу до цих територій та пошук прямих доказів забруднення ВВП. Технічне обстеження за цим методом виконується на всій імовірно небезпечній території.

Результати обстеження обох методів можуть призвести до рішень щодо визначення територій для очищення, збільшення або зменшення межі підтверджено небезпечних територій, а також розблокування деяких ділянок без проведення очищення. Залежно від прямих доказів забруднення території ВВП, керівник може вирішити змінити метод технічного обстеження з систематичного на цільовий.

На рис. 1.7 зображено загальний алгоритм технічного обстеження вибухонебезпечних територій.

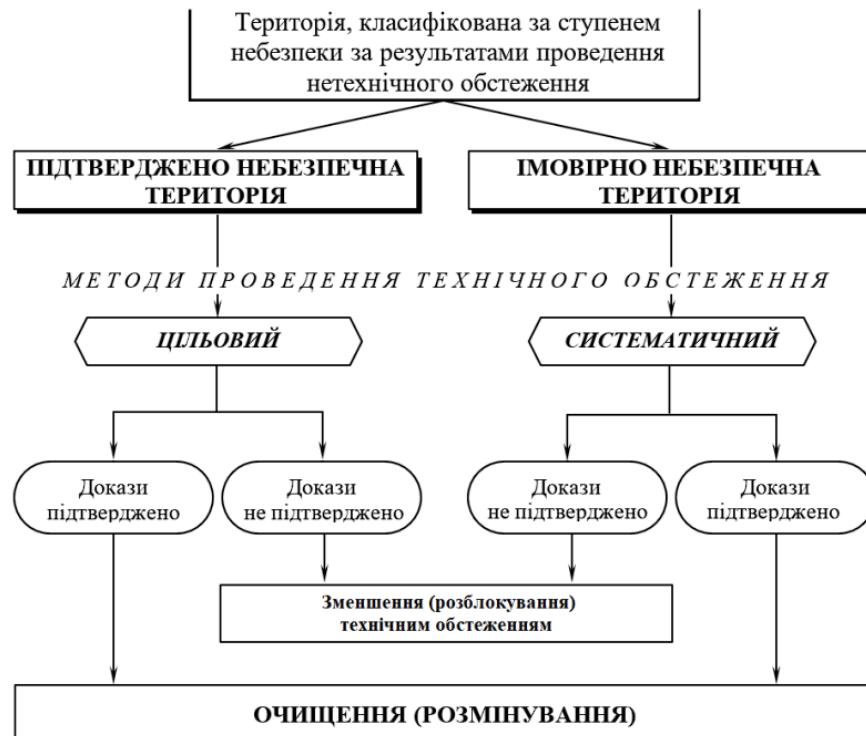


Рисунок 1.7 – Загальний алгоритм для технічного обстеження

Етап розмінування полягає у здійсненні операцій видалення або знищення ВВП. Також для розмінування може бути потрібне забезпечення досутпу, діагностування, приведення в безпечний стан та у разі потреби остаточна утилізація.

Утилізація ВВП включає всі аспекти виявлення та знешкодження боєприпасів, що не розірвалися, шляхом проведення операцій з розмінування. Виконання операції зі знешкодження та знищення ВВП.

Знешкодження ВВП – це спеціальні заходи, спрямовані на блокування або нейтралізацію виконавчих механізмів, які можуть призвести до підірвання ВВП. Мета цих дій полягає в тому, щоб перевести вибухонебезпечний об'єкт у стан безпеки, у якому виключена можливість ненавмисного вибуху.

Знищення ВВП – це процес переведення ВВП у стан недієздатності шляхом використання підриву, спалювання, механічного або іншого повного чи часткового руйнування.

Контроль якості розмінування є складовою частиною процесу розмінування, спрямованою на повне виконання вимог щодо усунення небезпек, пов'язаних з ВВП [10].

На сучасному етапі розвитку світу передові країни активно розробляють і впроваджують сучасні мобільні робототехнічні комплекси для проведення гуманітарного розмінування.

Використання РК для гуманітарного розмінування стає все більш поширеним оскільки це зменшує ризик для людського життя. Різні види робототехнічних комплексів можуть бути використані в залежності від конкретних умов та потреб. Такий підхід дозволяє операторам використовувати спеціалізованих роботів та дронів для безпечно та ефективного виявлення, обстеження та усунення вибухонебезпечних об'єктів без прямого контакту з ними.

Ось декілька способів, які можуть використовуватись для розмінування:

– РК можуть бути обладнані сенсорами та сканерами для виявлення мін, які можуть включати металодетектори, ґрунтові пенетраційні радари або системи хімічного аналізу;

– після виявлення міни, деякі роботи мають змогу знищити її на місці це може бути зроблено шляхом вибуху через використання високого тиску води або інших методів.

Приклад застосування РК з системою дистанційного керування зображений на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Застосування РК з системою дистанційного керування

РК можуть бути спроектовані для роботи в різних умовах, включаючи підводні середовища та інші важкодоступні місця. Також роботи забезпечують високу точність та контроль над операціями розмінування. Оператори можуть здійснювати ретельний моніторинг та контролювати кожен кроку процесу [11].

Потрібно пам'ятати, що системи управління разом з робототехнічними комплексами може збільшити ефективність та безпеку процесу розмінування, вони не можуть повністю замінити людей. Рішення з використання робототехнічних комплексів залежить від конкретних умов та вимог.

#### 1.4 Технології виявлення ВНП

Для виявлення вибухонебезпечних предметів можливо використовувати інфрачервоне зображення для виявлення об'єктів з різними температурами, що може свідчити про наявність вибухонебезпечних матеріалів. Інфрачервоне зображення зазвичай використовують на дронах для визначення мінних полів [12]. Цей метод є досить корисний при визначенні для розмінування де видимість обмежена або коли важко визначити вибухонебезпечні об'єкти за інших умовах.

Інший вид зображення полягає у використанні рентгенівського випромінювання для вивчення внутрішньої структури об'єкта та виявлення можливих вибухонебезпечних деталей. Зазвичай цей метод використовують при пошуку прихованих об'єктів [13]. Цей метод зазвичай використовується задля безпеки цивільного населення в аеропортах та кордонах країн, для перевірки вмісту багажу, але його можна також використовувати у військових цілях для розмінування.

Наступним методом визначення мінних полів є хімічний метод який використовує хімічні детектори та аналізатори для виявлення хімічних речовин, які можуть свідчити про наявність вибухонебезпечних матеріалів, включаючи боєприпасів.

Хімічні детектори базуються на реакціях між виявленими хімічними речовинами та хімічними реактивами, які взаємодіють з певними типами хімічних сполук. Кожен тип речовини може викликати певну реакцію, що призводить до видимих або інших вимірюваних змін.

Для визначення мінних полів також можна використовувати магнітні сенсори для визначення мін. Такі сенсори реагують на магнітні властивості мін та інших вибухонебезпечних об'єктів, які можуть містити металеві компоненти або магнітні матеріали.

Магнітний сенсор це пристрій для вимірювання величини магнітного поля. Його вихідна напруга прямо пропорційна напруженості магнітного поля через нього.

Магнітний сенсор виявляє зміни в інтенсивності магнітного поля, якщо поблизу сенсора знаходиться мінний об'єкт, то він збурює магнітне поле та створює відповідний сигнал. Потрібно пам'ятати що відстань виявлення через магнітний сенсор залежить від його потужності. Цей сенсор можуть використовувати для створення мінної карти тієї чи іншої локації за рахунок робототехніки [14].

Використання магнітних сенсорів на даний момент є основним для виявлення мін та інших вибухонебезпечних об'єктів та є дуже важливим компонентом при розмінуванні.

### 1.5 Аналіз системи управління базованої на ROS

ROS(Robot Operating System) – використовується в робототехнічних системах як основна платформа для розробки та управління програмним забезпеченням роботів. З точки зору систем управління ПК, ROS надає кілька важливих переваг та можливостей:

- ROS забезпечує інфраструктуру для обміну повідомленнями між різними частинами програмного забезпечення системи управління ПК;
- є внутрішня система запуску, яка дозволяє ефективно запускати різні модулі системи управління ПК;
- інструменти для візуалізації стану системи управління та її взаємодії з датчиками ПК та інших комплектуючих;

- ROS може інтегрований з іншими системами управління РК та програмним забезпеченням;
- ROS може бути використаний як частина РК для обробки та аналізу даних.

Приклад системи управління РК на базі ROS буде зображено на рис. 1.9.

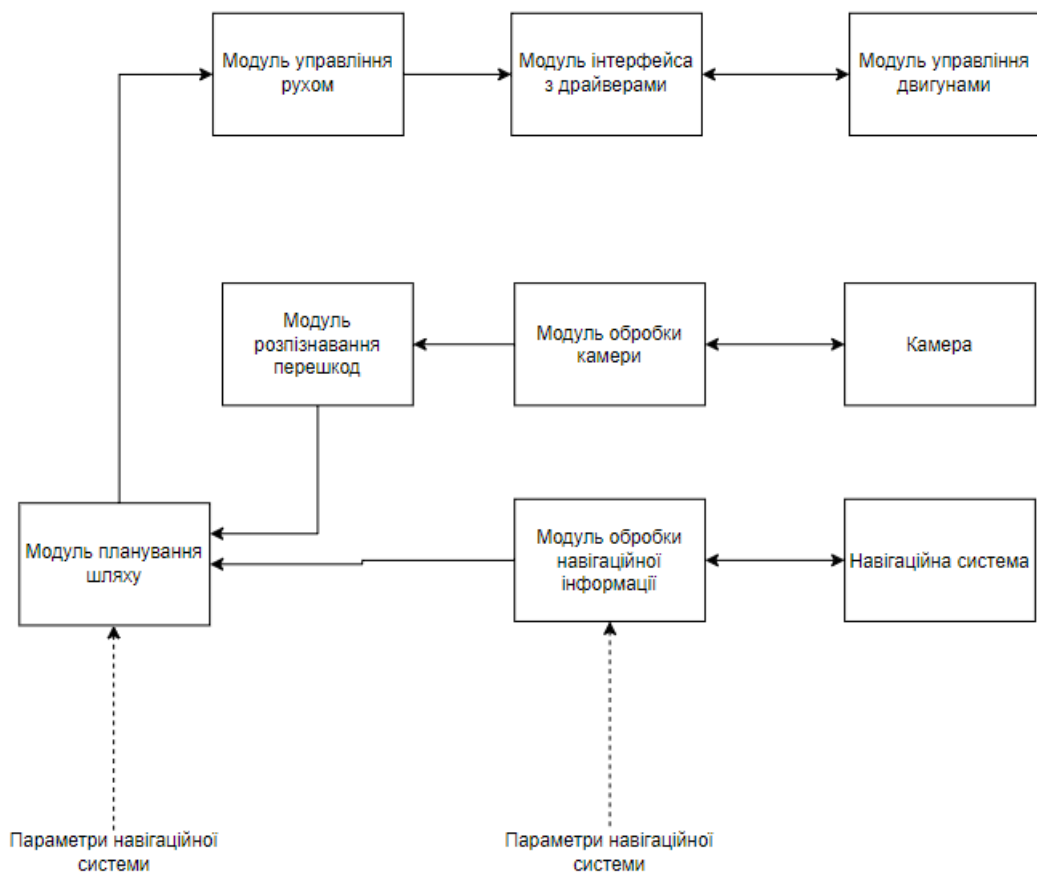


Рисунок 1.9 – Система управління РК на базі ROS

Незважаючи на плюси ROS має кілька недоліків, які можуть вплинути на систему управління РК. У великій модульній системі може виникати затримка при передачі даних та при розмінуванні це може бути критичним недоліком та втратою усього РК. Побудова усієї системи управління на модульних залежностях та версіонування пакетів, цей недолік може проявитись через час при розробці масштабної системи управління з

підключення різноманітних внутрішніх модулів. Перехід на нові версії ROS є досить ускладненими через нестабільну підтримку версій ROS [15].

## 1.6 Висновки до розділу

У розділі було проведено:

– опис та аналіз актуальності проблеми знешкодження ВВП на території України;

– опис та класифікація ВВП та їх ідентифікаційні ознаки для знешкодження;

– описано нетехнічне та технічне обстеження забруднених ВВП з детальним описом послідовності обстежень;

– описані технології визначення ВВП;

– описана та проаналізована система управління, яка створена на базі ROS.

Наступним кроком є перехід до систем управління РК для знешкодження ВВП.

## 2 СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РК ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВНП

### 2.1 Розроблення систем управління для знешкодження ВНП

Для створення автоматизованої системи управління для знешкодження ВНП та для безпечного розмінування бажано використовувати робототехнічний комплекс. Для цього потрібно розуміти складову робототехнічного комплексу це допоможе при проєктуванні самого рішення.

Робототехнічний комплекс – це комплекс систем, пристроїв і технічних засобів, яка включає у себе систему управління, сенсори, програмне забезпечення та інші елементи, щоб взаємодіяти та виконувати роботу в автоматизованому або напівавтоматизованому режимі [16]. На рис. 2.1 зображений приклад загальної схеми РК для знешкодження ВНП.

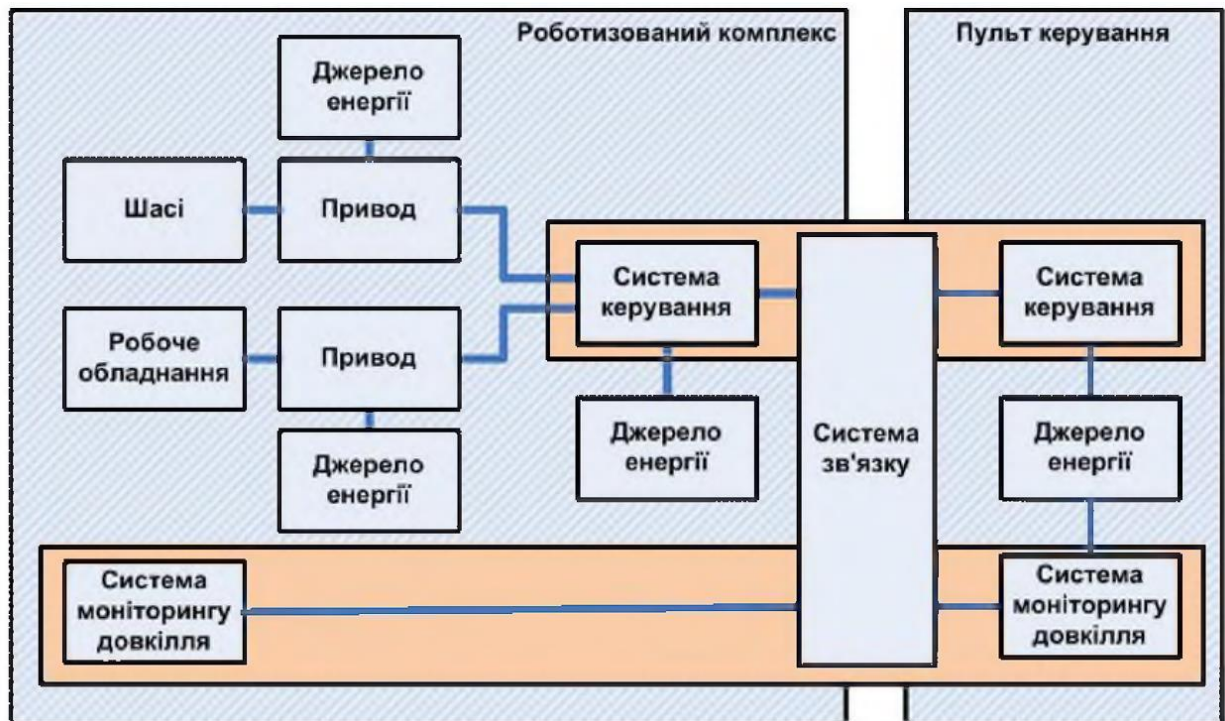


Рисунок 2.1 – Схема РК для знешкодження ВНП

Механічна конструкція залежить від потрібних механічних рухів. Для знешкодження ВНП можна виділити такі механічні елементи:

- шасі для пересування по місцевості;
- гусениця для зчеплення з дорогою;
- маніпулятор з виконавчою частиною;
- система енергозабезпечення;
- система керування.

