

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Розроблення системи автоматизації для дистанційного керування
роботом-розмінувальником
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-2
Курбанов Н. Р.
(прізвище, ініціали)

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

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Хрустальова С. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

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

Тип програми освітньо-професійна

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«20» червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Курбанову Нікіті Равільовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником

затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 544 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Дані про види роботів-розмінувальників, дані про системи керування, дані про класифікацію та методи знешкодження ВП

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

1) Аналіз існуючих методів, засобів та систем дистанційного керування роботом-розмінувальником

2) Автоматизована система керування роботом-розмінувальником

3) Реалізація системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником у вигляді програмного забезпечення

4) Комп'ютерне моделювання передавальної функції двигуна постійного струму

5) Безпека праці

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(*.pptx)

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до кваліфікаційної роботи	10.01.24	виконано
2	Вступ	25.01.24	виконано
3	Аналіз існуючих методів дистанційного керування роботом-розмінувальником	20.03.24	виконано
4	Розроблення структурної схеми системи автоматизації дистанційного керування	17.04.24	виконано
5	Реалізація системи автоматизації у вигляді програмного забезпечення	23.05.24	виконано
6	Комп'ютерне моделювання передавальної функції двигуна постійного струму	27.05.24	виконано
7	Безпека праці	29.05.24	виконано
8	Висновки	05.06.24	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом StrikePlagiarist	14.06.24	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	15.06.24	виконано
11	Подання роботи на рецензію	17.06.24	виконано
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри	18.06.24	виконано
13	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	20.06.24	виконано

Дата видачі завдання 10.01.2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Курбанов Н. Р.
(прізвище, ініціали)

доцент Хрустальова С. В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 130 с., 5 табл., 63 рис., 4 дод., 23 джерела.

УПРАВЛІННЯ, РОБОТ, РОЗМІНУВАННЯ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, МІКРОКОНТРОЛЕР.

Об'єктом розробки є процес керування роботом-розмінувальником.

Предметом розробки є система автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності дистанційного керування роботом-розмінувальником.

В ході роботи було проаналізовано існуючі системи дистанційного керування роботами-розмінувальниками та процес розмінування. В цей аналіз входить дослідження видів роботів-розмінувальників, класів вибухонебезпечних предметів, способи їх виявлення та знешкодження. На базі цього аналізу було розроблено систему автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником.

Результатом роботи є програмний засіб для робота розмінувальника, модуля автоматизації та пульта керування.

Також отримані результати відповідають переліку Цілей сталого розвитку, зокрема Цілі 11 Сталий розвиток міст та громад (п. 11.4 та 11.5).

THE ABSTRACT

Explanatory note: 130 p., 5 tables, 63 fig., 4 add., 23 sources.

CONTROL, ROBOT, DEMINING, EXPLOSIVE OBJECTS,
MICROCONTROLLER.

The object of development is the process of controlling the robot deminer.

The subject of development is an automation system for remote control of a robot deminer.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the remote control of the robot deminer.

In the course of the work, the existing systems of remote control of demining robots and the demining process were analyzed. This analysis includes the study of types of demining robots, classes of explosive objects, methods of their detection and disposal. Based on this analysis, an automation system was developed for remote control of the robot deminer.

The result of the work is a software for the robot deminer, the automation module and the control panel.

Also, the obtained results correspond to the list of Goals of sustainable development, in particular, Goal 11 Sustainable development of cities and communities (clauses 11.4 and 11.5).

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	10
Вступ.....	11
1 Аналіз існуючих методів, засобів та систем дистанційного керування роботом-розмінувальником.....	13
1.1 Типи роботів-розмінувальників.....	13
1.1.1 Наземні роботи розмінувальники.....	13
1.1.2 Підводні роботи-розмінувальники.....	15
1.1.3 Літальні роботи-розмінувальники.....	16
1.2 Аналіз класів вибухонебезпечних предметів.....	18
1.2.1 Авіаційні ракети.....	19
1.2.2 Артилерійські снаряди.....	19
1.2.3 Балістичні ракети.....	20
1.2.4 Касетні боєприпаси.....	21
1.2.5 Авіаційні бомби.....	22
1.2.6 Мінометні міни.....	23
1.2.7 Протитанкові керовані ракети.....	23
1.2.8 Реактивні снаряди.....	24
1.2.9 Ручні гранати.....	25
1.2.10 Постріли осколкової гранати.....	26
1.2.11 Протипіхотні міни осколкової дії.....	26
1.2.12 Протипіхотні фугасні міни.....	27
1.2.13 Протитанкові міни фугасної дії.....	28
1.2.14 Протитанкові міни дистанційного мінування.....	28
1.2.15 Міни пастки.....	29
1.3 Аналіз процесу виявлення ВП та сенсорних технологій в роботах-розмінувальниках.....	30
1.4 Аналіз систем керування роботами-розмінувальниками.....	31
1.5 Аналіз існуючих модулів дистанційного керування.....	32

1.5.1 Комплексний командний портал X500.....	32
1.5.2 Наземна система керування Robo Command.....	34
1.5.3 Модулі дистанційного керування Tactical Robot Controller та Universal Controller-LITE.....	35
2 Розроблення структурної схеми та алгоритму роботи автоматизованої системи для дистанційного керування роботом-розмінувальником	37
2.1 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи керування роботом-розмінувальником.....	37
2.2 Вибір компонентів для системи дистанційного керування роботом-розмінувальником.....	41
2.2.1 Мікроконтролери.....	41
2.2.1.1 Сімейство Arduino.....	42
2.2.1.2 Мікроконтролери STM8 та STM32.....	43
2.2.1.3 Серія мікроконтролерів ESP.....	43
2.2.1.4 Мікроконтролери Raspberry PI.....	44
2.2.2 Дисплей.....	47
2.2.3 Живлення.....	48
2.2.4 Датчики відстані.....	49
2.3 Реалізація апаратної частини системи дистанційного керування роботом-розмінувальником.....	50
2.3.1 Реалізація апаратної частини системи керування.....	50
2.3.2 Виготовлення апаратної частини пульта керування.....	52
3 Реалізація системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником у вигляді програмного забезпечення.....	53
3.1 Вибір середовища програмування.....	53
3.2 Навчання модуля автоматизації розпізнаванню ВП.....	55
3.3 Алгоритм роботи програмного засобу.....	58
3.4 Експериментальна частина.....	60
3.4.1 Тестування роботи пульта керування.....	60
3.4.2 Симуляція виконання алгоритму обминання перешкод.....	62

3.4.3 Тестування розпізнавання ВП.....	64
4 Комп'ютерне моделювання передавальної функції двигуна постійного струму.....	66
5 Охорона праці.....	69
5.1 Аналіз умов праці.....	69
5.2 Методи запобігання та усунення негативних факторів.....	71
5.2.1 Засоби колективного та індивідуального захисту.....	71
5.2.2 Ергономіка та психологія праці.....	71
5.2.3 Надзвичайні ситуації та аварійна готовність.....	72
5.2.4 Організація роботи з охорони праці.....	72
Висновки.....	73
Перелік джерел посилання.....	74
Додаток А Лістинг програмного коду пульта керування.....	77
Додаток Б Лістинг програмного коду системи керування роботом-розмінувальником.....	82
Додаток В Лістинг програмного коду модуля автоматизації.....	111
Додаток Г Демонстраційний матеріал.....	123

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ВП – вибухонебезпечний предмет;

ВР – вибухонебезпечна речовина;

ДСНС – державна служба України з надзвичайних ситуацій;

ДСТУ – державні стандарти України;

САУ – система автоматичного управління;

СК – система керування;

IDE – integrated development environment.

ВСТУП

На сьогоднішній день, необхідність у розмінуванні забруднених вибухонебезпечними предметами територій має високий пріоритет. Заміновані простори заважають пересуванню, відновленню інфраструктури та сільського господарства. В зонах проведення інтенсивних боїв, досі знаходяться нерозірвані снаряди, міни та саморобні вибухівки, замасковані під звичайні предмети. Розмінування передбачає комплексний підхід до всього району проведення бойових дій і включає обстеження всієї території, виявлення проблемних ділянок, виявлення мінно-вибухонебезпечних залишків та їх очищення. Після гуманітарного розмінування місцевість стає повністю придатною для цивільного використання [1]. Їх знешкодження займе ще не один десяток років, але вже зараз, державна служба України з надзвичайних ситуацій, національна гвардія та національна поліція ризикують життям під час розмінування. Невід'ємною частиною цієї роботи стали роботи-розмінувальники, що допомагають виявити та знешкодити вибухівку. Для ефективної роботи з цими роботами використовують надійні модулі дистанційного керування. Основною їх задачею є керування пересуванням робота та роботою маніпулятора, трансляція зображення з камер та слідкування за поточним станом робота. Вдосконалення модулів дистанційного керування призведе до зменшення ризиків виникнення травм та загибелі серед спеціальних служб з розмінування, та допоможе швидше та ефективніше відновлювати забруднені вибухонебезпечними предметами території.

Мета роботи – підвищення ефективності дистанційного керування роботом-розмінувальником.

Об'єкт розробки – процес керування роботом-розмінувальником.

Предмет розробки – автоматизований модуль дистанційного керування роботом-розмінувальником.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз існуючих методів, засобів та систем дистанційного

керування роботами-розмінувальниками;

– розробити структурну схему системи дистанційного керування роботом-розмінувальником;

– провести підбір елементної бази;

– розробити алгоритм роботи системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником;

– обрати мову та середовище програмування та реалізувати систему автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником у вигляді програмного засобу;

– оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [2], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [3].

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОМ-РОЗМІНУВАЛЬНИКОМ

1.1 Типи роботів-розмінувальників

На сьогоднішній день, роботи-розмінувальники стали невід'ємною частиною в роботі саперів. Їх можна класифікувати за різними критеріями, такими як механізація, тип місцевості, розмір та призначення. Основні типи роботів-розмінувальників включають наземні, підводні та літальні. Всі ці роботи допомагають зменшити ризики отримання важких поранень або навіть смертей під час розмінування. Кожен тип робота-розмінувальника має свої переваги та обмеження, і вибір конкретного типу залежить від конкретних умов та завдань розмінування.

1.1.1 Наземні роботи-розмінувальники

Такий вид роботів є найпопулярнішим. Це логічно, тому що на суші найбільше роботи, яку треба виконувати. І вона дуже різноманітна. А значить і машини, що її виконують, мають велику кількість різновидів [4]. Наземні роботи-розмінувальники можуть бути різних типів, включаючи роботів на гусеничному та колісному ході. Вони часто використовуються для роботи в умовах міської забудови або на теренах з великою кількістю перешкод. Наземні роботи-розмінувальники вимагають великої уважності, професійності та технічної обізнаності, оскільки неправильна обробка ВП може призвести до серйозних наслідків. До основних завдань наземних роботів відносять:

- виявлення ВП на поверхні землі за допомогою різноманітних технічних засобів, таких як металошукачі, рентгенівські пристрої, сонари тощо;
- визначення типу та стану знайдених ВП для подальшої обробки;
- фіксація всіх дій та знайдених об'єктів для подальшого аналізу та створення звітів.