Також до механічної конструкції можуть входити будь-які інші рухомі елементи, які критичні до системи.

До системи управління РК входять такі елементи як:

- сенсори;
- мікроконтролери;
- серводвигуни;
- камера;
- драйвери двигунів.

Ці електронні компоненти, можуть керувати роботом та дозволяють сприймати та реагувати на навколишнє середовище.

## 2.2 Системи прийняття рішень для знешкодження ВНП

Існує кілька систем управління та моделей для прийняття рішень знешкодження ВНП робототехнічними комплексами, які визначають спосіб, яким РК взаємодіє з оточуючим середовищем та виконує завдання.

Локальна система управління визначається тим, як РК реагує на оточуюче середовище. У випадку простих завдань, він реагує на конкретні сигнали без складного аналізу, часто застосовується в умовах, коли передбачення всіх можливих умов важке чи неможливе.

Централізоване керування виникає, коли оператор чи система приймає всі рішення, вимагаючи програмування та аналізу завдань. Це забезпечує

високу точність і керованість процесами, але може бути менш адаптивним до навколишнього середовища.

Розподілена система управління визначається децентралізованим прийняттям рішень різними частинами системи. Кожен модуль або РК може мати свій механізм прийняття рішень, забезпечуючи гнучкість та здатність адаптуватися до змін на робочому місці.

Гібридна система управління виникає, коли РК використовує кілька методів керування для оптимізації продуктивності і адаптації. Наприклад, поєднання централізованого планування з локальним управлінням для конкретних цілей є прикладом цього підходу.

Інтелектуальне (автономне) керування включає в себе використання штучного інтелекту для навчання РТК приймати рішення на основі досвіду та вивчення оточуючого середовища. Це дозволяє роботам навчатися та адаптуватися до нових обставин.

Найчастіше система управління для роботизованих комплексів є централізована, а саме коли оператор керує через радіозв'язок РК та приймає особисті рішення для знешкодження ВВП.

Оператор через пульт керування приймає ті чи інші рішення та ці дані закодовуються та відправляються до РК. На РК приймач отримує дані декодує та перетворює їх у визначені команди. Приклад такої системи керування наведений на рис 2.2 та зображує управління двигунами РК за допомогою радіозв'язку.

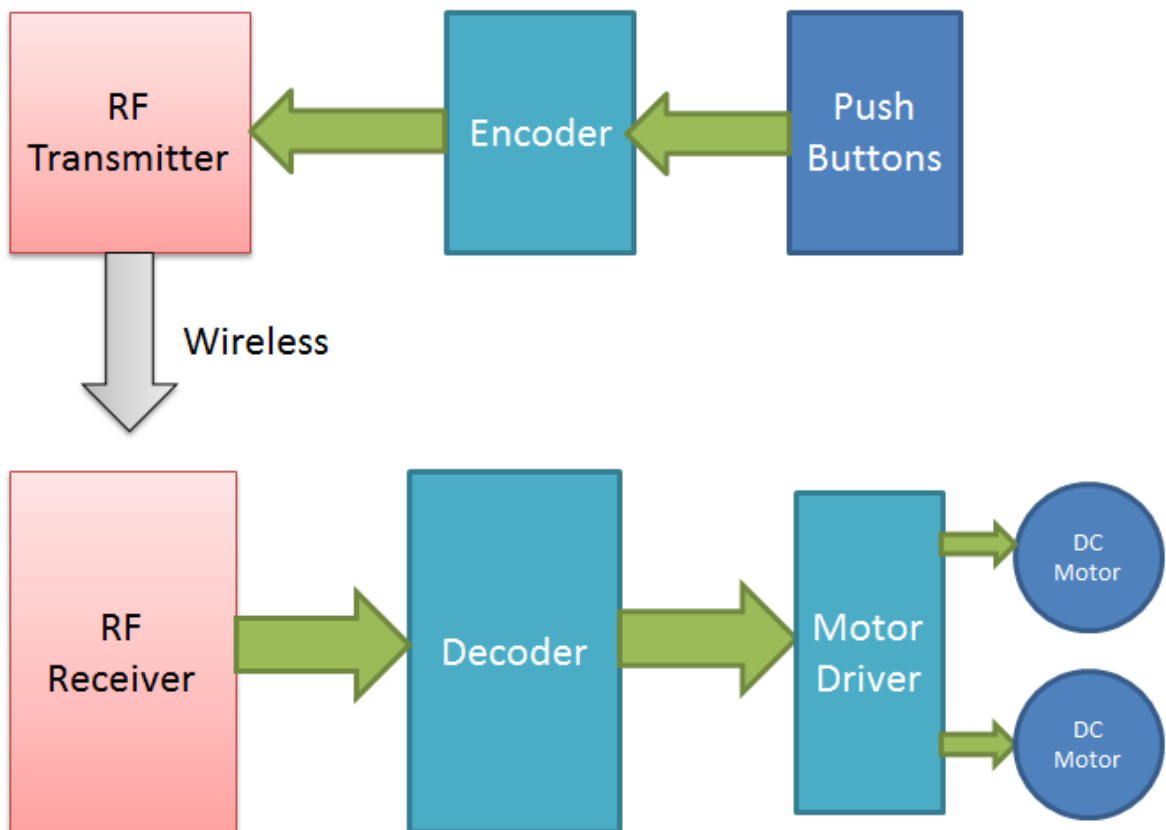


Рисунок 2.2 – Схема управління за допомогою радіозв'язку

Система управління перетворює декодовані дані у команди для драйверу мотору, який контролює двигуни постійного струму, тобто ця схема зображує керування шасі РК [18].

### 2.3 Креативний підхід до системи управління для знешкодження ВНП

Креативний підхід до реалізації систем управління для знешкодження ВНП будуть шукатись на основі РК, які призначені для виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів, таких як міни та боєприпаси що не розірвались. Зазвичай РК мають компактні розміри та невелику масу. Також вони зроблені для роботи в обмежених просторах та в умовах де ручний доступ небезпечний.

В Україні на даний момент стоїть гостро питання замінованих полів на яких фермери зазвичай робили посів. Були вже представлені перші розробки систем управління для знешкодження ВВП, на базі тракторів. З саморобним траком та мінімальним захистом самого трактора. Система управління такого рішення базується на протоколі ExpressLRS, що надає змогу управляти трактором та його траком на дистанції одного кілометра або більше.

ExpressLRS – це відкрите програмне забезпечення для бездротового зв'язку у радіокеруваннях та системах управління. Це спеціалізоване програмне забезпечення, яке використовується для контролю ПК. Відрізняється високою частотою оновлення пакетів, забезпечуючи значну дальність радіозв'язку [19].

Система управління для цього прототипу знешкодження ВВП є досить примітивної, через не якісну фізичну реалізацію, яка зображена на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Прототип ПК на базі системи управління з ELRS

Таке рішення було достатньо дешеве та швидке, так як засіювати поля потрібно було в найближчий Також до мінусу цієї системи можна віднести те, що у разі спрацювання міни трактор виходить з ладу через недостатній захист від ВВП [20].

Наступна система управління ПК для знешкодження ВВП розроблялась на основі трактора та танкового обладнання. Прототип отримав підвищений

захист та краще адаптовану систему управління ніж у минулого прототипу. Використовується кастамізований пульт керування який краще підходить для управління трактором. Також прототип не зламався після усіх протипіхотних мін та продовжує свою роботу у харківській області розмінуючи землю [21]. На рис. 2.4 зображено прототип для розмінування.



Рисунок 2.4 – РК з покращеною системою управління на базі ELRS

Головна проблема цього рішення, що цей прототип досить великий та немає ніякої системи для аналізу ґрунту на наявність мін. Також у його систему управління не входить маніпулятор, що для знешкодження різних класів ВВП є не досить універсальним рішенням. Його розраховане саме у застосуванні на відкритих полях.

Для знешкодження ВВП у локаціях де великий трактор не проїде потрібен РК зі системою управління, яка має змогу керувати маніпулятором.

Маніпулятор – це як механічний або електричний пристрій, призначений для виконання різноманітних операцій чи завдань, таких як захоплення, переміщення, піднімання або обертання об'єктів [22].

Блок-схема для управління маніпулятором зображена на рис. 2.5.

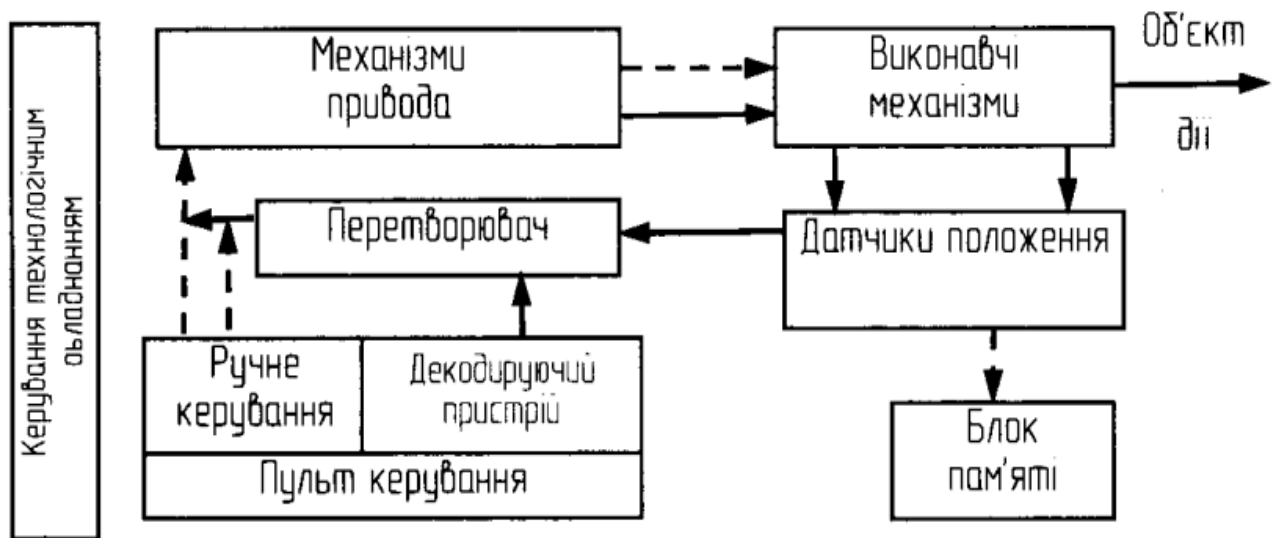


Рисунок 2.5 – Блок-схема керування маніпулятора [23]

Для виконання цілеспрямованих рухів, маніпулятор повинен мати програму записану на програмоносії у певному коді, який забезпечує зв'язок з оператором.

РК який має підтримку системи управління з маніпулятором є Міні-калібр, який був розроблений для швидких тактичних місій, для пошуку потрібних кімнат коридорів поверхів та просто працювання в обмеженому просторі. Даний робот використовується спецпідрозділом SWAT у цивільних завданнях. Також на ньому присутня двосторонній зв'язок де оператор може розмовляти або слухати що відбувається навколо і це доповнює систему управління РК для взаємодією з оточуючим середовищем [24]. На рис. 2.5 зображено зовнішній вигляд цього рішення.



Рисунок 2.5 – РК Міні-калібр

Через маніпулятор, він може підіймати вибухонебезпечний предмет та перетягувати у зону де його можна безпечно без шкоди для оточуючої середовища розмінувати.

Для розширення дальності роботи РК розробники Міні-калібру представили ретранслятор радіочастот, який приєднаний до пульта управління, але встановлений у менш безпечній зоні. Ретранслятор для системи управління може бути корисним, якщо оператор хоче проводити керування РК з безпечного укриття наприклад підвалу чи бліндажу.

Схема роботи системи управління з ретранслятором на рис. 2.6.

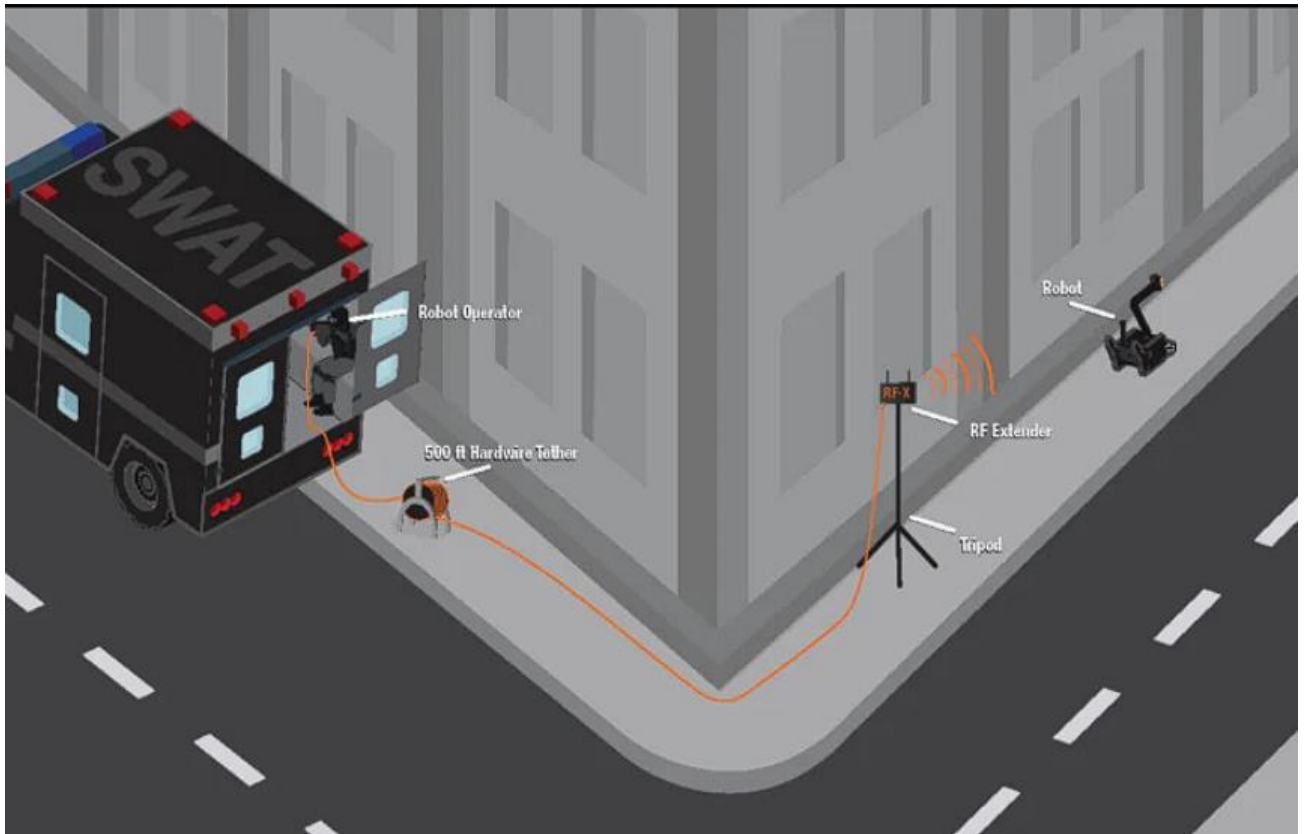


Рисунок 2.6 – Схема роботи системи управління з ретранслятором

Головними проблемами цього рішення є досить низька швидкість самого роботу та висока ціна реалізації. Також це рішення є не українським та замовити такі комплекси досить важко тому на даний момент в Україні їх одиниці. Дивлячись на кількість територій, які потрібно розмінувати рішення повинно бути більш дешевшим та універсальним. Так як наявне рішення використовується лише у міській місцевості

#### 2.4 Висновки до розділу

У розділі було проведено:

- опис систем управління з загальною структурою та елементами РК;
- опис системи прийняття рішення для знешкодження ВВП та їх видів;

– опис креативного підходу до створення системи управління для знешкодження ВВП з наведенням реальних прикладів української ситуації.

На цьому етапі можна переходити до моделювання автоматизованої системи управління для знешкодження ВВП.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗНЕСКОДЖЕННЯ ВНП

#### 3.1 Модель РК та системи управління для знешкодження ВНП

Моделювання складних систем є ключовим методом дослідження таких систем, особливо важливим у випадках, коли спостереження чи безпосередні експерименти з об'єктами стають неможливими.

Моделювання РК та системи управління для знешкодження ВНП повинно зобразити його структуру, зв'язки, властивості та параметри функціонування.

Загальна схема РК для знешкодження ВНП зображена на рис. 3.1.

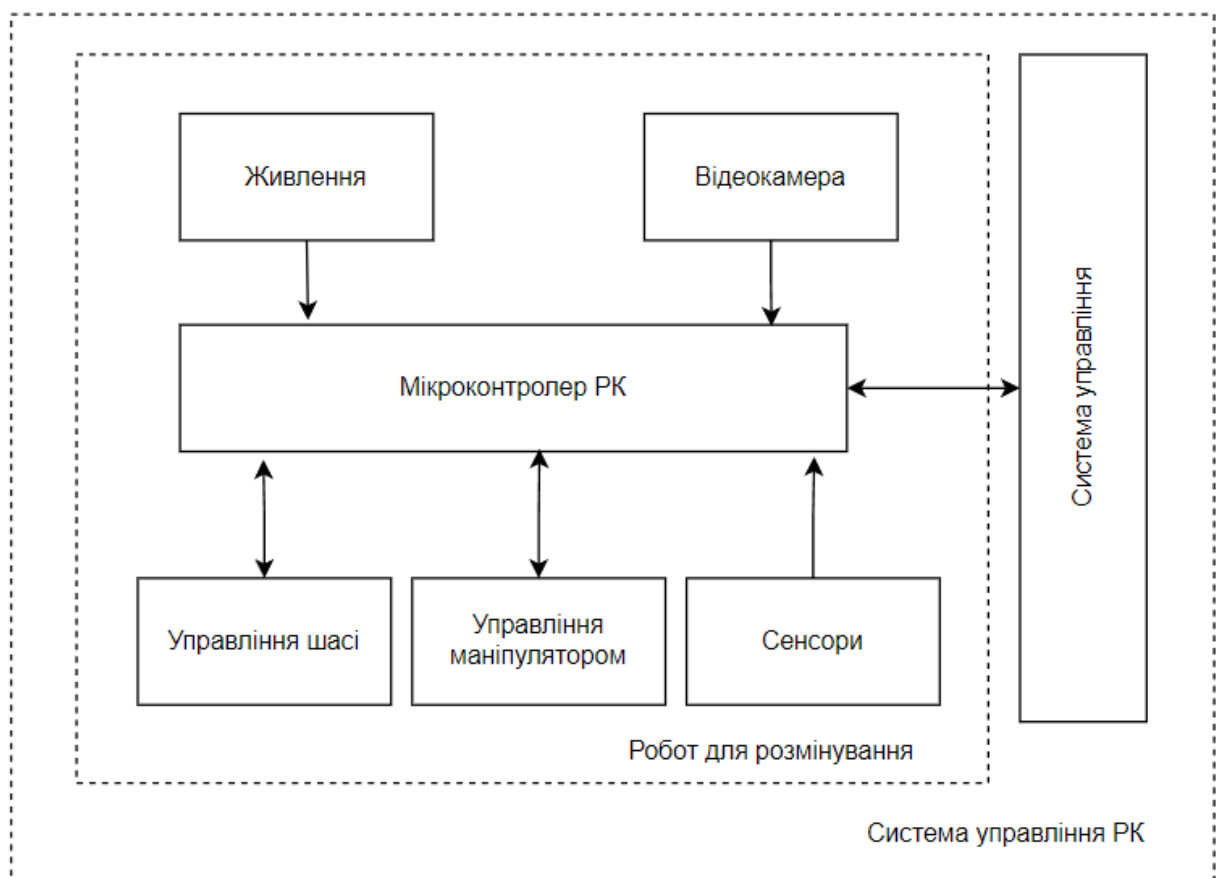


Рисунок 3.1 – Загальна структура РК для знешкодження ВНП

З наведеної схеми можна зазначити, що вона ділиться внутрішні системи, а саме:

- система управління усього РК та його підсистем через мікроконтролер;
- система управління шасі, яка керує напрямком пересування РК;
- система управління маніпулятора, яка керує положенням маніпулятора у просторі;
- система живлення усього РК.

Також напрямку з мікроконтролером РК взаємодіють сенсори для розмінування та відеокамера, яка передає у режимі реального часу відеодані до оператора РК.

Архітектура системи управління РК складається з взаємодії між оператором РК та зв'язкових модулів. Через зв'язок передаються визначені команди, які надсилаються на РК та оброблюються мікроконтролером.

Мікроконтролер в свою чергу перетворює отримані дані у команди до периферійних частин. Наприклад для управління маніпулятором визначається позиція того чи іншого сервоприводу та надсилається сигнал на сервопривод для зміни позиції маніпулятора. Для управління двигунів шасі та напрямком РК використовується спеціальний драйвер двигунів, який контролюється з мікроконтролера та зміною.

Драйвера двигунів — це особливий модуль, який забезпечує управління двигунами, сприяють їх ефективній роботі та відстежують працездатність. Мотори й крокові двигуни являють собою непрості конструкції, яким необхідний особливий контроль у вигляді драйвера.

Також для управління поведінки РК та визначення ВВП система керування може використовувати сенсори визначення локації РК та визначення міни через сенсор. Архітектура системи керування РК зображено на рис. 3.2.

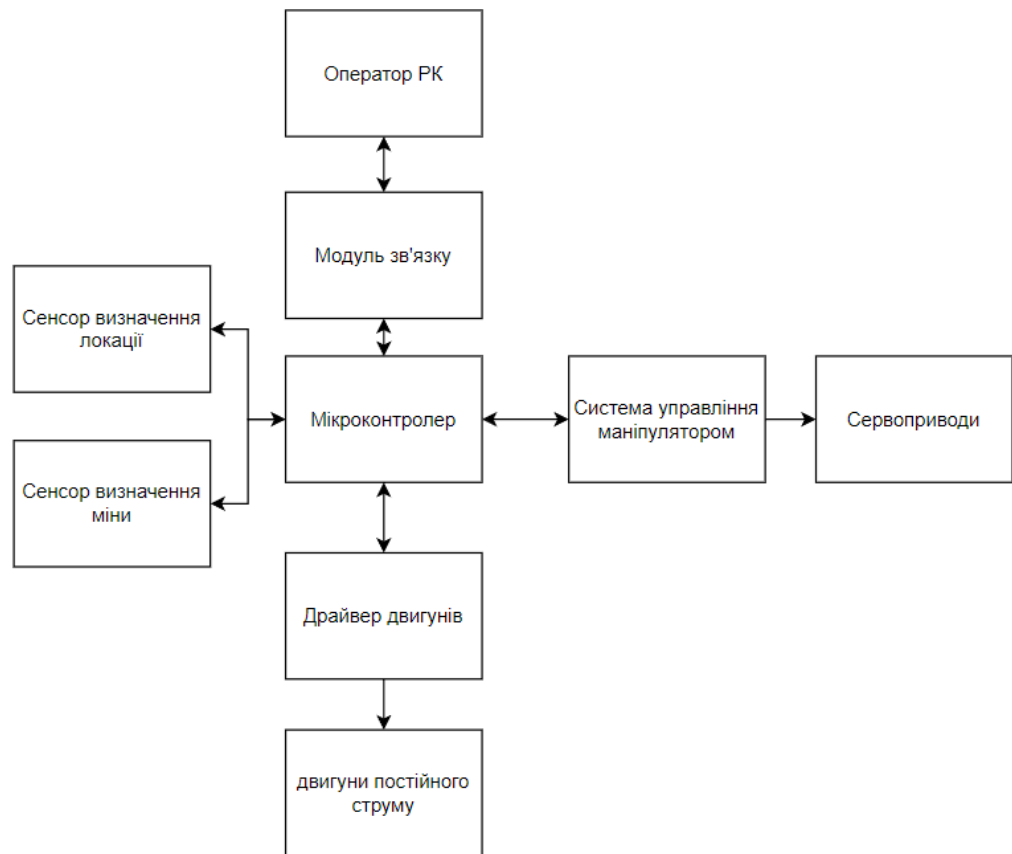


Рисунок 3.2 – Архітектура системи керування ПК

Конструкція транспортного модуля робота наведена на рис. 3.3. Він складається з поздовжніх пневмоциліндрів та позначений пунктом першим та другим для широтних пневмоциліндрів. Пункт три та чотири позначають корпуси які з'єднані симетрично. Кожен пневмоциліндр має два педіпулятори, які закріплені на кінцях поршневих штоків. Педіпулятор складається з підйомного циліндра та з ходом для подолання максимальної кількості кам'яних перешкод ця частина позначення пунктом п'ять. Лапи позначені пунктом шість із зубчатою контактною поверхнею для покращення можливостей лазіння робота. Блок детектування складається з ІЧ-детектора пункт сім та металошукача пункт вісім. Цей блок з'єднаний з передньою частиною циліндра пункту третього. Датчик лінійного положення пункт дев'ять поздовжнього руху розміщений на корпусі поздовжнього циліндра. Датчик лінійного положення широтного руху і блок детектування розміщені на корпусі широтного циліндра пункт десять.

Клапанні блоки позначені пунктом одинадцять, які розміщені з обох сторін робота та живляться від блоку обертання який позначений пунктом дванадцять з'єднаного з лінією тиску повітря. Перед платформою встановлена інерціальна система та електронний компас позначений пунктом тринадцять. У центрі платформи закріплено бортовий керуючий комп'ютер та технологічний маніпулятор, які позначені пунктами чотирнадцять та п'ятнадцять.

Транспортна система приводу робота зображена на рис. 3.4 складається з бортового комп'ютера, який з'єднаний з центральним комп'ютером і за допомогою інтерфейсу до двох клапанів V1 поздовжніх циліндрів (LNC), двох клапанів V2 широтних циліндрів (LTC), чотирьох клапанів V3 поздовжніх циліндрів підйому (LLN) і чотирьох клапанів V4 широтних циліндрів підйому (LLT). Усі 5/3-ходові клапани мають закрите нейтральне положення та два положення потоку.

Положення потоку забезпечують рух штока поршня в протилежних напрямках, а закрите нейтральне положення - це положення стоп, яке фіксує шток поршня циліндра в потрібній точці за сигналом керування. Всі клапани живляться стисненим повітрям.

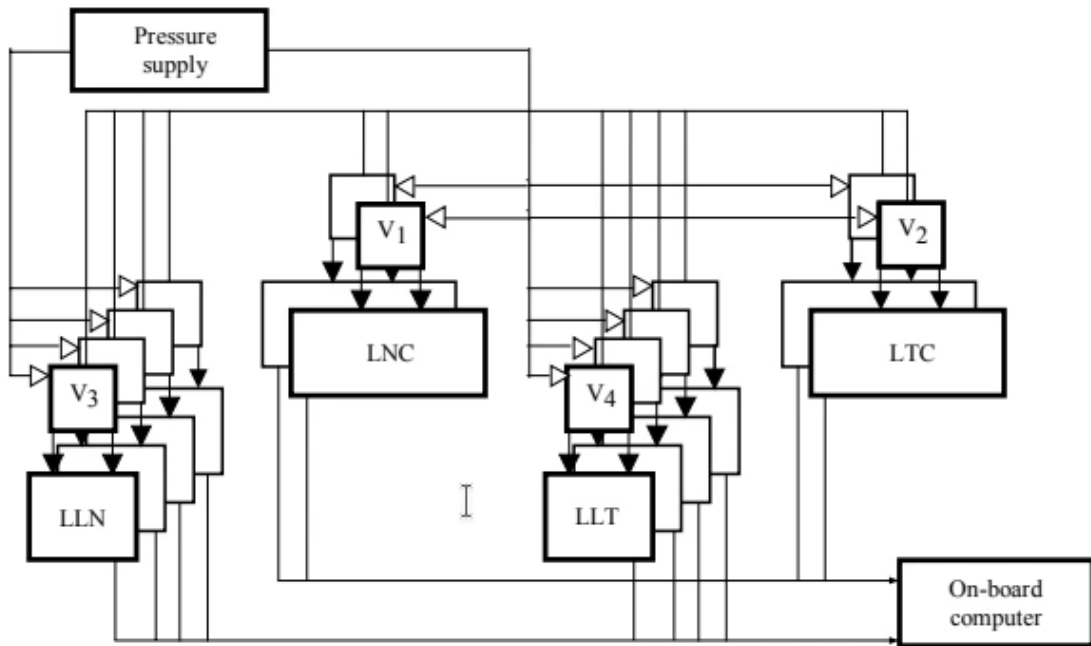


Рисунок 3.4 – Система транспортного приводу РК

Робот може безперешкодно перекривати мінне поле, використовуючи лише лінійний рух. Транспортування та сканування траєкторій робота по мінному полю з перешкодами без обертання робота вимагає використання поворотів для блоку датчиків розмінування, щоб орієнтувати його за напрямком руху. Кількість обертів робота залежить від алгоритму покриття. Наприклад можливо виконати два оберти або один оберт, щоб подолати одну перешкоду, яку не можуть подолати педіпулятори.

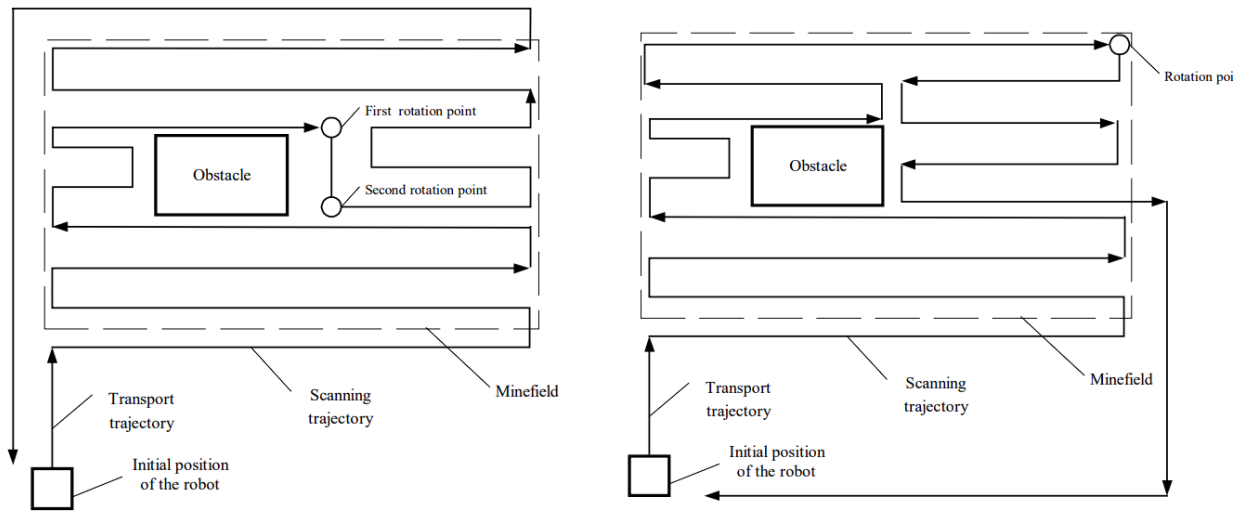


Рисунок 3.5 – Система прийняття рішень для траєкторії РК

Обертання з підтримкою здійснюється за допомогою руху ніжок одного з транспортних циліндрів відповідно до нерухомих ніжок паралельного циліндра. Цей режим призначений для невеликої корекції напрямку руху.