Яскравим прикладом робота на гусеничному ході є Digital Vanguard-S (рис. 1.1), що з початку війни в Україні набув популярності серед спеціальних служб з розмінування.



Рисунок 1.1 – Digital Vanguard-S

Робот Digital Vanguard є надійним, універсальним та кваліфікованим у виконанні критично важливого спектру правоохоронних та військових завдань. Він керується за допомогою інтегрованого командного порталу x500 [5]. Його модульна конструкція і передовий дизайн роблять обслуговування і підтримку в польових умовах простою та недорогою. Завдяки бездротовому та дротовому з'єднанню Digital Vanguard-S може працювати до 5 годин і виконувати різноманітні завдання – дистанційно знищувати вибухонебезпечні предмети або проводити розвідку місцевості. Він має три встановлені камери, завдяки яким оператор слідкує за проведенням маніпуляцій, отримує у режимі реального часу чітке та якісне зображення місця проведення робіт. Такі технологічні можливості надають йому змогу не підходити близько до вибухонебезпечних предметів. А завдяки невеликим габаритам та маневрованості, роботи можуть використовуватися у важкодоступних місцях [6].

До роботів-розмінувальників на колісному ході відноситься Bozena 4 (рис. 1.2) від компанії Way Industries.



Рисунок 1.2 – Bozena 4

Bozena 4 призначена для знешкодження протитанкових мін, що мають як натиск, так і тротиловий запал, а також для знешкодження протитанкових мін, які містять не більше дев'яти кг заряду тротилу. Система здатна знешкоджувати міни між будівлями, уздовж доріжок, на плантаціях, навколо постійних перешкод і там, де земля не витримує важких вантажів. Вантажівка, що тягне причіп із Bozena 4, транспортує її між робочими зонами. Кабіна з кондиціонером і броньована кабіна розташована на кузові вантажівки, щоб оператор міг маневрувати Bozena 4 у межах видимості, також може бути забезпечена захищена система дистанційної камери. Bozena 4 захищена броньованим металевим покриттям і щитом безпосередньо за ціпом у передній частині транспортного засобу, що забезпечує захист від пошкоджень від детонації [7].

1.1.2 Підводні роботи-розмінувальники

Підводні роботи-розмінувальники використовуються для розмінування водних середовищ, таких як моря, океани, річки та озера, та інших важкодоступних місць, де доступ людини обмежений. Вони можуть бути обладнані спеціалізованими сенсорними системами для виявлення вибухонебезпечних предметів та інших об'єктів під водою. Підводні роботи-розмінувальники є надзвичайно важливими для забезпечення безпеки морських та водних шляхів, а також для захисту важливих інфраструктурних об'єктів, таких як порти, підводні

кабелі тощо. Вони дозволяють зменшити ризик вибухів та подальших негативних наслідків для людей та довкілля у водних середовищах. Дані машини є дуже спеціалізованими і досить рідкісними, порівняно з наземними чи навіть із повітряними роботами, так як покликані вирішувати дуже вузьке коло задач [4]. До основних завдань підводних роботів відносять:

- виявлення ВП за допомогою використання спеціалізованих підводних сенсорів, які можуть виявляти металеві об'єкти або зміни в рельєфі дна для локалізації нерозірваних вибухівок;
- проведення візуального або дистанційного обстеження підводних об'єктів для виявлення підозрілих предметів;
- видалення знайдених нерозірваних вибухівок або мін з водного середовища для подальшої обробки або знищення.

Прикладом підводного робота-розмінувальника є Seafox (рис. 1.3) розроблений німецькою компанією Atlas Elektronik. Seafox – це безпілотний підводний апарат, розроблений для виявлення та нейтралізації ВП у водному середовищі. Він оснащений камерою для візуального спостереження та маніпулятором для маніпулювання об'єктами на дні моря [8].



Рисунок 1.3 – Seafox

1.1.3 Літальні роботи-розмінувальники

Літальні роботи-розмінувальники, такі як безпілотні літальні апарати, використовуються для виявлення вибухонебезпечних предметів з повітря. Вони

можуть бути оснащені високоякісними камерами та сенсорами для зйомки відео та виявлення теплових змін. Літальні роботи-розмінувальники відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки та вибухонебезпеки територій, особливо у зоні конфліктів або після війни. Вони дозволяють швидко та ефективно виявляти та нейтралізувати потенційно небезпечні об'єкти, зменшуючи ризик для життя та здоров'я людей. До основних завдань літальних роботів відносять:

- перегляд та обстеження великих територій з висоти для виявлення підозрілих об'єктів або вибухонебезпечних предметів;
- виявлення ВП на поверхні землі за допомогою різноманітних сенсорів, таких як теплові камери, рентгенівські пристрої, магнітні детектори тощо;
- проведення контрольованих вибухів за допомогою спеціальних засобів, таких як калібровані заряди, для безпечного підриву знайдених ВП;
- керування наземними роботами-розмінувальниками, які можуть бути викликані для подальшого дослідження та нейтралізації підозрілих об'єктів.

Цікавим представником БПЛА з Данії є Noa (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Noa

Noa – це сучасні безпілотники, призначені для технічного огляду територій перед проведенням робіт з розмінування. Вони є універсальним дистанційно керованим літальним апаратом, оснащеним шістьма нестандартними роторами Асесорге збільшеного розміру. Це дозволяє дрону літати протягом тривалих періодів часу з різним корисним навантаженням. Noa оснащені сканерами, що здатні виявляти магнітні аномалії в землі, воді та на поверхні. При цьому сенсори можуть

отримувати інформацію про металеві предмети на глибині до 3 метрів [9].

1.2 Аналіз класів вибухонебезпечних предметів

Вибухонебезпечні предмети поділяються на різні класи в залежності від їхнього призначення, конструкції, характеристик матеріалів та потенційної небезпеки, яку вони представляють. Їх можна виявити на землі у лісі, на полі після розмиву ґрунту дощовими водами, а також на дні річок. Розуміння класифікації вибухонебезпечних предметів є важливим для саперів та інших фахівців, що займаються їхнім розмінуванням та безпекою.

Вибухові речовини – хімічні з'єднання або суміші, здатні під впливом певних зовнішніх дій (нагрівання, удар, тертя, вибух іншого вибухового пристрою) до швидкого хімічного перетворення, що самі розповсюджуються з виділенням великої кількості енергії та утворенням газів.

Боєприпаси – вироби військової техніки одноразового вживання, призначені для враження живої сили супротивника: бойові частки ракет, авіаційні бомби, артилерійські боєприпаси (снаряди, міни), інженерні боєприпаси (протитанкові і протипіхотні міни), ручні гранати, стрілецькі боєприпаси (набої до пістолетів, карабінів, автоматів тощо).

Піротехнічні засоби: патрони (сигнальні, освітлювальні, імітаційні, спеціальні), вибухові пакети, петарди, ракети (освітлювальні, сигнальні), гранати, димові шашки.

Саморобні вибухові пристрої – пристрої, в яких застосований хоча б один елемент конструкції саморобного виготовлення: саморобні міни-пастки, міни-сюрпризи, що імітують предмети домашнього побуту, дитячі іграшки або речі, що привертають увагу.

1.2.1 Авіаційні ракети

Авіаційні ракети (рис. 1.5) – це тип авіаційного озброєння, що використовується з літальних апаратів для знищення наземних, морських і

повітряних цілей. Конструктивно авіаційна ракета складається з бойової частини (зі звичайним або ядерним зарядом), реактивного двигуна, оперення та крил (у крилатих ракетах).



Рисунок 1.5 – Авіаційна ракета «повітря – поверхня» Х-31

За бойовим призначенням авіаційні ракети поділяються на класи «повітря – поверхня» і «повітря – повітря», а за можливістю корекції траєкторії польоту – на некеровані та керовані.

Характерні ознаки авіаційних ракет:

- мають довжину понад 2 метри;
- у своїй конструкції мають реактивний двигун, стабілізатори у вигляді лопатей та додаткові рулі для корегування ракети на польоті [10].

1.2.2 Артилерійські снаряди

Артилерійський снаряд (рис. 1.6) – це ключовий компонент артилерійського пострілу, призначений для ураження цілей або виконання інших завдань, таких як освітлення, задимлення тощо. Снаряд складається з корпусу, спорядження та детонатора, і характеризується потужністю вибуху, далькострієльністю, безпекою при стрільбі, стійкістю при зберіганні та іншими показниками.



Рисунок 1.6 – Артилерійський снаряд БК-5(М) 100 мм

За конструкцією артилерійські снаряди поділяються на активні та активно-реактивні. Вони бувають основного, спеціального та допоміжного призначення. До основного призначення належать бронебійні, фугасні та осколково-фугасні снаряди. До спеціального – освітлювальні, димові та хімічні.

Характерні ознаки артилерійських снарядів:

- зустрічаються артилерійські снаряди наступних калібрів: 23 мм, 30 мм, 45 мм, 76 мм, 85 мм, 100 мм, 105 мм, 115 мм, 122 мм, 125 мм та 152 мм;
- споряджаються вибухниками або дистанційними трубками;
- мають стабілізатори у вигляді пояску на корпусі снаряду або у вигляді відкидного оперення [10].

1.2.3 Балістичні ракети

Балістична ракета (рис. 1.7) – це тип ракетної зброї, яка більшу частину польоту здійснює по некерованій балістичній траєкторії, на яку впливає лише аеродинамічний опір.



Рисунок 1.7 – Балістична ракета 9М79 ТОЧКА-У

На активній ділянці польоту система керування забезпечує балістичній ракеті необхідну швидкість і напрямок. Велика дальність польоту (понад 5000 км) призводить до виходу за межі атмосфери в середній ділянці траєкторії. Після вимкнення двигуна бойова частина, що є корисним навантаженням ракети, продовжує рух по балістичній траєкторії.

Балістичні ракети можуть бути багатоступеневими, де після досягнення потрібної швидкості відпрацьовані ступені відокремлюються, зменшуючи поточну вагу ракети і дозволяючи збільшити її швидкість.

Характерні ознаки балістичних ракет:

- мають довжину понад 3 метри;
- у своїй конструкції мають реактивний двигун, стабілізатори у вигляді лопатей та додаткові рулі для корегування ракети на польоті [10].

1.2.4 Касетні боєприпаси

Касетні боєприпаси (рис. 1.8) – це снаряди, ракети або бомби, які містять контейнери, що відкриваються в повітрі та розкидають велику кількість малокаліберних бомб на широкій території. Одна касетна бомба може містити щонайменше 10 мін і дрібних деталей на спеціальних стінках-перегородках. Ці боєприпаси мають широкий спектр дії та призначені для ураження живої сили або знищення колони військової техніки.