Прискорене обертання здійснюється за рахунок одночасного руху ніжок обох паралельних транспортних циліндрів у протилежних напрямках. Цей режим дозволяє здійснювати відносно швидке обертання тіла робота.

Центроване обертання здійснюється за допомогою перпендикулярної пари педіпуляторів навколо опори педіпулятора. Це дозволяє більш точно змінювати напрямок кута відповідно визначеного центру обертання.

Безпечне обертання можна здійснити за допомогою підтримки всіх педіпуляторів у низькому положенні. Таке положення педіпуляторів дозволяє забезпечити безпечний діапазон бічних зусиль педіпулятора при обертанні для всіх типів рухомих поверхонь, оскільки важіль штока поршня мінімальний.

Усі види обертань РК будуть зображені на рисунку 3.6.

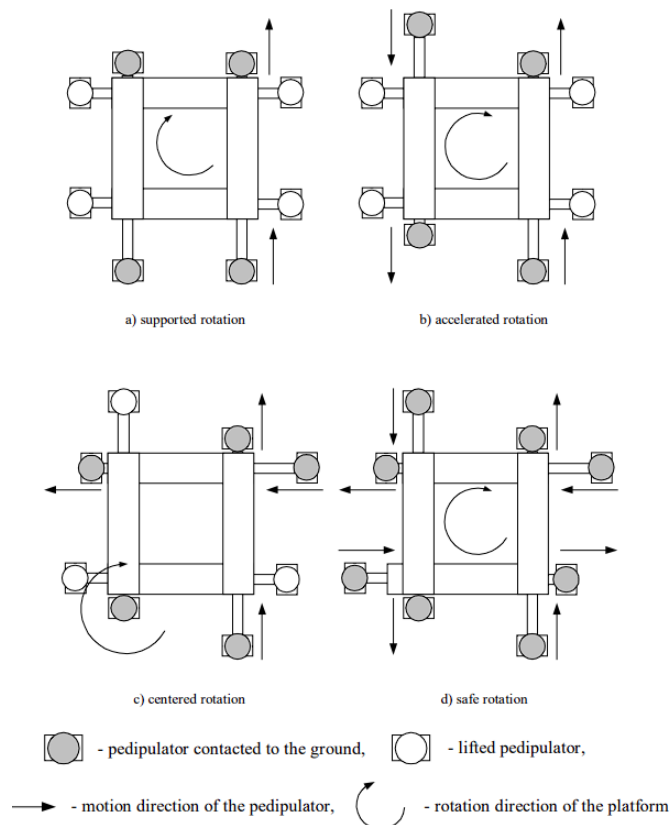


Рисунок 3.6 – Поворотний механізм платформи РК [25]

Конструктивними частинами загальної конструкції РК є ходова та кріплення для маніпулятора, яке дозволяє використовувати його з усіх частин РК. Також слід зазначити елемент захвату маніпулятора, який приєднаний на кінцеву частину маніпулятора. Захват потрібен для перевезення або знешкодження ВНП. До загальної конструкції також відноситься камери, які розташовані попереду та в кінці конструкції. Також можливе встановлення однієї із камер на захват маніпулятора, для того щоб оператор бачив, які саме дії він робить маніпулятором [26].

Загальна конструкція РК зображена на рис. 3.7.

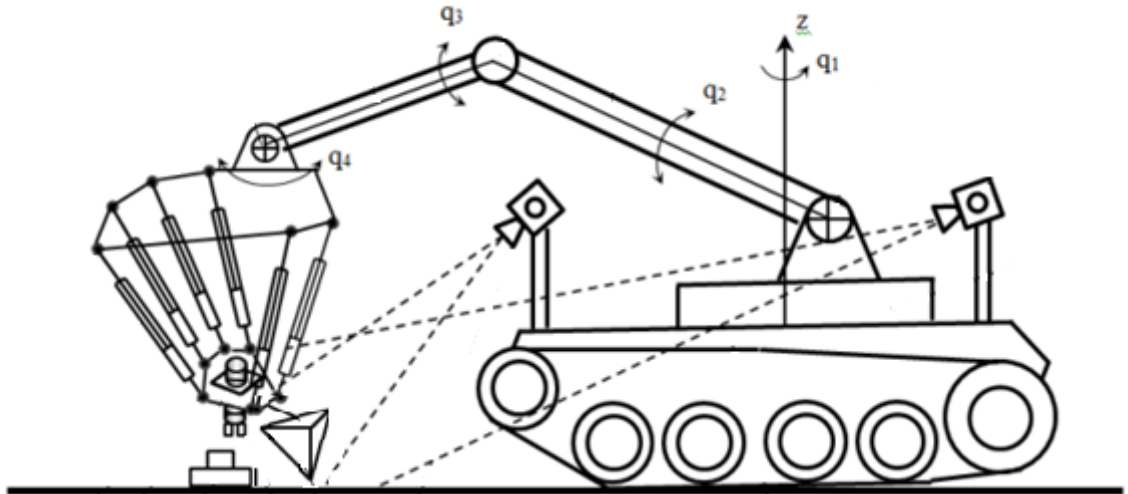


Рисунок 3.7 – Конструкція РК

Конструкція розміщує усі елементи загальної структури РК, які були описані до цього та показує конструкцію підсистем РК.

### 3.2 Вибір мікроконтролеру для системи управління прототипом РК

Вибір мікроконтролеру для системи управління РК та знешкодження вибухонебезпечних предметів повинен базуватись на:

- можливості приєднання різноманітних периферійних пристроїв;
- наявності різних вбудованих модулів зв'язку;
- можливості обробки та швидкості обчислень;
- розмір та вага.

Першим варіантом, який може підійти для системи управління РК є Arduino Uno r3. Цей мікроконтролер має велику кількість портів, через які забезпечується управління двигунами та іншою периферією, але проблема цього мікроконтролеру в тому що він не має вбудованих модулів зв'язку [27].

Також слід зазначити, що Arduino Uno базований на Atmega328, він відноситься до сімейства AVR та RISC архітектури. Усе сімейство AVR має низьку споживаність, що робить їх підходящими для пристроїв, які працюють від акумуляторної батареї [28].

Другим варіантом, який може підійти для системи управління РК є Wemos D1 mini. Це менший за розміром мікроконтролер, який має менше портів порівняно з Arduino Uno, але має модуль зв'язку та може керуватись через WiFi мережу чи Bluetooth [29].

Головною проблемою цього мікроконтролера є мала кількість портів, що може призвести до меншої універсальності системи управління до приєднання різноманітної периферії.

Золотою серединою між Arduino Uno та Wemos D1 mini є ESP-32 D1 R32. Цей мікроконтролер має вбудований WiFi модуль та збільшену кількість портів для системи управління периферійної частини, таку як у Arduino Uno, тобто цей мікроконтролер забезпечує усіма важливими характеристиками для системи управління. На рис. 3.8 зображено технічну специфікацію ESP-32 D1 R32 [30], яка показує кількість портів для підключення різної периферії системи управління.

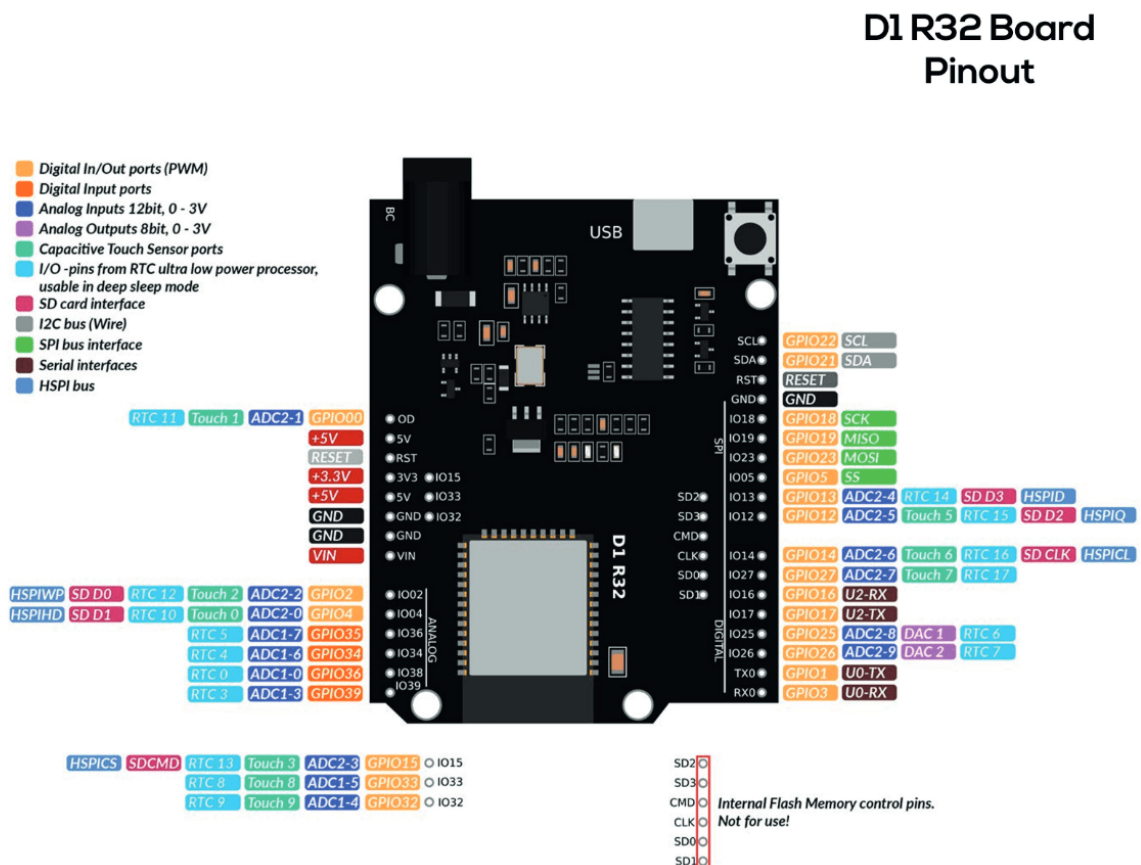


Рисунок 3.8 – Технічна специфікація ESP-32 D1 R32

На цьому варіанті вибір мікроконтролера для керування закінчено. У майбутній системі буде використовуватись саме ESP-32 D1 R32 за рахунок своєї універсальності.

### 3.3 Система управління платформою РК

Платформа або ходова частина для знешкодження ВНП — це спеціалізований платформа, розроблена для ефективного та безпечного перевезення та взаємодії з ВНП.

Від ходової частини рішення з знешкодження вибухонебезпечних предметів залежить досить багато кінцевих характеристик, а саме:

- центр тяжіння;
- потужність;
- маневреність;
- ефективність використання енергоресурсів;
- вартість.

Для забезпечення стабільності центр тяжіння повинен бути розташований ближче до низу, щоб при подоланні перешкод не було перевертання або загрози до перевертання.

Потужність та маневреність ходової частини залежить від кінцевого вибору кількості двигунів та їх потужності, що впливає на ефективність використання енергії та вартості кінцевої системи. Кожна характеристика балансує між різними компромісами у кінцевому рішенні, тому важливо обрати найкращий форм фактор для ходової частини.

З погляду на західні системи можна зрозуміти, що для забезпечення кращої маневреності потрібно використовувати гусеничний тип ходової частини. Рис. 3.9 зображує приклад гусеничного типу ходової частини [31].

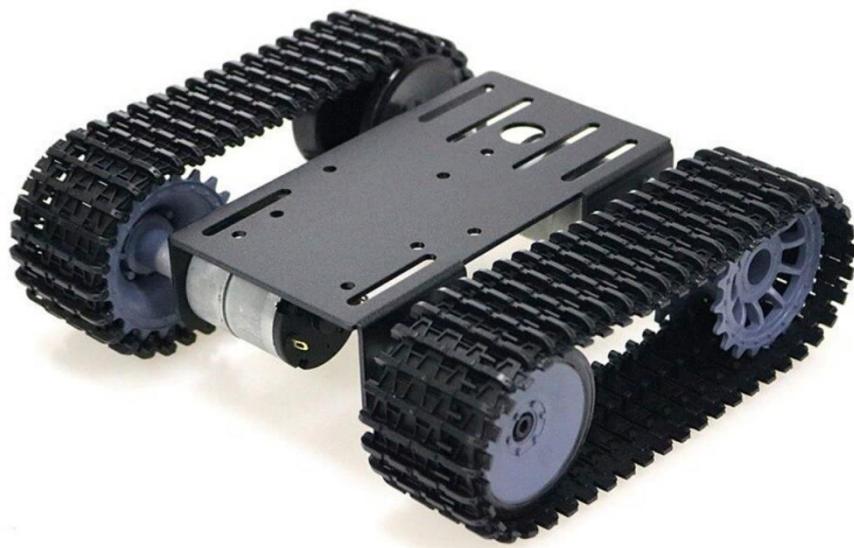


Рисунок 3.9 – Гусеничний тип ходової частини

Першим компонентом для забезпечення управління платформи, який буде приєднаний до мікроконтролера та входить до елементної бази ходової частини є драйвер двигунів або контролер двигунів за рахунок якого буде регулюватись швидкість та напрямок руху через систему управління ПК.

Контролер двигунів є частиною системи управління, його задача контролювати дві вісі гусеничного типу ходової, тому було обрано L298N. Це досить малий контролер, який може працювати з різними по потужності двигунами постійного струму. На рис. 3.10 буде зображена технічна специфікація L298N [32].

## ADIY L298N Motor Driver Module

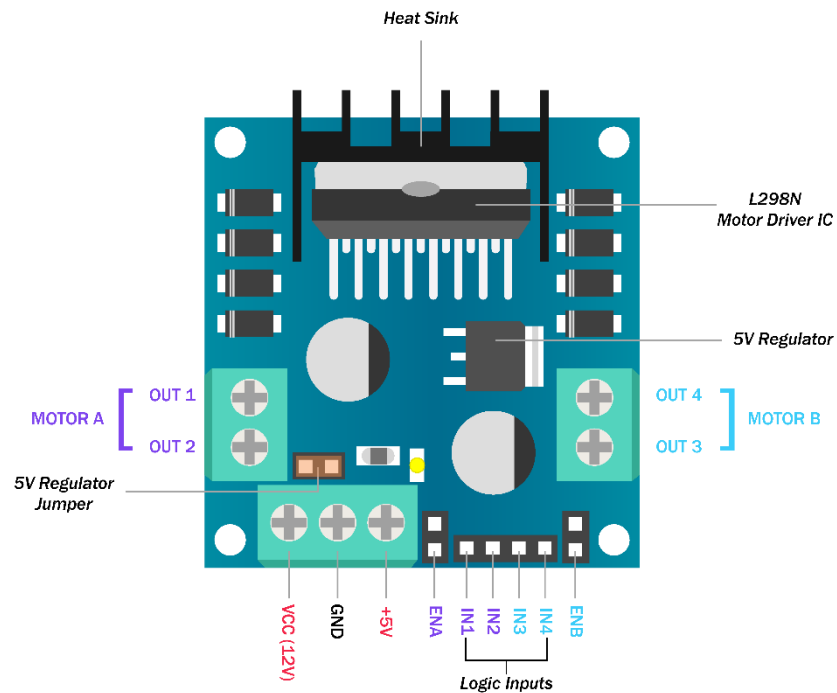


Рисунок 3.10 – Технічна специфікація L298N

До контролеру двигунів, потрібно обрати підходящі двигуни. Для прототипу системи управління РК буде використовуватись невеликі двигуни постійного струму з редуктором. Для забезпечення стабільності пересування було прийнято рішення встановлювати два двигуна на одну вісь. Тобто сумарно на усе майбутнє рішення буде чотири двигуни постійного струму з редуктором [33].

Для забезпечення пересування РК останнім елементом платформи пересування є живлення. Живлення РК ділиться на дві частини, а саме:

- живлення мікроконтролеру;
- живлення рухом частим РК.

Живлення усієї системи управління та периферії від одного джерела живлення може призвести до нестабільної роботи мікроконтролеру при розряді основного акумулятора. Тому для забезпечення стабільної роботи

було прийняте рішення додати до мікроконтролера особистий акумулятор та плату зарядки TP4056 [34].

Схема внутрішньої системи управління РК зображена на рис. 3.11.

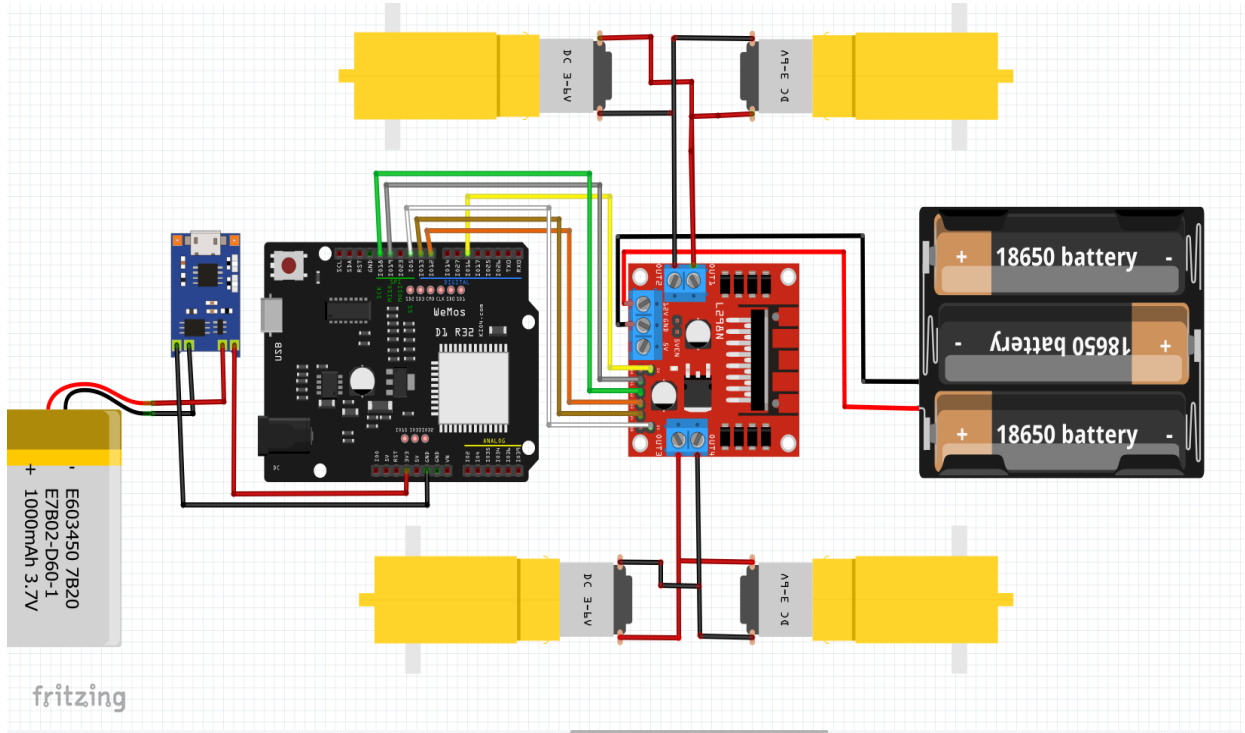


Рисунок 3.11 – Схема внутрішньої системи управління платформою РК

На цьому етапі було описані усі елементи системи управління платформою РК. Можна переходити до опису системи управління маніпулятору.

### 3.4 Моделі маніпуляторів для встановлення на РК

Маніпулятори представляють собою ключовий елемент у знешкодженні ВНП та системі управління РК. Ці системи розробляються та впроваджуються для вирішення різноманітних завдань у різних сферах та можуть мати різні конструкції та функціональні можливості.

Для знешкодження ВВП потрібно обрати модель маніпулятора, який буде встановлюватись на ходову частину РК та керуватись системою управління РК.

Першою моделлю маніпулятора є декартовий маніпулятор ця модель розташована на трьох лінійних осях, використовуючи декартову систему координат. Це означає що цей маніпулятор рухається прямолінійно по трьом різним осях.

Проблема цієї моделі, що якщо її встановлювати на ходову частину, то потрібне доповнює місце на ходовій частині для пересування по осям, що не є зручним способом знешкодження ВВП [35].

Другою моделлю маніпулятора є циліндричний маніпулятор. Циліндричний маніпулятор здатний рухатись вгору та вниз вертикально та також має поворотне з'єднання в основі та призматичне з'єднання для з'єднання ланок. Циліндричний маніпулятор дуже корисний для об'єктів, які мають обертальну симетрію навколо своїх осі [36].

Циліндричний маніпулятор краще підходить для знешкодження ВВП, але амплітуда дії цього маніпулятора не є оптимальною, через свою симетричну складову.

Наступною моделлю маніпулятора є сферична або полярна. Ця модель відносно нерухомою або майже сферичними робочими зонами, які можна розташувати в полярній системі координат.

Ця модель є більш складною ніж декартова або циліндрична модель маніпулятора. Також слід зазначити, що сферична модель була однією з перших маніпуляторів в історії людства.

Полярна модель з'єднана за допомогою двох ротаційних і одного лінійного шарнірів. Осі поєднуються, щоб створити полярну координату, що дає змогу мати сферичну робочу зону.

Проблема сферичного маніпулятора в тому, що вона не забезпечує рух у деяких осях, що може стати проблемою для автоматизації знешкодження вибухонебезпечних предметів через їх різну форму [37].

Останньою моделлю маніпулятора є шарнірна. Шарнірний маніпулятор нагадує руку людини та дозволяє механічно рухатись та конфігурувати для системи управління. Це один з найпоширеніших типів маніпуляторів.

Шарнірний маніпулятор має змогу працювати з декількома осями. Шестиосьові маніпулятори є найпоширенішим типом шарнірних маніпуляторів, але зазвичай вони мають від чотирьох до шести осей, що забезпечує ширший діапазон рухів. Ця модель найкраще підходить для знешкодження вибухонебезпечних предметів через забезпечення максимальної кількості осей, які можливо використати. Це може надати оператору більше можливостей при розмінуванні та збільшити відсоток успіху розмінування через маніпулятор [38].

Вибір моделі шарнірної моделі маніпулятора повинен забезпечити взаємодію з більшою кількістю ВВП та буде оптимальним варіантом за рахунок своєї універсальної моторики. Представлення усіх концептів моделей маніпуляторів буде зображено на рис. 3.12.

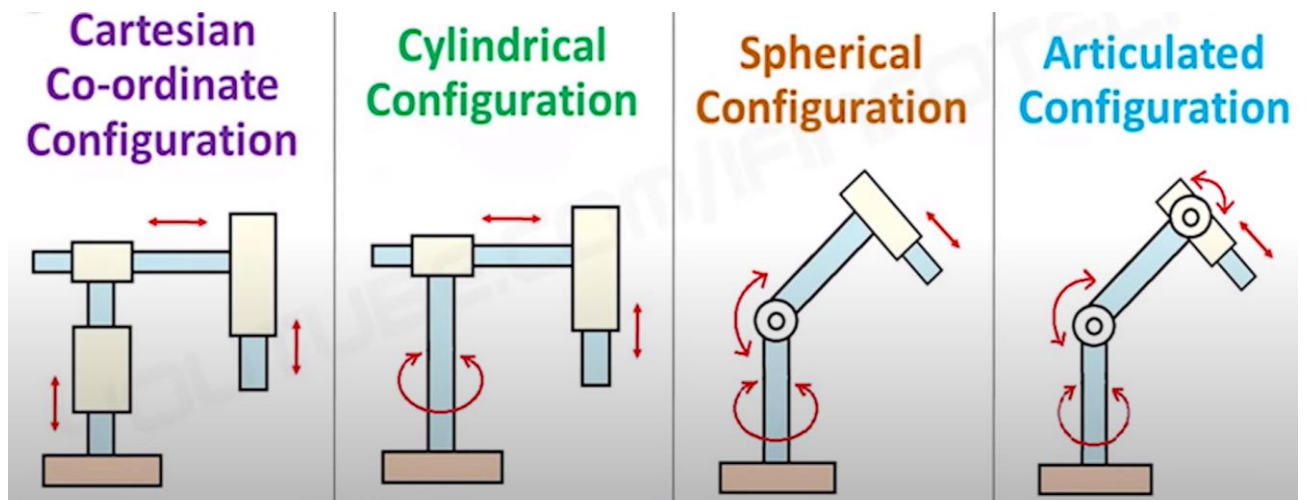


Рисунок 3.12 – Представлення усіх моделей маніпуляторів

Після вибору типу моделі маніпуляторів, можна переходити створення системи управління для шарнірного маніпулятора, який працює за чотирма осями.

### 3.5 Система управління для шарнірного маніпулятора

Контроль маніпулятора є важливим елементом для знешкодження ВНП. Від нього залежить точність маніпулятора та швидкість руху з успішністю знешкодження ВНП. Контроль маніпулятора на рівні системи управління буде працювати через мікроконтролер, який буде генерувати широтно-імпульсну модуляцію PWM або ШІМ.

Широтно-імпульсна модуляція — це метод модуляції, який використовує зміну ширини імпульсів для передачі інформації.

Основна ідея ШІМ полягає в тому, щоб представити аналоговий сигнал у вигляді послідовності імпульсів, де ширина кожного імпульсу залежить від значення аналогового сигналу в конкретний момент часу. Це дозволяє передавати аналогову інформацію через цифровий канал [39].

Обраний раніше мікроконтролер, підтримує достатню кількість портів задля керування серводприводів маніпулятора через систему управління. Тому для забезпечення руху маніпулятору за осями буде використовувати сервопривод MG90S [40]. На кожній осі буде встановлений цей сервопривод та через систему управління його положення буде змінюватись в залежності від потреб оператора.

Цей сервопривод потребує фіксованої напруги 4.8v-6v. Тобто для забезпечення роботи системи управління маніпулятором потрібен понижуючий перетворювач від якого буде живитись усі серводвигуни маніпулятора. Було обрано модуль понижуючого перетворювача XL4015, який має змогу працювати з напругою 4-38v [41].

Цих елементів достатньо для формування системи управління для шарнірного маніпулятора який забезпечує рух чотирьох осей. Кінцева схема внутрішньої системи управління РК зображено на рис. 3.13. Схема включає систему внутрішнього управління платформою РК та доповнюється маніпулятором.

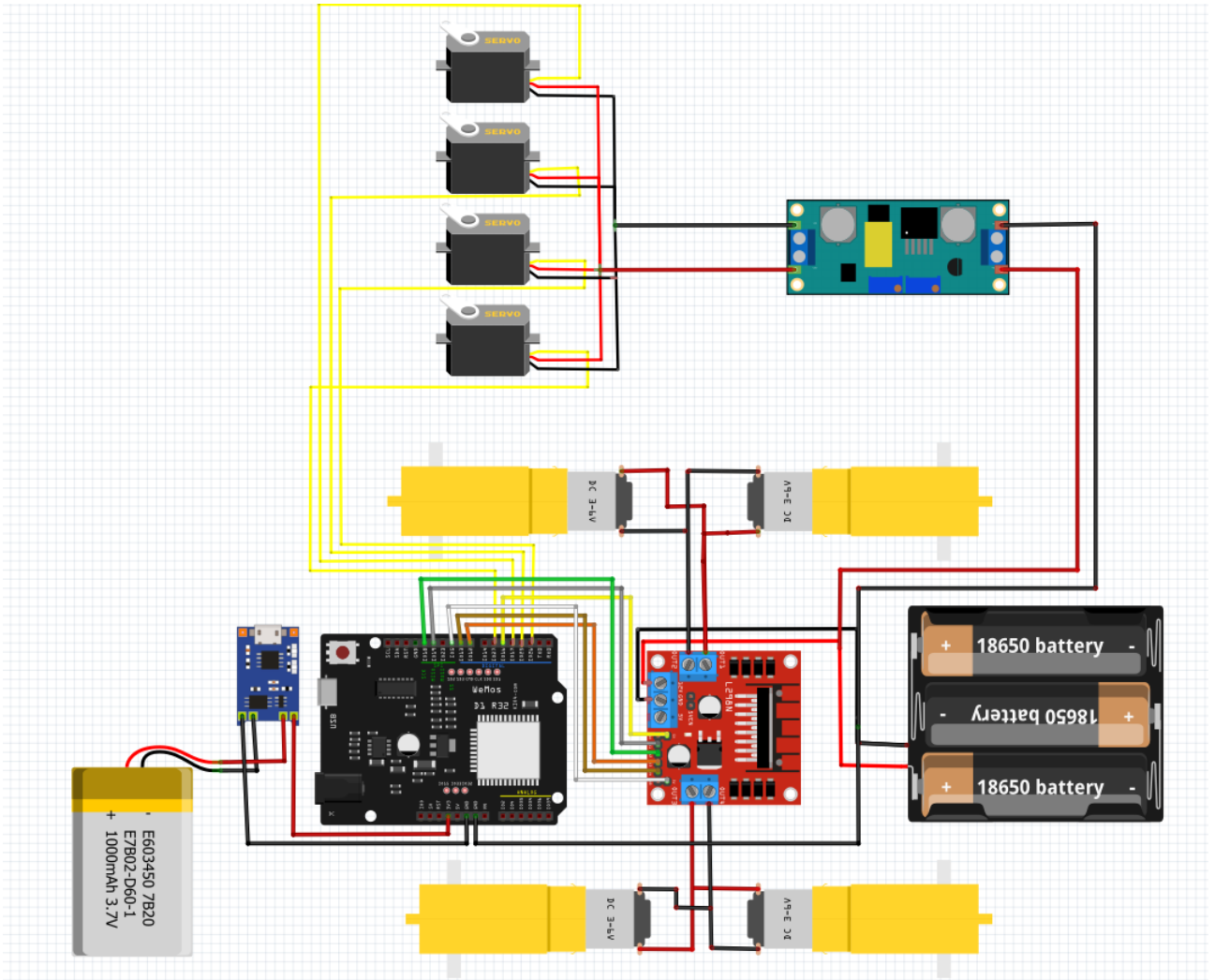


Рисунок 3.13 – Кінцева схема системи управління РК

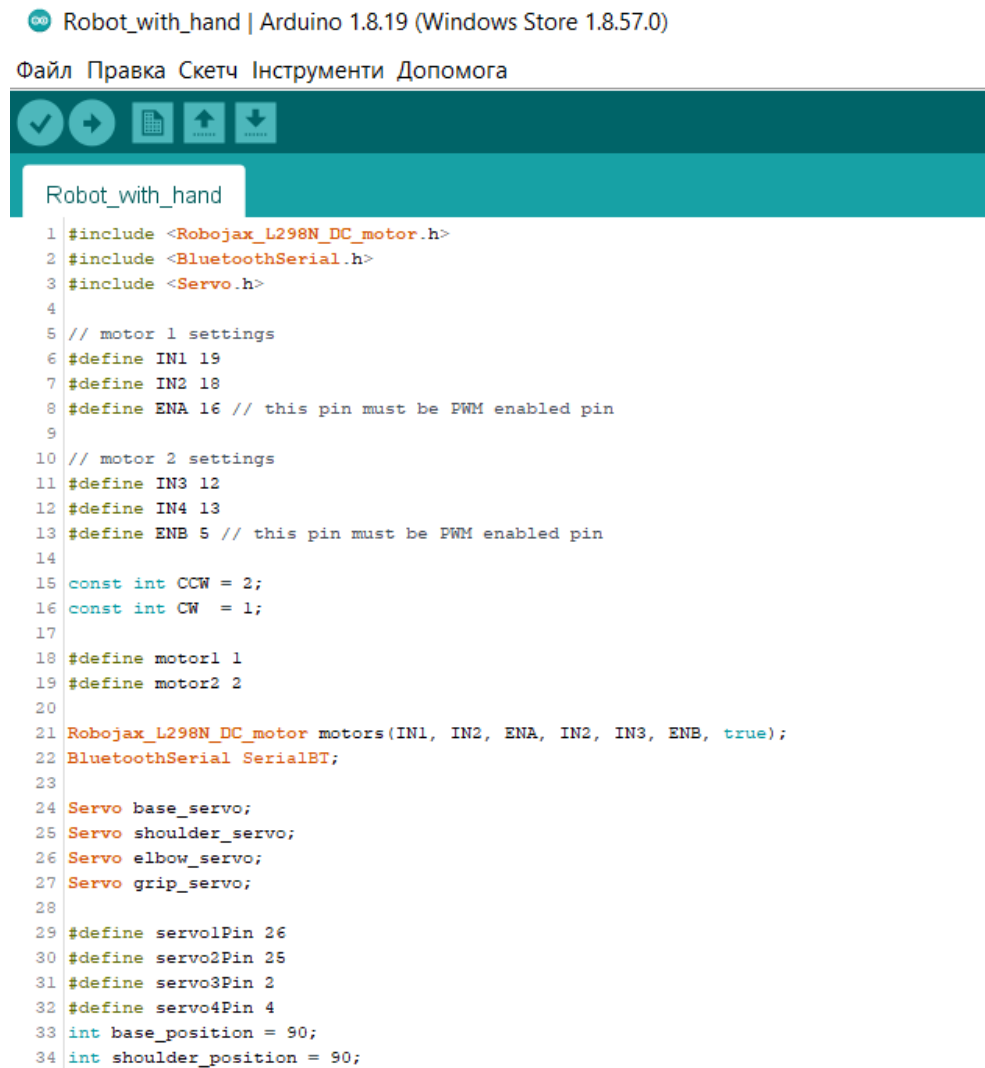
Кінцева схема надає можливість переходити до прямої реалізації системи управління для знешкодження ВНП.