Рисунок 1.8 – Касетний боєприпас 9н210

Характерні ознаки касетних бойових елементів:

- мають невеликий розмір, деякі з них схожі на алюмінієві банки;
- комплектуються вибухниками ударної дії з механізмами самоліквідації;
- комплектуються стабілізаторами у вигляді стрічок, парашутів або оперення [10].

1.2.5 Авіаційні бомби

Авіаційна бомба (рис. 1.9) – це вид авіаційних боєприпасів, які скидаються з літака або іншого літального апарата. Вони відокремлюються від тримачів під дією сили тяжіння або з невеликою швидкістю примусового відділення, після чого падають на ціль. Авіаційні бомби призначені для завдання ударів по наземних або морських об'єктах.



Рисунок 1.9 – Авіабомба ФАБ-500 м54

Характерні ознаки авіаційних бомб

- мають великий розмір та вагу;
- виготовлені у вигляді циліндру, каплеподібні;
- мають підвісні засоби;
- мають стабілізатори у вигляді парашуту або лопатей;
- споряджаються вибухниками в головній або в донній частині [10].

1.2.6 Мінометні міни

Мінометні міни (рис. 1.10) застосовуються для різних цілей. Окрім фугасних, існують також хімічні, запалювальні, освітлювальні, агітаційні та інші види мін. Міномет Лівенса часто називають «газометом», оскільки з нього випускали балони з отруйними газами. Самохідна артилерійська установка «Штурмтигр» отримала назву «бомбомет» через стрільбу ракетними снарядами. Агітаційна міна не вибухає; на певній висоті спрацьовує заряд, і вона розкривається, розсіюючи листівки та інші матеріали. Освітлювальні міни викидають парашут і запалюють освітлювальний заряд на вершині траєкторії.

Заряди для мінометів включають: уламкові міни, уламково-фугасні міни, димові міни, запалювальні міни, активно-реактивні фугасні міни, уламкові касетні активно-реактивні міни та освітлювальні міни.



Рисунок 1.10 – Мінометна міна 82 мм

Характерні ознаки мінометних мін:

- зустрічаються мінометні міни наступних калібрів: 60 мм, 82 мм та 120 мм;
- споряджаються вибухниками або дистанційними трубками;
- мають стабілізатори у вигляді оперення [10].

1.2.7 Протитанкові керовані ракети

Протитанкова керована ракета (рис. 1.11) – це вид протитанкової зброї, який є складовою частиною протитанкового ракетного комплексу. Вона представляє собою твердопаливну ракету з кумулятивною бойовою частиною, траєкторія

польоту якої корегується за командами оператора або за допомогою власної голівки самонаведення.



Рисунок 1.11 – ПТКР 9М111 Фагот

Характерні ознаки протитанкових керованих ракет:

- комплектуються вибухниками ударної дії з самоліквідаторами;
- мають стабілізатори у вигляді оперення;
- деякі з ракет мають проводи, що ідуть від пускової установки;
- транспортуються у транспортно-пускових установках [10].

1.2.8 Реактивні снаряди

Реактивний снаряд (рис. 1.12) – це снаряд для реактивної артилерії наземного, морського або повітряного базування, який досягає мети завдяки тязі власного реактивного двигуна.



Рисунок 1.12 – Реактивний снаряд 122 мм Град

Характерні ознаки реактивних снарядів:

- мають довжину понад 2 метри;
- споряджаються вибухниками або дистанційними трубками (300 мм

Смерч споряджаються блоками управління);

- мають стабілізатори у вигляді відкидного оперення;
- споряджаються різними бойовими частинами (касетними, осколково-фугасними, запальними тощо) [10].

1.2.9 Ручні гранати

Ручна граната (рис. 1.13) – це один з видів гранат, який представляє собою вибуховий боєприпас, призначений для ураження живої сили противника шматками та ударною хвилею, що утворюються від вибуху, спричиненого ручним метанням. Сучасні ручні гранати складаються з корпусу, заряду вибухових речовин і детонатора. Ураження наноситься шматками корпусу, ударною хвилею або кумулятивним струменем. Вони зазвичай виготовляються з легких сплавів, матеріалів з високою міцністю та пластмаси.



Рисунок 1.13 – Ручна граната РГД-5

Характерні ознаки ручних гранат:

- мають невеликий розмір;
- комплектуються запалами дистанційної або ударно-дистанційної дії;
- зустрічаються випадки встановлення ручних гранат на розтяжку [10].

1.2.10 Постріли осколкової гранати

Характерні ознаки пострілів осколкової гранати (рис. 1.14):

- мають невеликі розміри;
- у своїй конструкції мають вишибні заряди;
- мають стабілізатори у вигляді пояску на корпусі пострілу;
- комплектуються вибухниками з механізмами самоліквідації [10].



Рисунок 1.14 – Осколкова граната ВОГ-25

1.2.11 Протипіхотні міни осколкової дії

Характерні ознаки протипіхотних мін осколкової дії (рис. 1.15):

- в більшості випадків встановлюються на поверхні або у товщі ґрунту та маскуються;
- встановлюються міни на розтяжку або у керованому вигляді;
- деякі міни (ОЗМ-72 або ПОМЗ-2М) мають вигляд сталевих банок;
- міни МОН-100 та МОН-200 мають форму випуклого круга;
- можуть використовуватись разом з мінами-пастками;
- деякі міни споряджаються механізмами самоліквідації [10].



Рисунок 1.15 – Протипіхотна міна осколкової дії ПОМЗ-2М

1.2.12 Протипіхотні фугасні міни

Протипіхотна міна (рис. 1.16) – це інженерний боєприпас, створений для ураження ворожих піхотних сил за допомогою вибухових речовин. У фугасних протипіхотних мінах використовуються детонатори натискної дії. Вони складаються з заряду вибухової речовини, детонатора (замикача), датчика цілі, підривника і корпусу, який може бути виготовлений з металу, дерева або пластмаси. Існують також безкорпусні конструкції, які складаються з вибухової речовини підвищеної міцності.



Рисунок 1.16 – Протипіхотна міна ПМН-2

Деякі типи протипіхотних мін мають запобіжники для безпечної установки, елементи невитягуваності та незнешкоджуваності, що ускладнюють зняття та знешкодження, а також самоліквідатори, що викликають вибух міни або переводять її в безпечний стан через заданий проміжок часу.

Характерні ознаки протипіхотних мін фугасної дії:

- в більшості випадків встановлюються на поверхні або у товщі ґрунту та маскуються;
- міни натискної дії;
- корпус міни з пластику, датчики цілі у мінах являється верхня частина міни у вигляді диску або хрестовини (ПМН-2);
- можуть використовуватись разом з мінами-пастками;
- деякі міни (дистанційного мінування ПФМ-1С) споряджаються механізмами самоліквідації [10].

1.2.13 Протитанкові міни фугасної дії

Протитанкова міна (рис. 1.17) – це інженерний боєприпас, призначений для знищення або відключення танків та інших броньованих машин противника. Сучасні протитанкові міни, які використовуються в арміях багатьох країн, частіше мають безкорпусну конструкцію та використовують детонатори з пластмаси. Такі міни не спрацьовують під впливом індукційних міношукачів і зазвичай не є небезпечними для розвідників, оскільки активуються тільки під тиском вагою не менше 180 кг.



Рисунок 1.17 – Протитанкова міна ТМ-62ПЗ

Характерні ознаки протитанкових мін фугасної дії:

- в більшості випадків встановлюються на поверхні або у товщі ґрунту та маскуються;
- в більшості випадків корпус міни сталевий (міна ТМ-62ПЗ (рис. 1.17) корпус з поліетилену);
- можуть використовуватись разом з мінами-пастками;
- споряджаються різними типами вибухників: натискної дії та вибухники, що працюють за принципом зміни електромагнітного поля (спрацьовують від металевих предметів, які знаходяться поряд) [10].

1.2.14 Протитанкові міни дистанційного мінування

Характерні ознаки протитанкових мін дистанційного мінування (рис. 1.18):

- встановлюються міни за допомогою засобів дистанційного мінування на поверхні ґрунту;
- мають датчик цілі у вигляді корпусу міни;

- пластиковий (ПТМ-1Г) або металевий (ПТМ-3 та ПТМ-4) корпус;
- мають механізми самоліквідації;
- міни ПТМ-3 та ПТМ-4 мають вибухники, які працюють за принципом зміни електромагнітного поля (спрацьовують від металевих предметів, які знаходяться поряд) [10].



Рисунок 1.18 – Протитанкова міна дистанційного мінування ПТМ-3

1.2.15 Міни пастки

Міна-пастка (рис. 1.19) – це спеціальний тип інженерної або морської міни, яка приховується під безпечним предметом, здатним привернути увагу військовослужбовця противника або цивільної особи, що не має відношення до військових дій. Вона розміщується в найбільш відвідуваних місцях з метою завдання максимальної шкоди або створення хаосу серед військ противника. Міна-пастка може приймати будь-який зовнішній вигляд або матеріал і бути спроектованою так, щоб убивати або завдавати ушкоджень. Вона спрацьовує раптово, коли людина торкається чи наближається до видимо безпечного предмета або виконує видимо безпечну дію.



Рисунок 1.19 – Міна-пастка МЛ-7

Характерні ознаки мін пасток:

- мають невеликий розмір;
- працюють за принципом розвантаження [10].

1.3 Аналіз процесу виявлення ВП та сенсорних технологій в роботах-розмінувальниках

Першочерговою задачею роботів-розмінувальників є розвідка території. Роботи спочатку здійснюють розвідку території, де можуть знаходитися вибухонебезпечні пристрої. Це може бути здійснено наземним роботом або за допомогою безпілотних літальних апаратів з висоти.

Далі, роботи-розмінувальники виявляють об'єкти, які можуть бути вибухонебезпечними. Для досягнення цієї мети вони використовують різноманітні типи сенсорів та датчиків такі як металошукачі, теплові камери, рентгенівські пристрої тощо.

Металошукачі – це один з найпоширеніших типів сенсорів, які використовуються в роботах-розмінувальниках. Вони працюють за принципом виявлення металевих предметів у ґрунті або на поверхні землі. Це може бути корисно для виявлення металевих корпусів ВП або інших об'єктів, які містять металеві складові.

Теплові камери – це інший важливий тип сенсорів, які використовуються в роботах-розмінувальниках. Вони здатні виявляти теплові зміни, що можуть вказувати на наявність ВП або інших об'єктів, які можуть виділяти тепло.

Радіохімічні детектори – це сенсори, які використовуються для виявлення радіоактивних матеріалів, які можуть бути використані в піротехніці та інших вибухонебезпечних пристроях.

Газові детектори – це сенсори, які використовуються для виявлення газів, що можуть виділятися під час розмінування вибухонебезпечних об'єктів, таких як нітрогліцерин.