### 3.6 Технічний стек для реалізації системи управління

Для реалізації системи управління РК для знешкодження ВНП буде використовуватись мова програмування C++.

C++ – це мова програмування загального призначення, яка володіє можливостями низькорівневої мови, такі як робота з пам'яттю, і в той же час надає зручність високорівневих мов [42].

Мова програмування C++ буде використовуватись в оточенні Arduino IDE. Інтегроване середовище розробки Arduino IDE є основною програмою для редагування коду у ескізі, який буде вивантажуватись на мікроконтролер [43]. На рис. 3.14 зображений загальний вигляд Arduino IDE.



```

Robot_with_hand | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Файл Правка Скетч Інструменти Допомога

Robot_with_hand
1 #include <Robojax_L298N_DC_motor.h>
2 #include <BluetoothSerial.h>
3 #include <Servo.h>
4
5 // motor 1 settings
6 #define IN1 19
7 #define IN2 18
8 #define ENA 16 // this pin must be PWM enabled pin
9
10 // motor 2 settings
11 #define IN3 12
12 #define IN4 13
13 #define ENB 5 // this pin must be PWM enabled pin
14
15 const int CCW = 2;
16 const int CW = 1;
17
18 #define motor1 1
19 #define motor2 2
20
21 Robojax_L298N_DC_motor motors(IN1, IN2, ENA, IN2, IN3, ENB, true);
22 BluetoothSerial SerialBT;
23
24 Servo base_servo;
25 Servo shoulder_servo;
26 Servo elbow_servo;
27 Servo grip_servo;
28
29 #define servo1Pin 26
30 #define servo2Pin 25
31 #define servo3Pin 2
32 #define servo4Pin 4
33 int base_position = 90;
34 int shoulder_position = 90;

```

Рисунок 3.14 – Загальний вигляд Arduino IDE

У оточенні Arduino IDE C++ має ключові видозмінення по формі написання коду. Також стандартна бібліотека C++ не є доступною у цьому оточенні та щоб взаємодіяти з різноманітною периферією потрібно використовувати бібліотеки, які були розроблені саме під Arduino IDE. Слід зазначити, що Arduino IDE має змогу запрограмувати не лише Arduino

мікроконтролери, а інші мікроконтролери на різних архітектурах включно з обраним у проєктній частини ESP-32 D1 R32.

Також у реалізації буде використано три бібліотеки, а саме:

- бібліотека керуванням DC двигунами через драйвер L298N [44];
- бібліотека взаємодії з Bluetooth модулем [45];
- бібліотека взаємодії з серводвигунами [46].

Цього технічного стеку достатньо для реалізації системи.

### 3.7 Реалізація змодельованої платформи РК та системи управління

Реалізація змодельованої платформи та маніпулятора буде відбуватись за допомогою 3D принтеру. Увесь корпус окрім з'єднувальних елементів буде надруковано з пластику PLA який отриманий з поновлюваних органічних джерел, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина.

Використання ресурсів біомаси робить виробництво PLA відмінним від більшості пластмас, які виробляються з використанням викопного палива шляхом дистиляції та полімеризації нафти.

В результаті, при вибуху ВВП біля РК, буде зменше забруднення тієї місцевості де стався вибух, так як пластик може розкладатись через час. Більша частина частин була взята з сайту всесвіту речей, де люди виставляють різні моделі у вільний доступ та їх можна використовувати з різними ліцензіями [47].

Для реалізації платформи було взяту ходову частину з всесвіту речей та надруковано [48]. Модель платформи РК буде зображено на рис. 3.15.

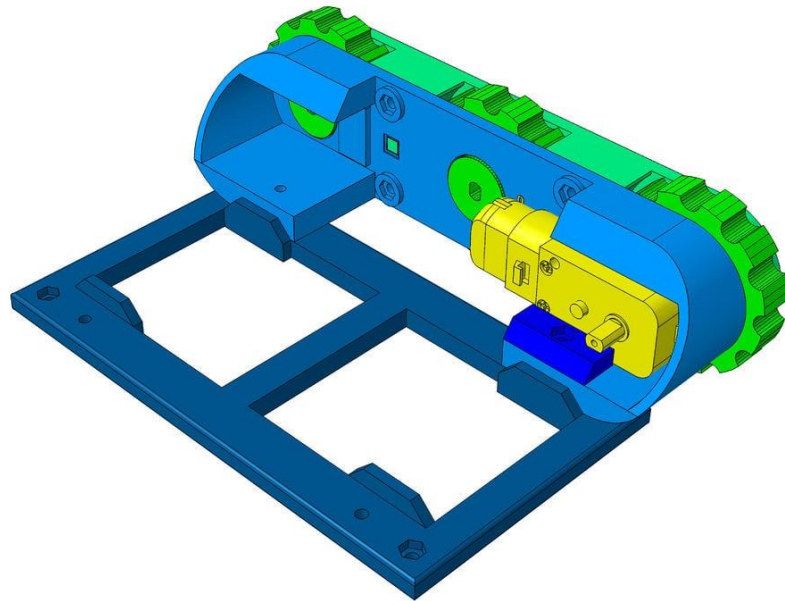


Рисунок 3.15 – Модель платформи РК

Як можна побачити ця модель вже гарантує зручне встановлення редукторного двигуна до шестерні, яка буде крутити вісь ходової частини з гусеницею. Центральна основа складається з чистого місця куди можна встановити будь-який мікроконтролер. Також була надрукована частина тримача драйверу двигунів L298N та мікроконтролеру ESP.

Останнім елементом для друку платформи є гусениця. Гусениця була зроблена з того ж пластику, що і основна, тобто PLA, але ця гусениця має не резинову основу, тому на деяких поверхнях може мати знижене сцеплення з дорогою. Рішенням цієї проблеми це як мінімум друк деяких елементів з TPU. Термопластичний поліуретан, є гнучкою та довговічною ниткою для 3D-друку. TPU має унікальні характеристики, які роблять його еластичним, як гума, і водночас міцним, як пластик. Модель гусеничної частини наведено на рис. 3.16.

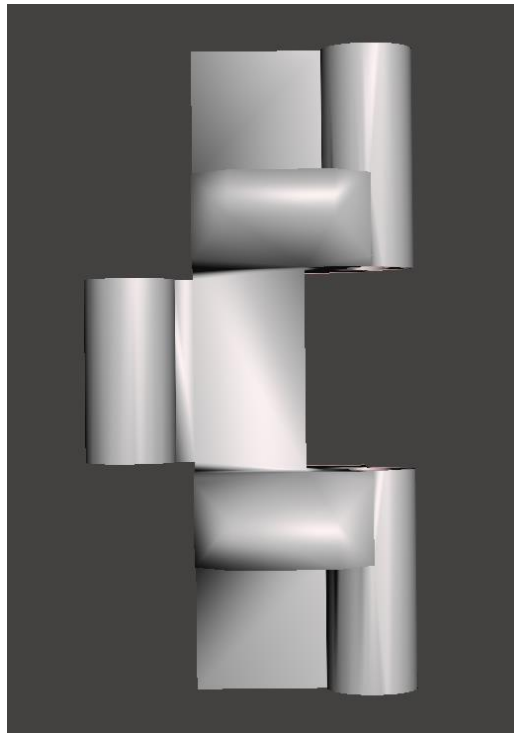


Рисунок 3.16 – Модель гусеничної частини РК

Для наявної платформи потрібно 34 гусеничних частин. В оригінальній версії гусениця була занадто довгою, тому було прийняте рішення дещо змінити її через зменшення деяких елементів гусениці. Проблема гусениці полягає у тому, що якщо вона сильно натягнута, то двигуни при роботі можуть почати перегріватись через збільшене навантаження, якщо натягнута занадто слабо то при поворотах може спадати. Так як натяг гусениці відбувається лише від кількості та довжини це не є досить зручним способом, що можливо у майбутньому прийдеться змінювати. Об'єднання частин гусениці відбувається через внутрішні отвори частинок гусениці через нитку PLA. Процес об'єднання відбувається через нагрівання нитки на кордонах з'єднання не чіпаючи механічну частину де відбувається рух між гусеничними частинами. Результат збірки платформи РК з електронними елементами буде зображено на рис. 3.17.

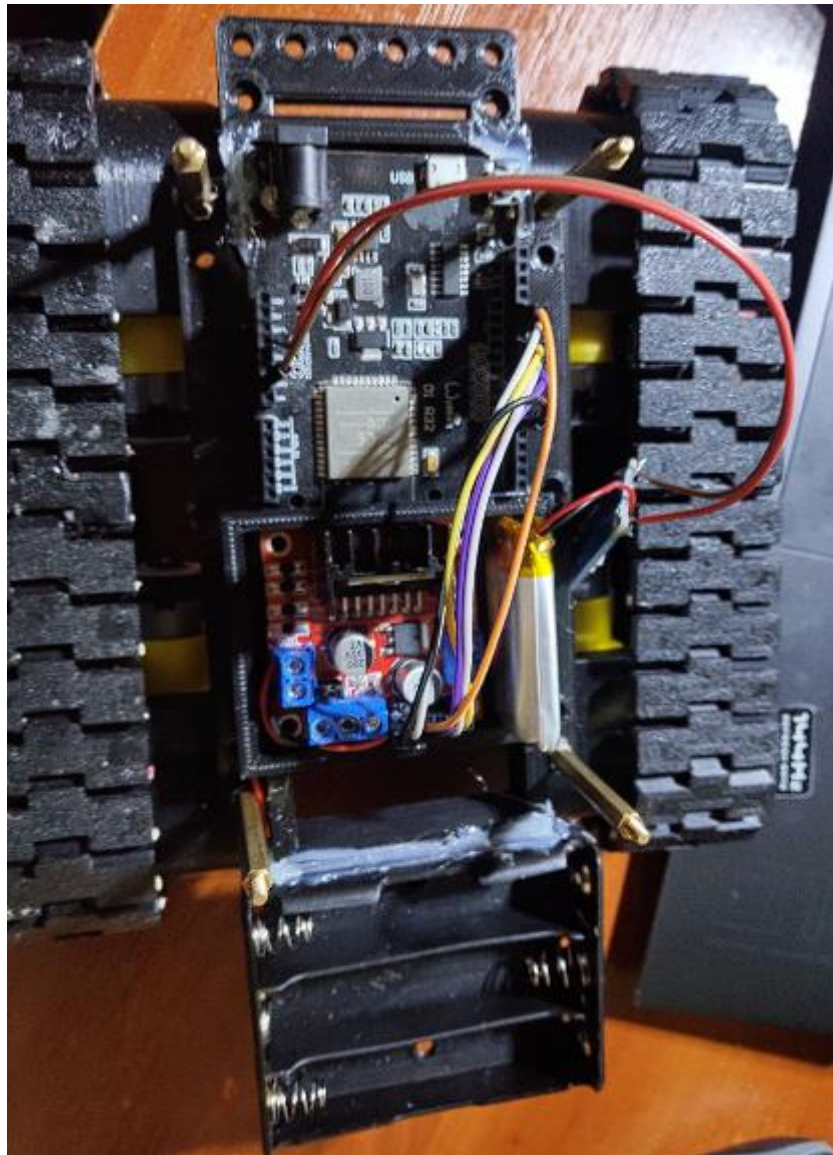


Рисунок 3.17 – Зібрана платформа РК

Для зібраної платформи РК, потрібно розробити систему управління, яка надає змогу:

- керувати напрямком руху платформи РК;
- керувати швидкістю РК;
- мати змогу зупиняти РК.

Система управління буде працювати на базі Bluetooth модулю, який вбудований у мікроконтролер платформи РК та телефону. На телефоні буде використовуватись три елементи для системи керування. Перший елемент буде через клік керувати напрямком РК. Другий елемент є повзунок, який сигналізує системі управління, яка швидкість РК повинна бути. Останнім

елементом системи управління платформи РК є кнопка зупинки. Після натиску РК повністю зупиняється. Рис. 3.18 зображує інтерфейс системи управління платформою РК.

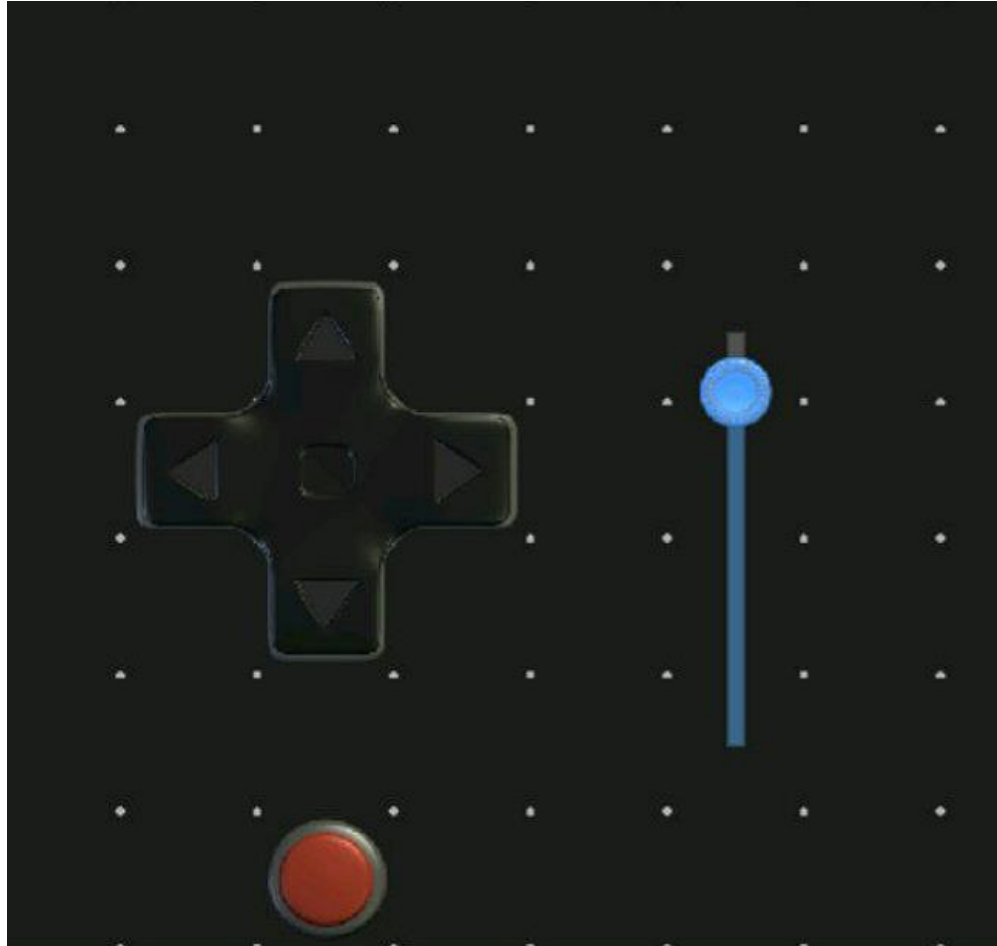


Рисунок 3.18 – Інтерфейс системи управління платформою РК

Після налаштування, платформа РК має змогу їздити за допомогою системи управління з регулюванням швидкості моторів. Тепер можна переходити до реалізації маніпулятора та його системи управління.

### 3.8 Реалізація змодельованого маніпулятора та системи управління

Реалізація маніпулятора для системи управління відбувається за схожим процесом платформи РК. Маніпулятор буде надрукований з PLA матеріалу та модель маніпулятора було взято зі світу речей. За основу маніпулятора було

взято EEZYbotARM [49]. На рис. 3.20 зображено модель маніпулятора, який буде встановлений на РК.



Рисунок 3.19 – Модель маніпулятора РК

Позиція маніпулятора було обрано на передню частину платформи задля збільшення області де система управління через маніпулятор зможе працювати. Також для встановлення маніпулятора на платформу РК потрібно було змоделювати частину яка об'єднує платформу та маніпулятор. Так як модель не розрахована на встановлення на рухомий об'єкт. Тому основна частина, яка керує за напрямком усього маніпулятора була змінена та

адаптована під платформу. Рис. 3.20 зображує адаптацію кріплення маніпулятора до РК.

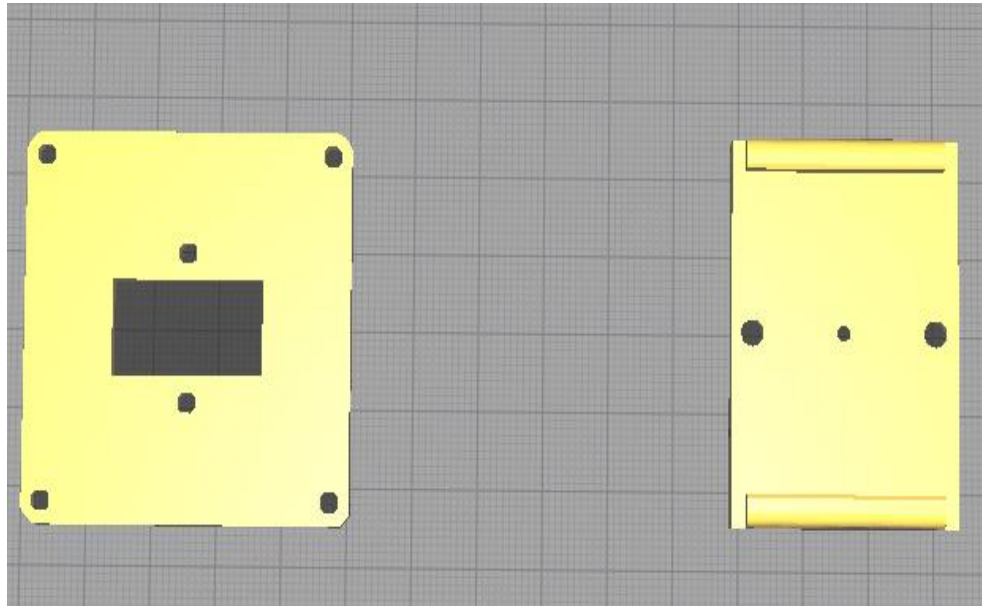


Рисунок 3.20 – Модель кріплення маніпулятора до платформи РК

Перша модель націлена на встановлення сервоприводу на ходовій частині. Друга модель має пазл входу сервоприводу та передає рух на основу частину маніпулятора.

Після приєднання маніпулятора до платформи РК за допомогою змодельованих кріплень та схемою, яка буде зроблена у минулому розділі було утворено результат РК який зображений на рис. 3.26.

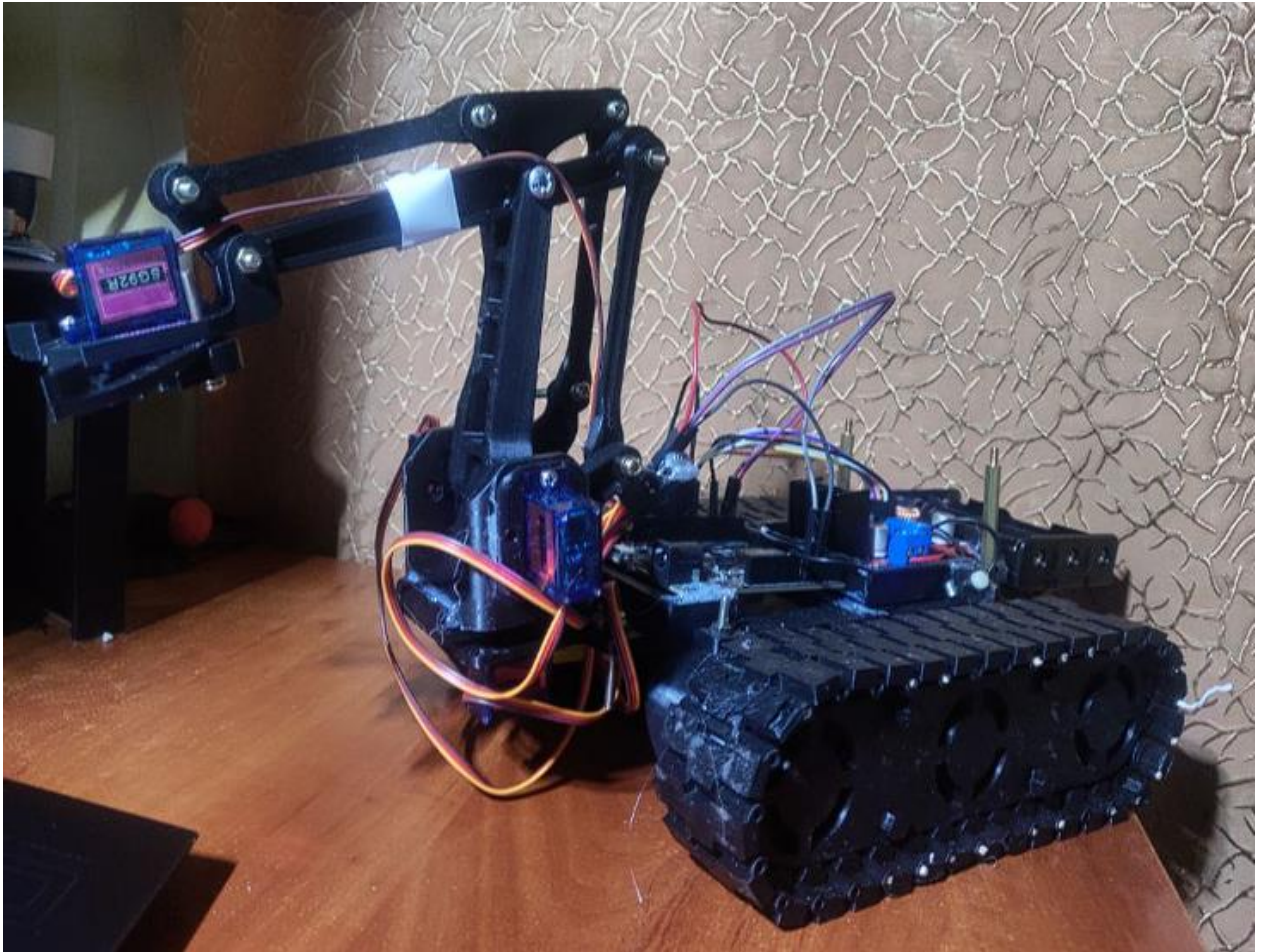


Рисунок 3.21 – Результат збірки РК з маніпулятором

Наступним кроком є доповнення існуючої системи управління, яка робилась для контролювання платформою РК, потрібно додати керування маніпулятором. Функції, які система управління повинна реалізовувати складається з:

- керуванням локтю маніпулятора;
- керування плеча маніпулятора;
- керування захопленням маніпулятора;
- керування основою маніпулятора.

Перший елемент системи управління для взаємодії з оператором розділяється на керування основою та плечем маніпулятора. Другий елемент системи управління керує локтем маніпулятора. Для захвату буде додано перемикач, який буде працювати у двох режимах: захопив, відпустив.

Останнім елементом системи управління є повзунок, який контролює швидкість зміни положення маніпулятора. На рис. 3.22 зображено інтерфейс системи управління РК з маніпулятором.

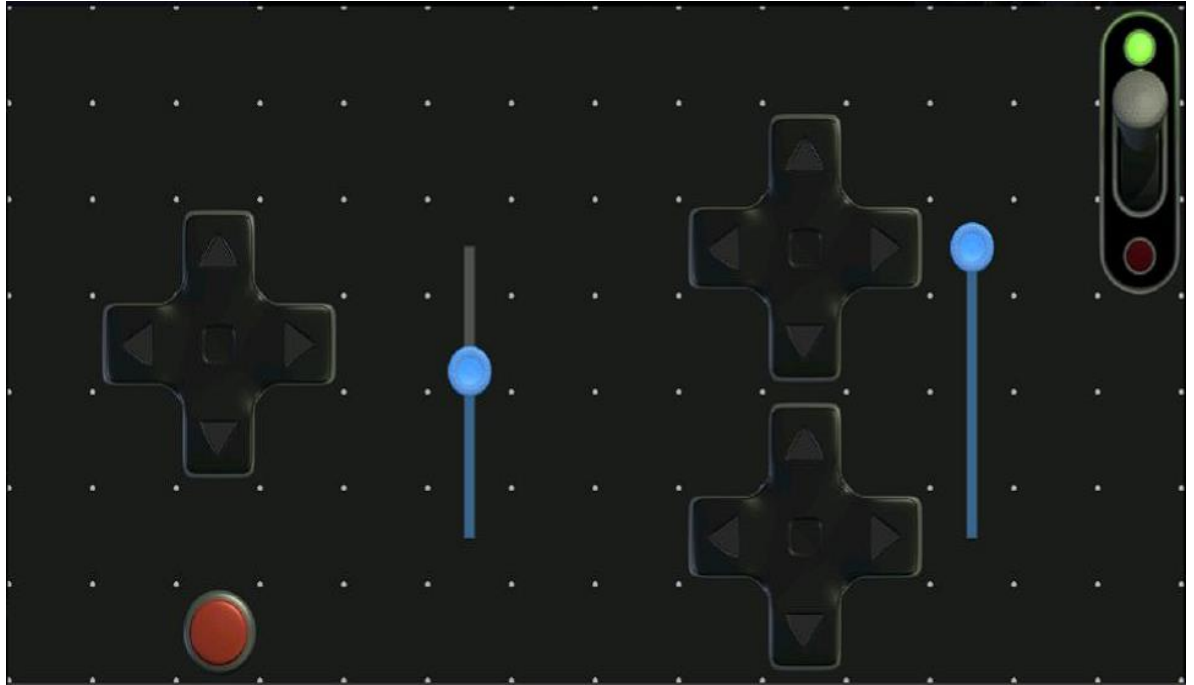


Рисунок 3.22 – Інтерфейс системи управління РК

Інтерфейс системи управління РК робився за допомогою через мобільний додаток Bluetooth Electronics [50], що надає повноцінний функціонал з різним кастомізованим інтерфейсом.

Уся система управління та її функції були запрограмовані на мікроконтролері. Реалізація усіх функцій представлена у додатку А. Для взаємодії через систему управління, оператор повинен приєднатись через Bluetooth до мікроконтролеру після чого в його доступі уся система управління РК для знешкодження ВВП. Схема системи управління РК для знешкодження ВВП зображена на рис. 3.23.

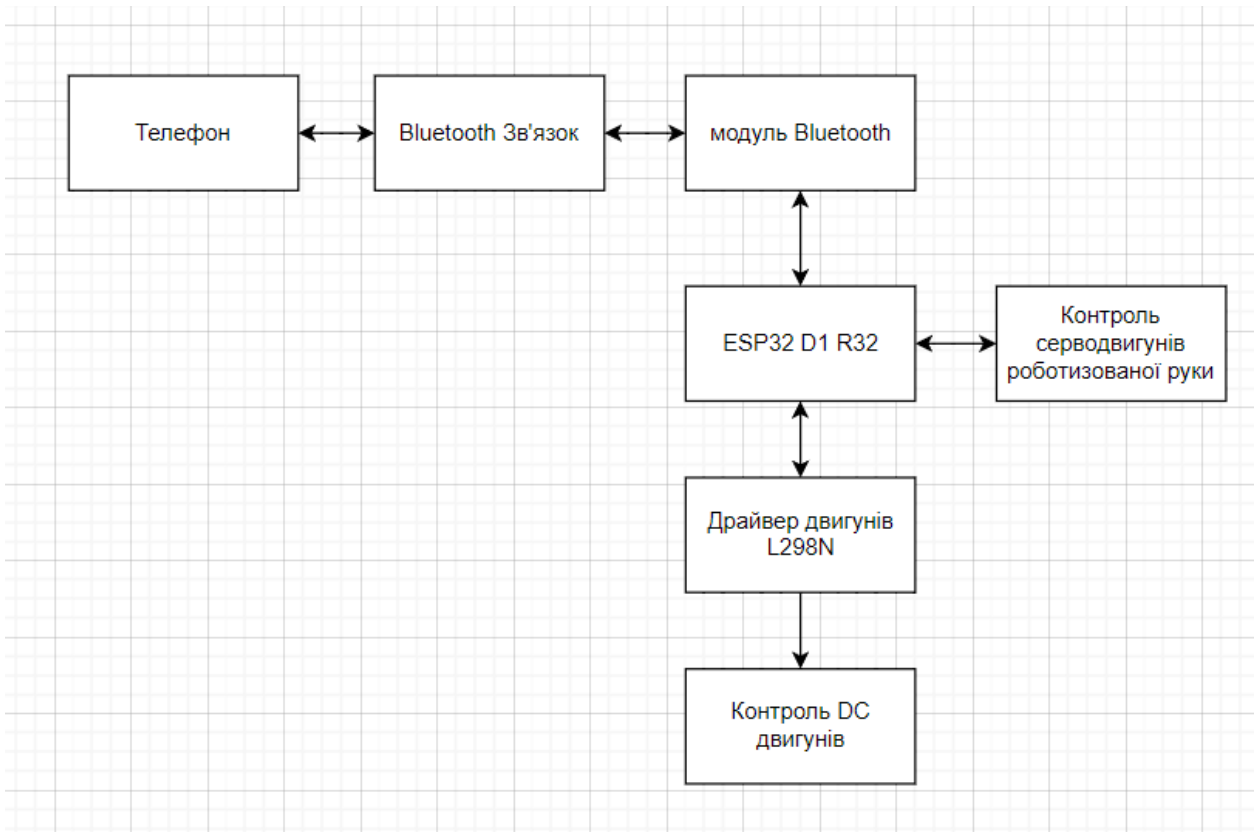


Рисунок 3.23 – Схема системи управління РК

Як можна побачити зв'язок між оператором та РК відбувається через Bluetooth зв'язок. Після чого мікроконтролер ESP32 D1 R32 обробляє команди, які були надіслані від оператора та перетворює їх у дії.