Також існує спосіб виявлення ВП за допомогою розпізнавання об'єктів на зображеннях. Цей процес вимагає високої швидкодії та точності, оскільки неправильне розпізнавання може призвести до небезпеки для операторів та навколишнього середовища. Завдяки поєднанню технологій комп'ютерного зору та машинного навчання роботи-розмінувальники можуть ефективно виявляти та ідентифікувати ВП з високою точністю.

Після збору даних сенсорів робот-розмінувальник аналізує цю інформацію, щоб виявити підозрілі об'єкти. Алгоритми обробки даних допомагають відрізнити потенційно небезпечні предмети від невідомих предметів або металевих сміття. У разі виявлення підозрілого об'єкта робот-розмінувальник може використовувати свої маніпулятори для більш детального обстеження або видалення предмета з небезпечної зони.

Після виявлення підозрілого об'єкта робот-розмінувальник повинен прийняти рішення щодо подальших дій. Це може бути рішення про знешкодження пристрою на місці, видалення його з місця з допомогою спеціальних засобів або ізоляцію об'єкта для подальшого дослідження.

Завдяки конструкції роботів-розмінувальників, що включає в себе знешкоджувач вибухонебезпечних предметів, сапери здатні створювати контрольовані вибухи для нейтралізації знайдених, за допомогою сенсорів, ВП без ризиків для власного життя та здоров'я. Якщо після виявлення ВП, було прийняте рішення про знешкодження пристрою на місці, маніпулятор позиціонує знешкоджувач над об'єктом. Сам нейтралізатор, частіш за все, заснований на принципі лазерного нагрівання, що має змусити наповнювач ВП вибухнути. Опромінення лазером відбуватиметься до тих пір, поки температура вибухонебезпечної речовини не перевищить температуру її горіння.

1.4 Аналіз систем керування роботами-розмінувальниками

Системи керування грають ключову роль у роботах-розмінувальниках, дозволяючи операторам управляти роботами та виконувати різні завдання. Вони

можуть бути розділені на декілька типів, включаючи дистанційне керування, автономну навігацію та гібридні системи.

Дистанційне керування – це один з найпоширеніших методів керування роботами-розмінувальниками. Він полягає у тому, що оператор керує роботом з відстані за допомогою радіопередавача або іншого засобу зв'язку. Це дозволяє оператору керувати роботом у реальному часі та виконувати різні завдання розмінування.

Автономна навігація – це метод керування, при якому робот може самостійно планувати та виконувати маршрути розмінування без прямого втручання оператора. Для досягнення цього роботи можуть бути обладнані системами штучного інтелекту та навігації.

Гібридні системи – це комбінація дистанційного керування та автономної навігації. Вони дозволяють оператору керувати роботом у реальному часі та водночас надають роботу певну ступінь автономії для виконання різних завдань розмінування.

1.5 Аналіз існуючих модулів дистанційного керування

Всі, перераховані раніше, роботи керуються за допомогою станцій управління (модулів дистанційного керування). Оператор, залишаючись на безпечній відстані від замінованої території, передає команди розмінувальнику, що виконає всю небезпечну роботу. Управління роботами зазвичай здійснюється вручну, але деякі модулі, завдяки вбудованій функції розпізнавання голосу та підтримці багатьох мов, мають функцію керування голосом. Оператор має видавати чіткі команди, що вже містяться у базі даних.

1.5.1 Комплексний командний портал X500

Комплексний командний портал X500 (рис. 1.20) розроблений спеціально для керування роботом-розмінувальником Digital Vanguard-S.



Рисунок 1.20 – Комплексний командний портал X500

X500 здатен керувати всіма функціями робота, такими як позиціонування рук та захватів, управління камерами тощо. Але для більш зручного переміщення все ж таки використовуються геймпади, такі як Dualshock або Dualsense [5]. Він записує двостороннє аудіо та відео в форматі Full HD та фіксує нерухомі зображення, також відображає всі данні, отримані з додаткового інтегрованого сенсора ROVISS, наприклад, від датчиків CBRNe. Графічний інтерфейс користувача може бути налаштований на більшість мов, маючи можливість відображення керувань оператора на рідних мовах. X500 легкий в освоєнні, що допомагає скоротити час на тренування і якнайшвидше приступити до експлуатації.

Розробники пропонують широкоекранний дисплей Sunlight Readable Quadra Clear з діагоналлю 15,6", Full HD 1080p та 800 NITs. В залежності від комплектації, X500 матиме надійний процесор Intel Core i5-7440EQ або Intel Core i7-7820EQ, якісні відеокарти Intel HD Graphics 630 та NVIDIA GeForce GTX1050 або NVIDIA Quadro P2000, 8 Гб / 16 Гб / 32 Гб / 64 Гб операційної пам'яті DDR4 та від 500 Гб до 2 Тб SATA HDD або SSD. А для підтримання зв'язку з Digital Vanguard-S, він використовує 10/100/1000 base-T Ethernet, Intel Dual Band Wireless-AC 8265, 802.11ac, Bluetooth v4.2 та додатково може бути оснащений GPS. Також, цей комплексний командний портал має ступінь захисту IP65 і відповідає стандартам MIL-STD 810G, MIL-STD-461F та ANSI/ISA 12.12.01 [11].

1.5.2 Наземна система керування Robo Command

Наземна система керування Robo Command (рис. 1.21) забезпечує єдине командування та керування всіма безпілотними наземними транспортними засобами компанії Telerob, такими як Telemax EVO та tEODor, тим самим знижуючи вимоги до навчання операторів.



Рисунок 1.21 – Наземна система керування Robo Command

Поєднуючи блок зв'язку, контролер і радіообладнання в одному міцному корпусі Pelican, його можна легко транспортувати, налаштовувати та використовувати [5]. В основі системи лежить інтуїтивно зрозумілий блок керування, який має мультисенсорний екран високої роздільної здатності з діагоналлю 12,1", який чітко відображає інформацію навіть у сонячну погоду та ергономічні ручні контролери для точного керування складними рухами маніпулятора. Усі попередньо запрограмовані послідовності, налаштування та функції легко доступні з головного екрана, який відображає до чотирьох відеопотоків одночасно з можливостями зведення та масштабування. Ручні контролери мають точно налаштований 3-осьовий джойстик і панель керування, що дозволяє операторам з легкістю виконувати людиноподібні маніпуляції роботом. Також, серед особливостей Robo Command можна виділити кілька

варіантів контролера, радіо та зовнішнього підключення та широкий вибір радіосистем і варіантів частот [12].

1.5.3 Модулі дистанційного керування Tactical Robot Controller та Universal Controller-LITE

Tactical Robot Controller (TRC) та Universal Controller – LITE обидва підходять для керування роботом-розмінувальником Talon від компанії QinetiQ.

Tactical Robot Controller (рис. 1.22) – це легкий, переносний контролер, який керує цілим сімейством, що складається з понад тридцяти безпілотних наземних транспортних засобів і різноманітних безпілотних літальних апаратів.



Рисунок 1.22 – Tactical Robot Controller

Міцний і конфігурований, TRC оснащений передовими обчислювальними засобами, що забезпечує чудове співвідношення ваги та потужності. TRC був розроблений для розширеного картографування та контролю та простого керування. Просто приєднавши комунікаційний пакет, оператор вибирає програму на сенсорному екрані та починає працювати з платформою.

TRC оснащений процесором Intel Core i7 п'ятого покоління та пам'яттю DDR3L на 256 Гб з можливістю розширення до 1 Тб. Також він має Bluetooth v4.0, WiFi та GPS. Серед його особливостей можна виділити наявність системи пасивного охолодження, що допомагає покращити роботу внутрішніх складових [13].

Universal Controller-LITE (рис. 1.23) має компактну та легку ергономічну конструкцію для підтримки безпілотних систем у демонтованому режимі.



Додатковий другий дисплей для додаткових карт, керування або сенсорного дисплея

Дисплей, який можна читати при денному світлі та підтримує нічне бачення

Ергономічні кнопки для роботи в рукавичках

Рисунок 1.23 – Universal Controller – LITE

Доступна з одним і подвійним екраном. Система є радіонезалежною та сумісною з низкою варіантів зв'язку. Модульна відкрита системна архітектура робить її легко адаптованою та реконфігурованою для підтримки нових технологій і завдань.

Цей модуль керування має всередині процесор Intel Core m5-6Y57, 8 Гб SDRAM та SSD на 256 Гб. Universal Controller-LITE захищений за стандартом IP65 і витримує падіння з висоти більше одного метра. Його робочий температурний діапазон складає від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а діапазон зберігання – від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Здатен витримати понад 3 години роботи [14].

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОМ-РОЗМІНУВАЛЬНИКОМ

Модулі дистанційного керування є критично важливою складовою в роботі саперів. Розвиток даної технологічної галузі – створення та оптимізація системи керування, дозволить операторам ефективно та безпечно маніпулювати роботом-розмінувальником на відстані. Безпека саперів – це пріоритетний аспект. Робот-розмінувальник призначений для виявлення та розмінування вибухонебезпечних предметів, що можуть загрожувати життю та здоров'ю людей. Віддалене керування дозволяє операторам працювати на безпечній відстані від потенційно небезпечних об'єктів, знижуючи ризик для їхнього життя. Також, за допомогою дистанційного керування, оператори здатні маніпулювати роботом з великою точністю та швидкістю, необхідними для ефективного виявлення та розмінування вибухонебезпечних предметів. Це забезпечує швидку реакцію на виявлені загрози та збільшує загальну продуктивність робота-розмінувальника. Крім того, модуль дистанційного керування відкриває можливості для використання передових технологій, таких як штучний інтелект або машинне навчання, для покращення процесу розмінування та збільшення точності виявлення вибухонебезпечних предметів.

2.1 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи керування роботом-розмінувальником

В даному випадку управління роботом-розмінувальником складається з трьох ключових елементів: пульта керування, що віддає роботу команди та приймає зображення, самої системи керування роботом, що виконує команди отримані з пульта та модулем з датчиками відстані та камерою, аби отримувати інформацію про перешкоди на шляху та передавати зображення на пульт. Зв'язком

між цими елементами слугуватиме Wi-Fi та альтернативний протокол обміну даними ESP-NOW, оскільки Bluetooth не забезпечить достатньої для збереження життя та здоров'я відстані між роботом та оператором. Структурна схема керування зображена на рисунку 2.1.

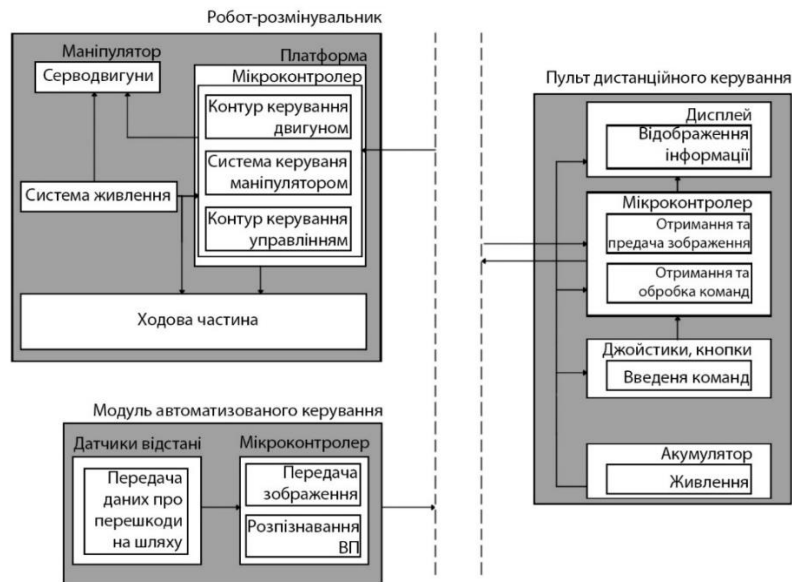


Рисунок 2.1 – Структурна схема керування роботом-розмінувальником

З точки зору розробки робототехнічної інтелектуальної системи управління, процес прийняття рішень полягає в плануванні функціональних стратегій, що містить визначення цілі, що виконується системою, опис усіх альтернативних шляхів досягнення мети, методи вирішення конкретної практичної задачі [15]. В свою чергу, процес розмінування за допомогою роботів-розмінувальників означає, що існують певні обмежені можливості щодо маневрування мобільної платформи, надійного виявлення ВП і бажаного рівня надійності обладнання нейтралізації. Це фактично призводить до того, що технологія автоматичного розмінування буде переважно використовуватися для очищення великих однорідних територій без складних перешкод, таких як рослинність, рельєф місцевості, траншеї тощо. Таким чином, приходимо до висновку, що будь-яка діяльність робота що може призвести до унеможливлення переміщення або небезпеки вибуху, повинна супроводжуватись командами оператора, який контролює весь процес

розмінування. Це вимагає передачі та моніторингу всієї відповідної інформації з місця розмінування. Цей факт означає, що всі найбільш небезпечні дії мають виконуватися в режимі керування «master-slave», як показано на інформаційно-керуючій схемі на рисунку 2.2.

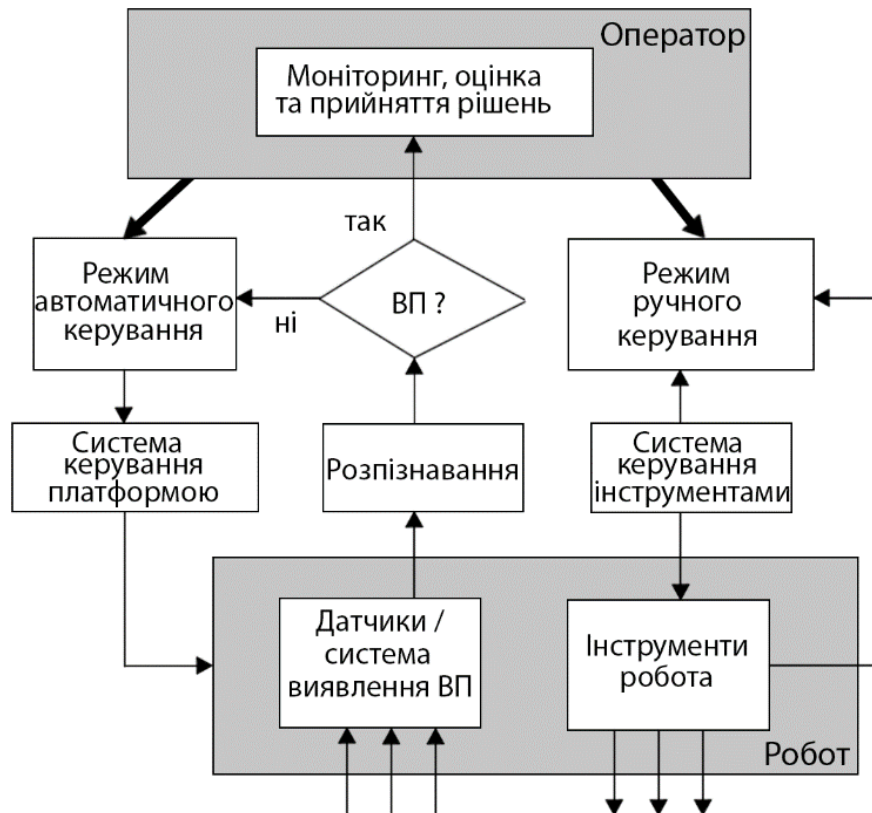


Рисунок 2.2 – Інформаційно-керуюча схема автоматизованої системи розмінування

Загальна схема системи керування, на рисунку 2.3, показує деякі основні компоненти, розташовані в чотирьох контурах керування: глобальне позиціонування, контур керування управлінням, контур керування двигуном та контури для керування різноманітним обладнанням на борту (маніпулятор, інструменти та інші).

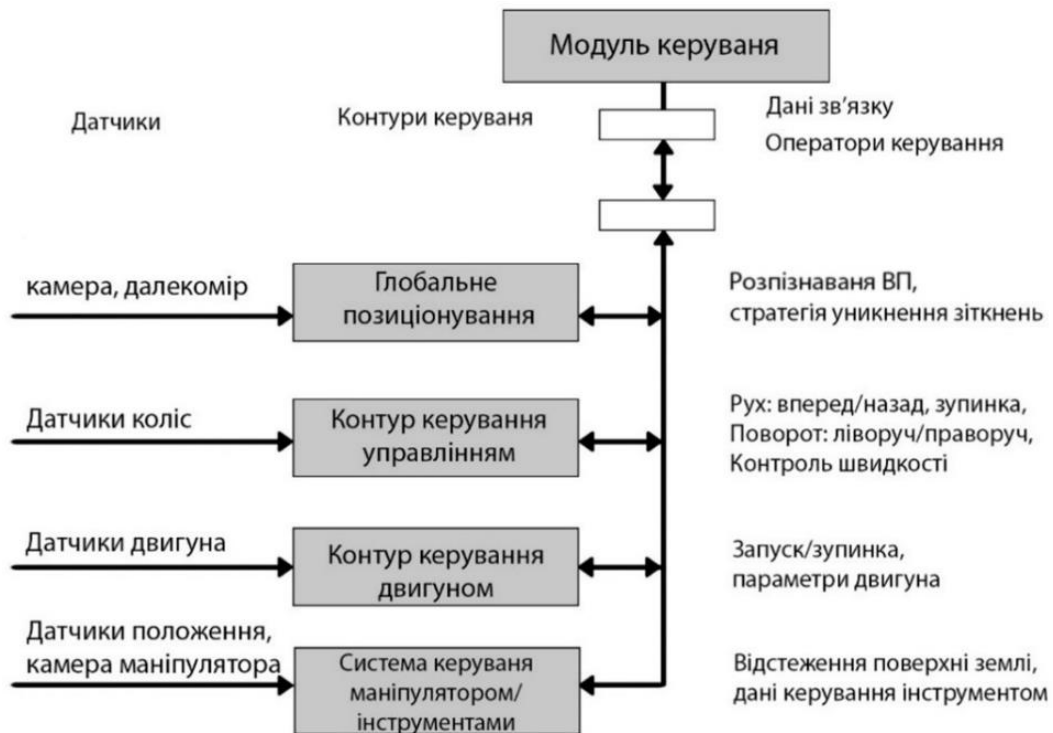


Рисунок 2.3 – Загальна схема системи керування

З огляду на специфічні умови використання та забезпечення безпеки, модуль має працювати в двох режимах.

1. Автоматичний режим керування, що працює за певним алгоритмом. Автономність рішень робота відноситься до здатності системи вибирати найкращі рішення для цілей і завдань [15]. Цей режим передбачає нормальну роботу всіх систем. Загальний алгоритм дій в автоматичному режимі представлений на рисунку 2.4.

2. Ручне керування за допомогою джойстика/панелі керування/клавіатури. Ручне управління використовується у таких випадках: виведення машини з мінного поля та вихід із ситуації, пов'язаної з відмовою будь-якої іншої системи (програм, зв'язку тощо), тестування. У цьому режимі управління безпосередньо керуються контурами рульового керування та керування двигуном.

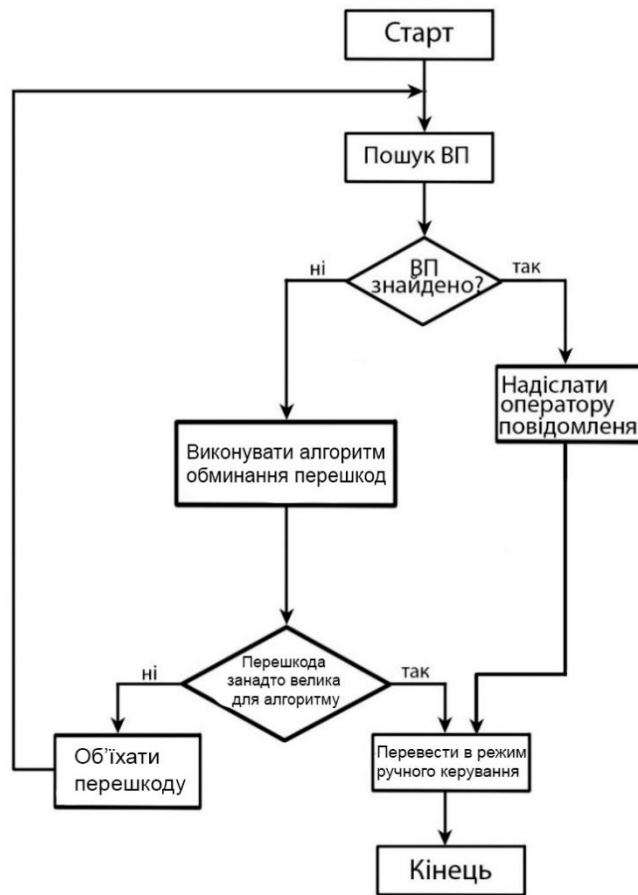


Рисунок 2.4 – Загальний алгоритм дій в автоматичному режимі

2.2 Вибір компонентів для системи дистанційного керування роботом-розмінувальником

Розібравшись з функціоналом модуля дистанційного керування слід перейти до вибору елементної бази. Аби модуль надійно виконував свої функції необхідно провести аналіз існуючих компонентів та обрати ті що відповідають поставленим вимогам.

2.2.1 Мікроконтролери

Враховуючи, що мікроконтролер є ключовим компонентом у нашій системі. Правильний вибір забезпечить продуктивність, надійність та потрібний спектр можливостей керування роботом.

Розглядаючи ринок мікроконтролерів можемо виділити наступні популярні варіанти:

- сімейство Arduino;
- мікроконтролери STM8 та STM32;
- серія мікроконтролерів ESP;
- одноплатні мікроконтролери Raspberry PI.