### 3.9 Висновки до розділу

У даному розділі було:

- змодельовано систему для знешкодження ВНП;
- було обрано мікроконтролер для системи управління РК;
- розробка системи управління платформою РК та надання інтерфейсу взаємодії для оператора через мобільний додаток, який взаємодії зі системою управління РК
- оглянуто моделі маніпуляторів для встановлення на РК та обрано потрібну модель;

- розроблено систему управління для шарнірного маніпулятора;
- проаналізовано технічний стек для реалізації системи управління;
- реалізовано змодельвану платформу РК та розроблено систему управління для керуванням напрямком та швидкості платформи РК;
- реалізовано змодельваний маніпулятор та систему управління для нього, також його було адаптовано для встановлення на платформу РК.

## 4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Необхідно забезпечувати ефективні заходи з безпеки праці на всіх етапах трудового процесу, незалежно від сфери діяльності. Забезпечення здорових та безпечних умов праці суттєво залежить від правильної оцінки впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Організм людини може піддаватися значущим змінам з різних причин, таких як робоче середовище, інтенсивне психічне та фізичне навантаження, нервово-емоційний стрес, або їх комбінація. У розділі, присвяченому охороні праці програміста, розглядаються аспекти на етапі розробки ним моделі роботехнічної системи для пошуку та ідентифікації ВВП. Аналіз умов праці підтвердив, що фізичні та психофізіологічні чинники, такі як організація робочого місця, рівень шуму та пилу, та електромагнітне випромінювання, можуть негативно впливати на програмістів у лабораторних умовах.

### 4.2 Організація робочого місця

Приміщення для роботи програміста має площу 30 м<sup>2</sup> та висоту стелі 2 м, в якому розміщено три робочі місця з комп'ютерами. Кожне робоче місце обладнане столом площею 1,3 м<sup>2</sup>, персональним комп'ютером або ноутбуком та комфортним кріслом.

Персональний комп'ютер включає в себе монітор, системний блок, клавіатуру та графічний планшет. Кожне робоче місце відповідає стандартам, займаючи площу 10 м<sup>2</sup> та об'єм 20 м<sup>3</sup>.

Пропозиції щодо поліпшення організації робочого місця програміста включають:

- вибір регульованого робочого столу, якщо це можливо;

- збільшення розмірів робочої поверхні до не менше 1500 мм × 1100 мм;
- наявність простору під столом для комфортної роботи;
- розташування підставки для ніг під кутом 20° до поверхні столу;
- відстань від краю стола до клавіатури повинна бути від 30 см до 70 см;
- відстань до екрану монітора та очей від 50 см до 70 см;

Робочий стілець повинен бути оснащений м'якою підстількою. Висота стільця повинна варіюватися від 46 см до 56 см, висота спинки - не менше 30 см, ширина - не менше 38 см. Рекомендується скорочувати час роботи за монітором і робити перерви на відпочинок очей протягом 50 хвилин при 8-годинній зміні.

#### 4.3 Вплив шуму на роботу програміста

При роботі у приміщенні з великою кількістю робочих місць може виникнути проблема з високим рівнем шуму. Це пояснюється тим, що в системних блоках присутні вінчестер та 4 вентилятори для охолодження, які перевищують допустимий рівень шуму. Крім того, у приміщенні працює різна периферійна техніка, така як клавіатури, графічні планшети, колонки, принтери та телефони, що сприяє виникненню механічних і аеродинамічних шумів, включаючи широкосмугові із аперіодичним підсиленням, наприклад, при роботі принтера.

Орієнтовано на табличні дані у розділі 4.1, еквівалентний рівень шуму для робітника повинен дорівнювати близько 55 дБ, а загальний рівень шуму для комфортної роботи в приміщенні з більше ніж 5 працівниками має бути в межах від 50 дБ до 65 дБ.

Для зниження рівня шуму можна вжити наступні заходи:

- обробка стелі і стін звукопоглинальним матеріалом, що сприятиме зниженню шуму на 6 дБ;
- встановлення перегородок або діафрагм біля кожного робочого місця;

- використання устаткування з меншою генерацією шуму в приміщеннях з комп'ютерами;
- правильне планування приміщення.

#### 4.4 Електробезпека. Статична електрика

Ризики отримання ураження електричним струмом в робочих приміщеннях віднесені до 1 класу підвищеної безпеки, що передбачає належні умови (сухість, відсутність пилу, нормальна температура повітря, ізольована підлога, обмежена кількість заземлених приладів). Робоче місце програміста включає лише металевий корпус системного блоку ПК, який відповідає відповідним стандартам, забезпечений робочою ізоляцією, елементом для заземлення та проводами з заземлюючою жилою для живлення.

Три основні причини ураження людини електричним струмом у закритому приміщенні включають:

- доторкання до металевих корпусів або периферії, що перебуває під напругою через пошкоджену ізоляцію;
- неправильне використання електричних пристроїв;
- відсутність належного інструктажу з питань охорони праці.

Протягом робочого дня корпус комп'ютера може накопичувати статичну електрику. На відстані від 6 см до 11 см від екрана напруга електростатичного поля може перевищувати норму в 10 разів.

Для забезпечення безпеки в робочому приміщенні рекомендується використовувати технічні заходи і засоби захисту, такі як:

- зменшення накопичення статичної електрики за допомогою зволожуючих та нейтралізуючих покриттів підлоги;
- з'єднання металевого корпусу обладнання з заземлюючою жилою;
- забезпечення заземлення корпусу комп'ютера.

Також можливі організаційні заходи, такі як постійний інструктаж з техніки безпеки та заборона використання на робочому місці електричного обладнання, яке не передбачено для цієї мети.

#### 4.5 Проведення атестації робочих місць

На підприємстві проводиться атестація робочих місць у випадках, коли частини технологічного процесу, обладнання, сировина або матеріали негативно впливають на здоров'я працівників. Здійснення атестації відбувається спеціальними комісіями, повноваження яких і персонал визначаються наказом підприємства у визначені терміни, передбачені договором і, загалом, не рідше одного разу за період 4-5 років.

#### 4.6 Проведення медичних оглядів

Згідно зі статтею 169 Кодексу законів про працю, роботодавець, використовуючи власні або підприємства кошти, організовує проведення систематичного медичного обстеження працівників. Додатково, він зобов'язаний проводити щорічний обов'язковий медичний огляд осіб, які не досягли 21 року. Результати медичних оглядів, що мають вигляд висновку фахівця щодо можливості допуску працівника до виконання роботи, фіксуються у їхніх особистих медичних книжках, які зберігаються у роботодавця.

Кожний роботодавець та робітник повинні виявляти інтерес до регулярних медичних оглядів. При прийнятті на роботу нового працівника роботодавцю необхідно провести об'єктивну оцінку стану його здоров'я, що дозволяє визначити потребу в попередньому медичному огляді. У подальшому регулярні періодичні медичні огляди є необхідними для своєчасної виявлення професійних захворювань, визначення впливу негативних факторів на здоров'я та забезпечення здатності працювати персоналу.

#### 4.7 Висновки до четвертого розділу

У цьому розділі проведено дослідження в галузі безпеки праці на етапі розробки програмного модуля. Здійснено аналіз потенційно шкідливих та небезпечних факторів, які можуть впливати на процес роботи. Серед ключових аспектів виділяються наступні:

- організація робочого місця;
- підвищення рівня шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

У підрозділах проведено детальний аналіз значення параметрів та наведено рекомендації з удосконалення умов роботи під час розробки програмного продукту.

## ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи було розроблення прототипу автоматизованої системи управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів (ВНП).

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання:

- проведено аналіз сучасних методів виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів;
- проаналізовано системи управління для роботизованих комплексів для знешкодження вибухонебезпечних предметів;
- змодельовано роботизований комплекс на базі системи управління для знешкодження ВНП.
- реалізовано прототип системи управління для знешкодження ВНП на базі змодельованої моделі роботизованого комплексу.

В результаті розробленої кваліфікаційної роботи було створено повноцінний прототип, який можливо інтегрувати для автоматизації знешкодження вибухонебезпечних предметів за допомогою системи управління та робототехнічного комплексу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП “УкрНДНЦ”. 2016. 30 с. Дата звернення (03.10.2023).

2.Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп’ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкорвайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с. Дата звернення (06.10.2023).

3.Результати роботи пройшли апробацію на збірник матеріалів [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://mts.nure.ua/wp-content/uploads/2023/12/programa\\_v\\_forumu\\_avtomatizacija\\_elektronika\\_ta\\_robototehnika.docx.pdf](https://mts.nure.ua/wp-content/uploads/2023/12/programa_v_forumu_avtomatizacija_elektronika_ta_robototehnika.docx.pdf) Дата звернення (13.10.2023).

4. Розмінування України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2023/09/07/novyna/bezpeka/dsns-rozpovily-yaka-chastyna-terytoriyi-ukrayiny-zabrudnena-vybxonebezpechnymu-predmetamy>. Дата звернення (13.10.2023).

5. Мапа забруднених територій [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mine.dsns.gov.ua>. Дата звернення (13.10.2023).

6. Гуманітарне розмінування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/uk/protiminna-diyalnist/gumanitarne-rozminuvannya> Дата звернення (22.10.2023).

7. Про протимінну діяльність в Україні [Електронний ресурс] : Закон України від 6 грудня 2018 року № 2642-VIII // Верховна Рада України : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://bit.ly/2RD1yF7>. Дата звернення (25.10.2023).

8. Міна ТМ62М [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://issuu.com/national\\_guard\\_of\\_ukraine/docs/manual\\_commander\\_t-64/71](https://issuu.com/national_guard_of_ukraine/docs/manual_commander_t-64/71)  
Дата звернення (27.10.2023).
9. Класифікація мін ТМ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ppt-online.org/1249285> Дата звернення (29.10.2023).
10. Етапи розмінування. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/upload/2/6/8/9/6/5/EvgyR9W0tBTYzldCjhjd5i5wlPhiSNqzwQEaeJ0y.pdf> Дата звернення (03.11.2023).
11. РК для гуманітарного розмінування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/u-dsns-pokazaly-yak-spery-zastosovuyut-robotiv-dlya-rozminuvannya-harkivshhynu/> Дата звернення (05.11.2023).
12. ІЧ зображення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.mdpi.com/2072-4292/10/11/1672?type=check\\_update&version=1](https://www.mdpi.com/2072-4292/10/11/1672?type=check_update&version=1) Дата звернення (07.11.2023).
13. X-ray detection [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ndt.net/article/ecndt02/96/96.htm> Дата звернення (15.11.2023).
14. Магнітний сенсор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/figure/Pinpointing-character-of-the-demining-procedure-CMM-Complex-Magnetic-Marker\\_fig8\\_254057365](https://www.researchgate.net/figure/Pinpointing-character-of-the-demining-procedure-CMM-Complex-Magnetic-Marker_fig8_254057365) Дата звернення (17.11.2023).
15. ROS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ros.org/>  
Дата звернення (19.11.2023).
16. Робототехнічний комплекс [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/%D0%95%D0%9F\\_%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%96%D1%94%D0%B2%D0%B0/page22.html#:~:text=%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%20\(%D0%A0%D0%A2%D0%9A\)%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B4%D0%](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9F_%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%96%D1%94%D0%B2%D0%B0/page22.html#:~:text=%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%20(%D0%A0%D0%A2%D0%9A)%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B4%D0%)

ВВ%D1%8F,%2C%20%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BE%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B2%2C%20%D0%B7%D0%BD%D1%8F%D1%82%D1%82%D1%8F%20%D1%84%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%BA. Дата звернення (21.11.2023).

17. Схема РК та системи керування [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://zbirnyk.vaodessa.org.ua/images/zbirnyk\\_9/03.pdf](http://zbirnyk.vaodessa.org.ua/images/zbirnyk_9/03.pdf) Дата звернення (25.11.2023).

18. Типи системи прийняття рішень [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog\\_13268/objava\\_56689/fajlovi/6\\_1%20Robot%20Control.ppt](https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_13268/objava_56689/fajlovi/6_1%20Robot%20Control.ppt) Дата звернення (25.11.2023).

19. ELRS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.expresslrs.org/> Дата звернення (26.11.2023).

20. Трактор для розмінування. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://agronews.ua/news/na-harkivshhyni-stvoryly-traktor-dlya-dystancijnogo-rozminuvannya/> Дата звернення (26.11.2023).

21. Прототип серійної версії трактору для розмінування [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://mil.in.ua/uk/news/na-harkivshhyni-stvoryly-bezpilotnyj-traktor-rozminuvannya/> Дата звернення (26.11.2023).

22. Маніпулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.universal-robots.com/in/blog/robotic-arm/> Дата звернення (27.11.2023).

23. Система управління маніпулятора [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Pelevin\\_2016\\_258.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Pelevin_2016_258.pdf) Дата звернення (28.11.2023).

24. Міні-калібр [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://icortechtechnology.com/robots/mini-caliber/> Дата звернення (28.11.2023).

25. Система управління робототехнічному комплексу [Електронний

ресурс] – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/236950634\\_Control\\_System\\_of\\_a\\_Demi ning\\_Robot](https://www.researchgate.net/publication/236950634_Control_System_of_a_Demi ning_Robot) Дата звернення (29.11.2023).

26. Конструкція РК [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/90-1.pdf> Дата звернення (02.12.2023).

27. Arduino Uno R3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> Дата звернення (02.12.2023).

28. AVR [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/avr-mcus> Дата звернення (07.12.2023).

29. Wemos D1 mini [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1\\_mini.html](https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html) Дата звернення (07.12.2023).

30. D1 R32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://handsontec.com/dataspecs/module/ESP/WeMos%20D1%20R32.pdf> Дата звернення (10.12.2023).

31. Гусеничне шасі робота [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4485-diy-gysenichnoe-shassi-robota-tank-tp101> Дата звернення (10.12.2023).

32. L298N [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298\\_H\\_Bridge.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf) Дата звернення (12.12.2023).

33. Двигун з редуктором [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3195-motor-s-reduktorom-148-odno-osevoi> Дата звернення (12.12.2023).

34. TP4056 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf> Дата звернення (12.12.2023).

35. Декартовий маніпулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/> Дата звернення

(14.12.2023).

36. Циліндричний маніпулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mwes.com/types-of-industrial-robots/cylindrical-robots/> Дата звернення (14.12.2023).

37. Сферичний маніпулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mwes.com/types-of-industrial-robots/polar-spherical-robots/> Дата звернення (20.12.2023).

38. Шарнірний маніпулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.anthrodesk.ca/blogs/anthrodesk/articulating-arms-how-and-why-they-are-used-with-monitor-mounts#:~:text=Articulating%20arms%20are%20complex%20pieces,swivel%20%20and%20rotate%20without%20effort.> Дата звернення (20.12.2023).

39. PWM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulse-width-modulation#:~:text=Pulse%20width%20modulation%20\(PWM\)%20is,of%20an%20analog%20input%20signal.](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulse-width-modulation#:~:text=Pulse%20width%20modulation%20(PWM)%20is,of%20an%20analog%20input%20signal.) Дата звернення (23.12.2023).

40. MGS90 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/pdf/1106582/ETC/MG90S/1> Дата звернення (23.12.2023).

41. XL4015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiolux.com.ua/files/pdf/XL4015.pdf> Дата звернення (23.12.2023).

42. C++ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cplusplus.com/> Дата звернення (25.12.2023).

43. Arduino IDE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software> Дата звернення (25.12.2023).

44. L298N DC Motor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://robojax.com/learn/arduino/?vid=robojax\\_L298N-DC-Motor](https://robojax.com/learn/arduino/?vid=robojax_L298N-DC-Motor) Дата звернення (25.12.2023).

45. ESP bluetooth [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master> Дата звернення

(25.12.2023).

46. ESP servo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/RoboticsBrno/ServoESP32> Дата звернення (26.12.2023).

47. PLA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla#:~:text=Polylactic%20acid%2C%20also%20known%20as,distillation%20and%20polymerization%20of%20petroleum>. Дата звернення (27.12.2023).

48. Thingiverse [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thingiverse.com/> Дата звернення (27.12.2023).

49. EEZybotARM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thingiverse.com/thing:1015238> Дата звернення (29.12.2023).

50. Bluetooth Electronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.keuw1.com/apps/bluetoothelectronics/> Дата звернення (30.12.2023).