2.2.1.1 Сімейство Arduino

Мікроконтролери від компанії Arduino відомі завдяки своїй гнучкості та простоті у використанні, що робить їх популярними серед початківців та досвідчених розробників одночасно. Вони мають зручний інтерфейс для програмування, оснований на Arduino IDE, який базується на мові програмування C/C++. Однією з ключових особливостей мікроконтролерів Arduino є їх відкрита архітектура, що дозволяє розробникам використовувати широкий спектр додаткових модулів та бібліотек для розширення функціональності пристроїв. Це робить їх ідеальними для реалізації різноманітних проєктів, включаючи поставлену нами задачу – розробку модуля дистанційного керування роботами-розмінувальниками. Яскравим представником цього сімейства є Arduino UNO (рис. 2.5), що зазнав популярності серед користувачів.

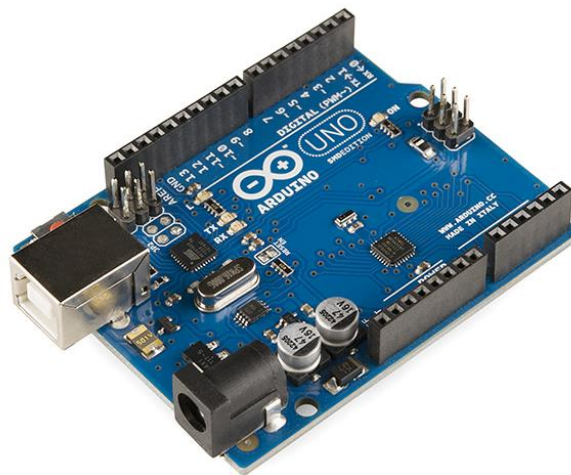


Рисунок 2.5 – Arduino UNO

2.2.1.2 Мікроконтролери STM8 та STM32

Ці мікроконтролери відзначаються низьким споживанням енергії, мають високу швидкість обробки, а також багато периферійних пристроїв, таких як таймери, аналого-цифрові конвертери та інтерфейси зовнішніх пристроїв, що робить їх досить універсальними для різних типів проектів. Однак для ефективної роботи з ним потрібно мати значні знання у галузі електроніки та програмування мікроконтролерів даного роду. Мікроконтролер STM32 Nucleo зображено на рисунку 2.6.

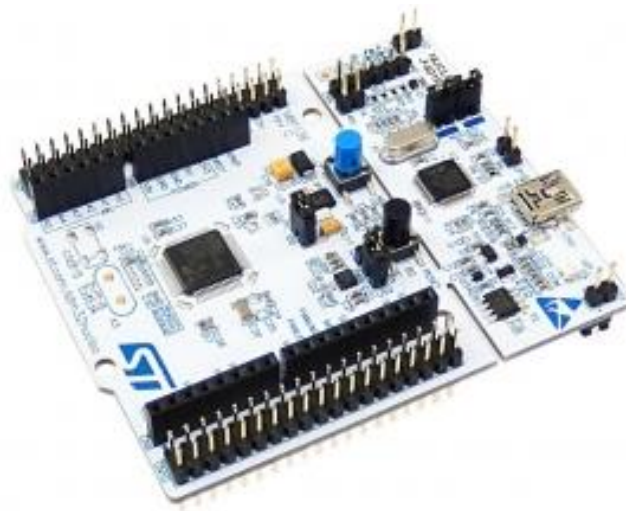


Рисунок 2.6 – STM32 Nucleo

2.2.1.3 Серія мікроконтролерів ESP

Мікроконтролери ESP відрізняються своєю високою продуктивністю, енергоефективністю та вбудованою підтримкою бездротових з'єднань. ESP8266 (рис. 2.7), наприклад, відомий своєю низькою вартістю та здатністю до підключення до мереж Wi-Fi, тоді як ESP32 є більш потужним мікроконтролером, який підтримує як Wi-Fi, так і Bluetooth з можливістю зовнішніх антен. Вони можуть бути легко запрограмовані за допомогою Arduino IDE або інших інтегрованих середовищ розробки, таких як PlatformIO, за допомогою мови програмування C/C++ або MicroPython.



Рисунок 2.7 – ESP8266

2.2.1.4 Мікроконтролери Raspberry PI

Одноплатні комп'ютери Raspberry PI мають вбудований процесор, оперативну пам'ять, різноманітні порти вводу/виводу та можливості підключення до мережі. Їх особливістю є використання операційної системи реального часу, що дає можливість виконувати різноманітні завдання, від простих програм до великих проектів. Однією з найбільш відомих моделей є Raspberry PI 3 (рис. 2.8), який має потужний чотирьохядерний процесор, вбудований модуль Wi-Fi та Bluetooth, а також різноманітні порти, такі як HDMI, USB та інші. Цей одноплатний комп'ютер здатний до виконання великої кількості завдань, включаючи роботу з відео, Інтернетом речей та багато іншого.



Рисунок 2.8 – Raspberry PI 3

Розглянувши доступні варіанти сімейств мікроконтролерів оберемо деяких їх представників та зробимо висновок на основі порівняльної таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння мікроконтролерів

Назва	Кількість цифрових виходів, шт	Кількість аналогових виходів, шт	Інтерфейси	Розмір, см
Arduino UNO [16]	14	6	I2C/TWI, SPI, UART	6,8×5,3
Arduino Nano [17]	14	8	I2C, SPI, UART	1,85×4,3
ESP32 D1 R32 [18]	30	2	UART, SPI, I2C, Wi-Fi, Bluetooth	6,9×5,4
STM8S103F3P6 [19]	16	1	UART, SPI, I2C	3×1,9
Raspberry PI 3 [20]	40	0	Ethernet, HDMI, Wi-Fi, Bluetooth	8,5×5,6

Серед зазначених в таблиці 2.1 мікроконтролерів оптимальним варіантом для пульта керування та робота-розмінувальника стане ESP32 D1 R32 (рис. 2.9) через його надійність, доступність та достатню кількість виходів та інтерфейсів. Це стане у нагоді коли потрібно буде виводити інформацію з робота-розмінувальника на пульт дистанційного керування. Його технічні характеристики наведені в таблиці 2.2.

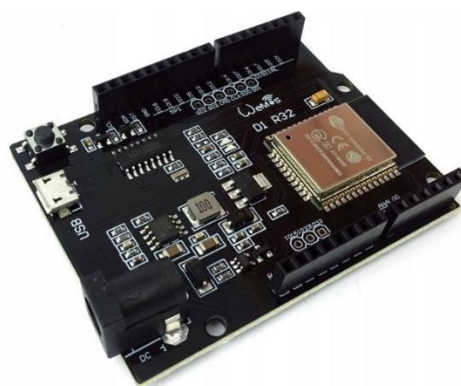


Рисунок 2.9 – Мікроконтролер ESP32 D1 R32

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ESP32 D1 R32 [18]

Характеристики	Значення
Мікроконтролер	ESP32
Частота	240 МГц
Flash	4 Мб
ОЗУ	320 Кб
Інтерфейс	microUSB
Робоча напруга контактів	DC 3,3 В
Живлення плати	DC 5-12 В
Wi-Fi	WiFi 802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth 4.2 LE

А для системи автоматичного керування роботизованою платформою використаємо популярний мікроконтролер ESP32 CAM (рис. 2.10), з вбудованим модулем Wi-Fi для зв'язку з оператором та камерою, для відображення навколишнього середовища робота-розмінувальника та розпізнавання вибухонебезпечних предметів. Детальніший перелік його характеристик наведено в таблиці 2.3.



Рисунок 2.10 – Мікроконтролер ESP32 CAM

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики ESP32 CAM [21]

Характеристики	Значення
Мікроконтролер	ESP32
Робоча частота процесора	240 МГц, 600 DMIPS
Оперативна пам'ять	Вбудована: 520 Кб; Зовнішня: 4 Мб
Підтримувані інтерфейси	UART, SPI, Wi-Fi, Bluetooth
Підтримка	STA, AP, Smart Config, AirKiss розподіленої мережі
Напруга живлення	5 В
Модуль камери	OV2640
Роздільна здатність	2 Мп
Підтримка камер	OV2640 і OV7670
Зберігання даних	micro-SD
Розмір	2,7 см × 3,9 см

2.2.2 Дисплей

Дисплей пульта керування – це очі оператора, тому слід обирати екран з чіткою передачею зображення. Провівши аналіз ринку, обрали 4-дюймовий кольоровий екран високої чіткості з SSD1963 (рис. 2.11) [22]. Він підтримує роздільну здатність 800×480, зберігаючи чіткий ефект відображення. Високу швидкість передачі забезпечує використання 16-розрядної паралельної шини передачі. Весь перелік технічних характеристик представлено в таблиці 2.4.



Рисунок 2.11 – Дисплей з SSD1963

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики дисплею SSD1963 [22]

Характеристики	Значення
Колір дисплея	16BIT RGB 65K кольорів
Розмір екрану	7 дюймів
Тип екрану	TFT
Драйвер ІС	SSD1963
Роздільна здатність	800×480 пікселів
Інтерфейс модуля	16-бітний паралельний інтерфейс
Активна зона	154,08 мм × 85,92 мм
Розмір друкованої плати модуля	181,00 мм × 108,00 мм
Робоча температура	-10 °С..60 °С
Температура зберігання	-20 °С..70 °С
Робоча напруга	5 В
ІО напруга	3,3 В

2.2.3 Живлення

Для живлення пульта керування використаємо універсальний внутрішній акумулятор 3550145P на 3000 мАч (рис. 2.12).

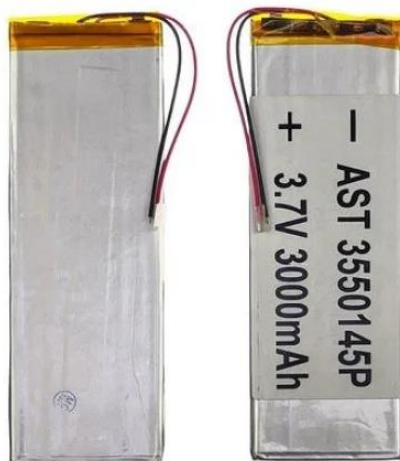


Рисунок 2.12 – Універсальний внутрішній акумулятор 3550145P

Також для ефективного користування, додамо зарядний модуль TP4056 Туре-С (рис. 2.13) з функцією захисту акумулятора.

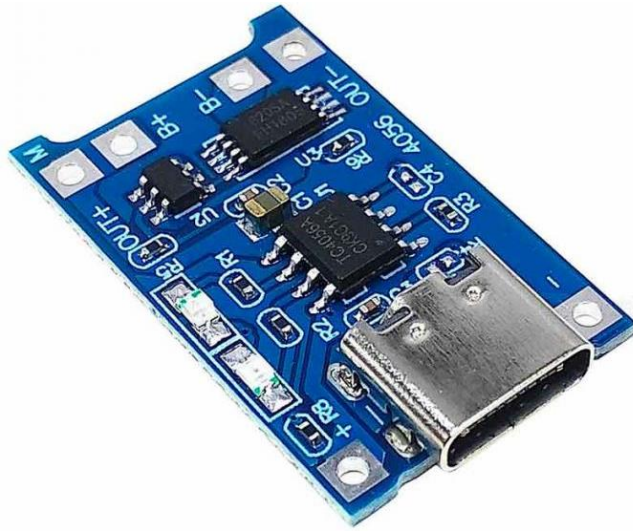


Рисунок 2.13 – Зарядний модуль TP4056

2.2.4 Датчики відстані

Для виявлення перешкод та їх обминання в автоматичному режимі пошуку ВП використаємо інфрачервоні датчики відстані, оскільки деякі міни мають електронні компоненти або чутливі механізми, що призводять до вибуху через вплив на них ультразвуку. Оберемо для нашого проекту інфрачервоний датчик відстані E18-D80NK (рис. 2.14) з радіусом 10-80 сантиметрів.



Рисунок 2.14 – Інфрачервоний датчик відстані E18-D80NK

2.3 Реалізація апаратної частини системи дистанційного керування роботом-розмінувальником

2.3.1 Реалізація апаратної частини системи керування

Для наглядного підключення модуля дистанційного керування візьмемо стандартну комплектацію робота-розмінувальника, що включає в себе ходову частину та маніпулятор. Ключовою особливістю даної розробки буде з'єднання трьох мікроконтролерів. Перший знаходиться на мобільній платформі і відповідатиме за пересування робота та контроль маніпулятора, другий – ESP32 SAM буде вести трансляцію зображення, отримувати та надсилати дані з ультразвукових датчиків відстані для роботи в автоматичному режимі, а третій розташований в пульті керування. Останній буде отримувати інформацію з другого та передавати команди першому за допомогою альтернативного протоколу обміну даними ESP-NOW. Таким чином, перші два мікроконтролери не будуть поєднані між собою дротами і не будуть залежати одне від одного. Схема підключення модуля дистанційного керування до роботизованої платформи виглядатиме як на рисунку 2.15. 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 мікроконтролеру власну систему живлення з зарядним модулем.

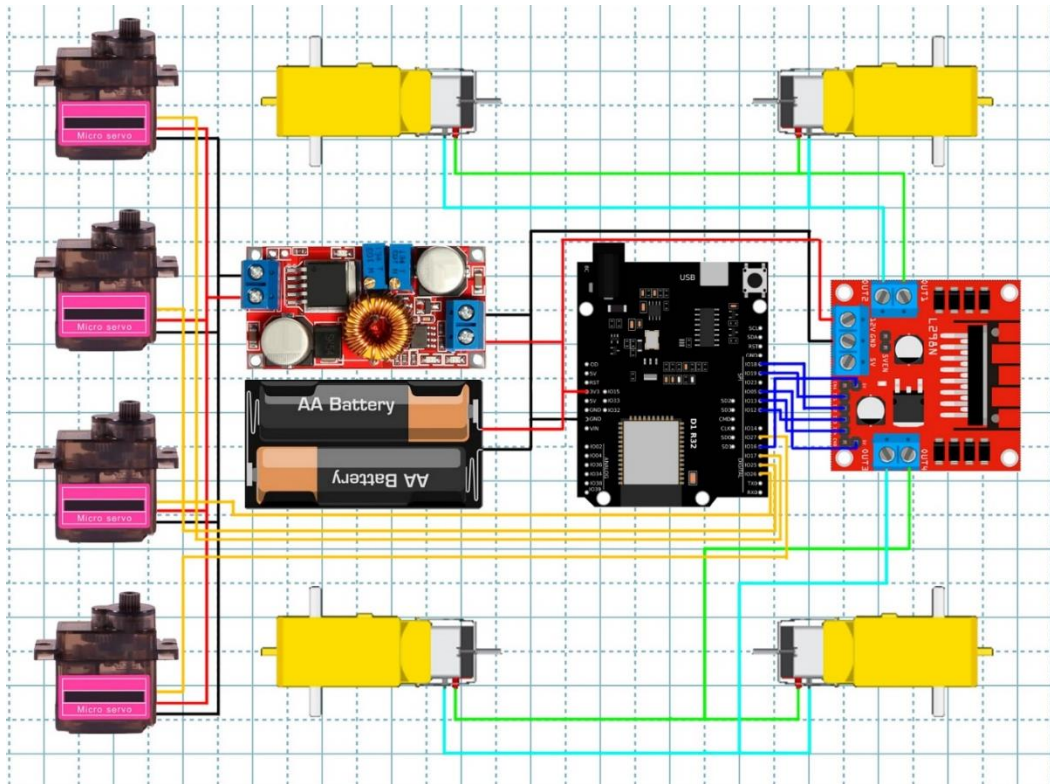


Рисунок 2.15 – Схема підключення компонентів робота-розмінувальника

В свою чергу, схема підключення компонентів модуля, що відповідатиме за автоматизацію, а саме переміщення за алгоритмом, трансляцію зображення та розпізнавання ВП, приведено на рисунку 2.16.

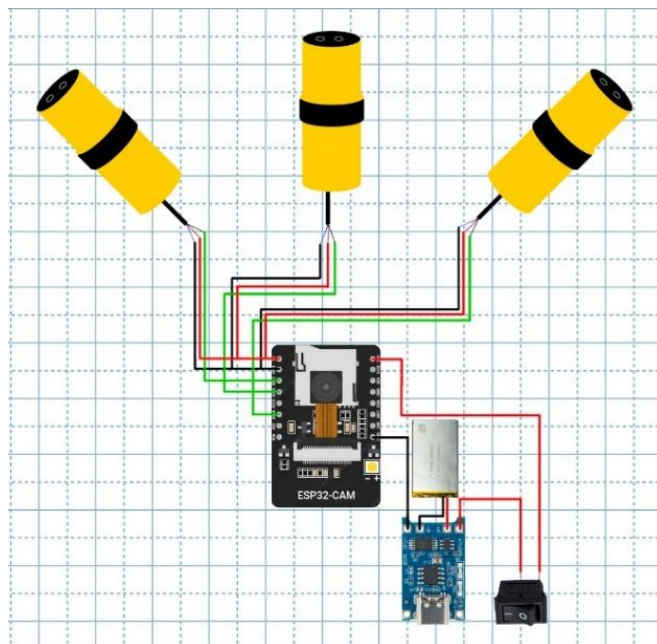


Рисунок 2.16 – Схема підключення компонентів модуля автоматизації

2.3.2 Виготовлення апаратної частини пульта керування

Для повного розуміння, який функціонал матиме та як виглядатиме пульт керування, приблизно зобразимо його на рисунку 2.17.

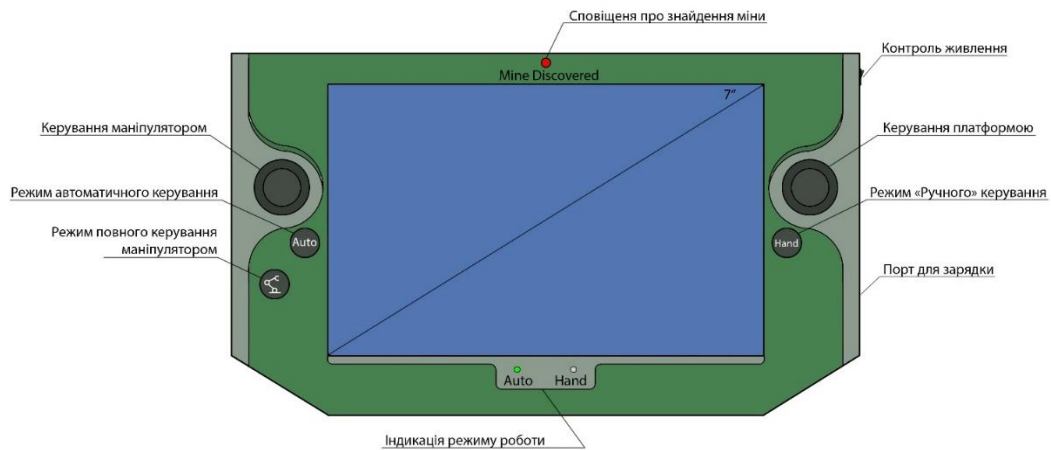


Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд та функціонал пульта дистанційного керування

Враховуючи підібрані в попередньому розділі компоненти, модулю не вистачає трьох світлодіодів, трьох кнопок, двох двоосьових джойстиків та перемикача живлення. Схема підключення всіх компонентів зображена на рисунку 2.18.

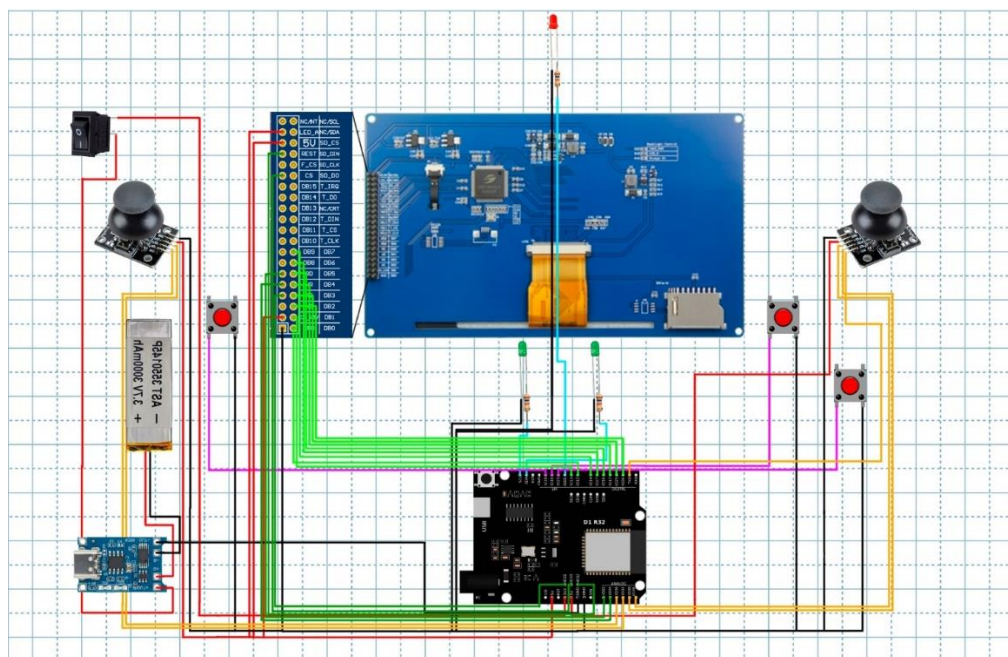


Рисунок 2.18 – Схема підключення компонентів пульта керування

3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОМ-РОЗМІНУВАЛЬНИКОМ У ВИГЛЯДІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Вибір середовища програмування

Для виконання поставленої задачі слід обрати надійне та потужне середовище програмування, що буде здатне обробити та реалізувати написаний код. Оскільки всі задіяні в системі керування мікроконтролери від компанії Espressif Systems – ESP32, слід проаналізувати підходящі йому IDE. Таким чином, розглянемо чотири доступні варіанти:

- середовище програмування Arduino IDE;
- середовище програмування Espressif IDE;
- редактор вихідного коду VS Code та плагін Espressif IDF;
- редактор вихідного коду VS Code та плагін PlatformIO IDE.

Arduino IDE є одним із найпоширеніших середовищ розробки для новачків та професіоналів у світі мікроконтролерів, включаючи ESP32. Головною перевагою цього середовища є його простота та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Навіть ті, хто не має досвіду програмування, можуть легко почати працювати з Arduino IDE завдяки численним прикладам коду і великій кількості бібліотек, які значно спрощують процес розробки. Arduino IDE має величезну спільноту користувачів, що забезпечує доступ до численних ресурсів, таких як форуми, підручники та відеоуроки. Це середовище також є крос-платформним, тобто працює на Windows, macOS та Linux.

Espressif IDE, також відомий як ESP-IDF, є потужним середовищем розробки, створеним спеціально для мікроконтролерів ESP32. Це середовище пропонує глибоку інтеграцію з Espressif SDK, що дозволяє розробникам використовувати всі можливості апаратного та програмного забезпечення ESP32. Espressif IDE включає професійні інструменти для налагодження та аналізу продуктивності, такі як

трасування, профілювання та відладка на рівні коду. Також підтримуються інструменти командного рядка, які дозволяють створювати, компілювати та завантажувати проекти безпосередньо з терміналу. Однак, Espressif IDE має високий поріг входження і орієнтований на досвідчених розробників. Це середовище може бути складним для новачків, але забезпечує всі необхідні інструменти для професійної розробки на ESP32.

VS Code є одним із найпопулярніших текстових редакторів серед розробників завдяки своїй гнучкості, розширюваності та підтримці численних мов програмування. Використання VS Code разом із плагіном Espressif IDF дозволяє інтегрувати можливості ESP-IDF у зручний інтерфейс VS Code. Це середовище пропонує численні переваги, такі як підтримка розширень, потужні інструменти для налагодження, інтеграція з системами контролю версій, такими як Git, та можливість налаштування під конкретні потреби розробника. Глибока інтеграція з ESP-IDF забезпечує доступ до всіх можливостей SDK, дозволяючи використовувати всі функції ESP32.

PlatformIO IDE є потужним інструментом для розробки на багатьох платформах, включаючи ESP32. Використання PlatformIO IDE разом із VS Code дозволяє розробникам отримати всі переваги цього редактора, а також додаткові можливості PlatformIO. Це середовище підтримує широкий спектр мікроконтролерів, що робить його ідеальним для багатоплатформених проєктів. PlatformIO IDE забезпечує пакетне керування бібліотеками, що значно спрощує встановлення та керування залежностями проєкту. Також підтримуються розширені функції, такі як інтеграція з системами контролю версій, потужні інструменти для налагодження та можливість налаштування середовища під конкретні потреби розробника.

Проаналізувавши наведені варіанти робимо висновок, що найоптимальнішим середовищем програмування під час реалізації системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником у вигляді програмного забезпечення стане Arduino IDE через його одночасну простоту та потужність.

3.2 Навчання модуля автоматизації розпізнаванню ВП

Процес виявлення вибухонебезпечних предметів відбуватиметься в нашій системі автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником за допомогою плати ESP32 CAM. Вона оснащена камерою, що дає можливість отримувати, обробляти та передавати зображення з робота. Аби камера впізнала ВП її треба навчити цьому, показавши приклади об'єкту пошуку. Навчання ESP32 CAM можна здійснити за допомогою онлайн платформи Edge Impulse. Першочергово слід зібрати достатню кількість зображень аби, після подальшої обробки, відсоток розпізнавання був максимальним. Для отримання зображення зі всіх боків використаємо власноруч створений макет (рис. 3.1), та додамо зображень справжнього об'єкту.

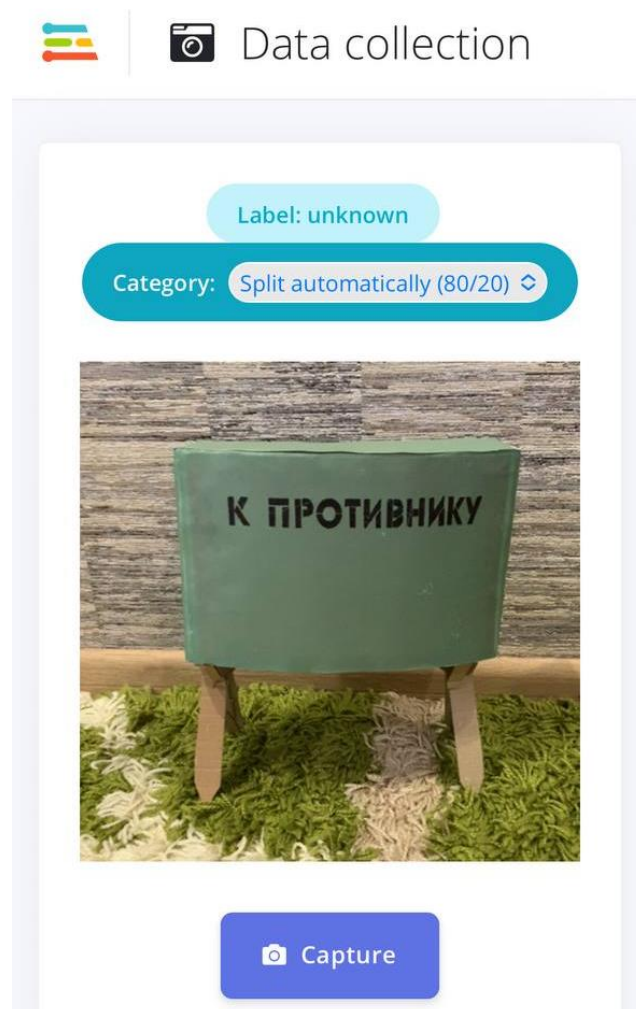


Рисунок 3.1 – Збір прикладів для навчання

В результаті, була зібрана колекція з 80 прикладів (рис. 3.2), включаючи фото розташування міни в польових умовах.

The screenshot shows the EDGE IMPULSE web interface. On the left is a sidebar with navigation options: Dashboard, Devices, Data acquisition, Impulse design, and Upgrade Plan. The main content area is divided into several sections:

- DATA COLLECTED:** 80 items
- TRAIN / TEST SPLIT:** -
- Collect data:** Connect a device to start building your dataset.
- Dataset:** A table with columns 'SAMPLE NAME', 'LABELS', and 'ADDED'. The table contains 10 rows, with the first row highlighted in blue. The highlighted row is 'Non_armed_mon50_anti-personnel_c...'. Other rows include 'MON-50-Replika-Przeciwpiechotnej...', 'I91o74up', 'MON-50', '2jthl48w', 'mon_50', '0402slhz-908c-779x446', and 'protipihotna-mina-navchalna-mon-50'.
- RAW DATA:** A preview window showing a green mine with the text 'К ПРОТИВНИКУ' on its side, set against a background of sand.
- Metadata:** A section at the bottom right with a 'Continue with the wizard' button.

Рисунок 3.2 – Колекція зібраних прикладів

Наступним етапом в навчанні розпізнаванню ВП є маркування. В цю задачу входить точне виділення об'єкту боксом, як показано на рисунку 3.3.

The screenshot shows the labeling interface in EDGE IMPULSE. At the top, it says 'Labeling 'mon-50.4v4cl6md' (54 items left)'. Below this is a 'Label suggestions' dropdown menu set to 'Track objects between frames'. The main area contains a photo of a green mine with the text 'К ПРОТИВНИКУ' on its side. A red bounding box is drawn around the mine. The interface also includes a 'Delete sample' button on the bottom left and a 'Continue with the wizard' button on the bottom right.

Рисунок 3.3 – Маркування об'єктів

Після проведення тренування ми отримали гарні результати. Всі проаналізовані зображення віднесли в одну секцію на діаграмі (рис. 3.4).

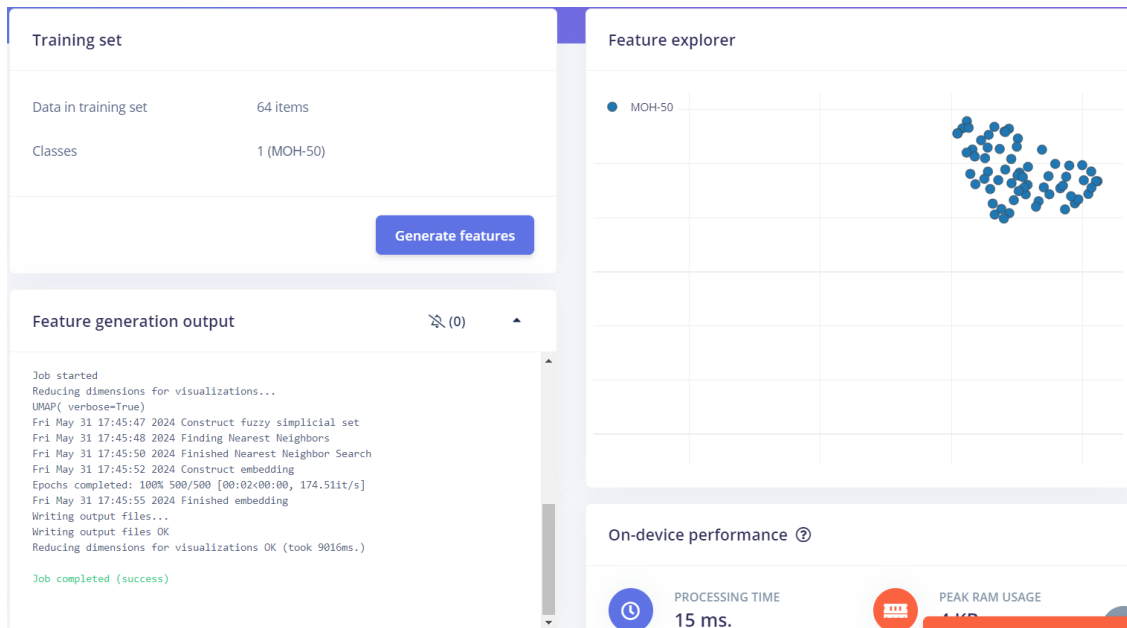


Рисунок 3.4 – Результат аналізу зображень

В результаті точного виставлення боксів та добре підібраних зображень, при перевірці здатності розпізнавання набрали 95,8%, що є гарним результатом, враховуючи змінливий фон та положення об'єктів на зображенні. Результат зображено на рисунку 3.5.

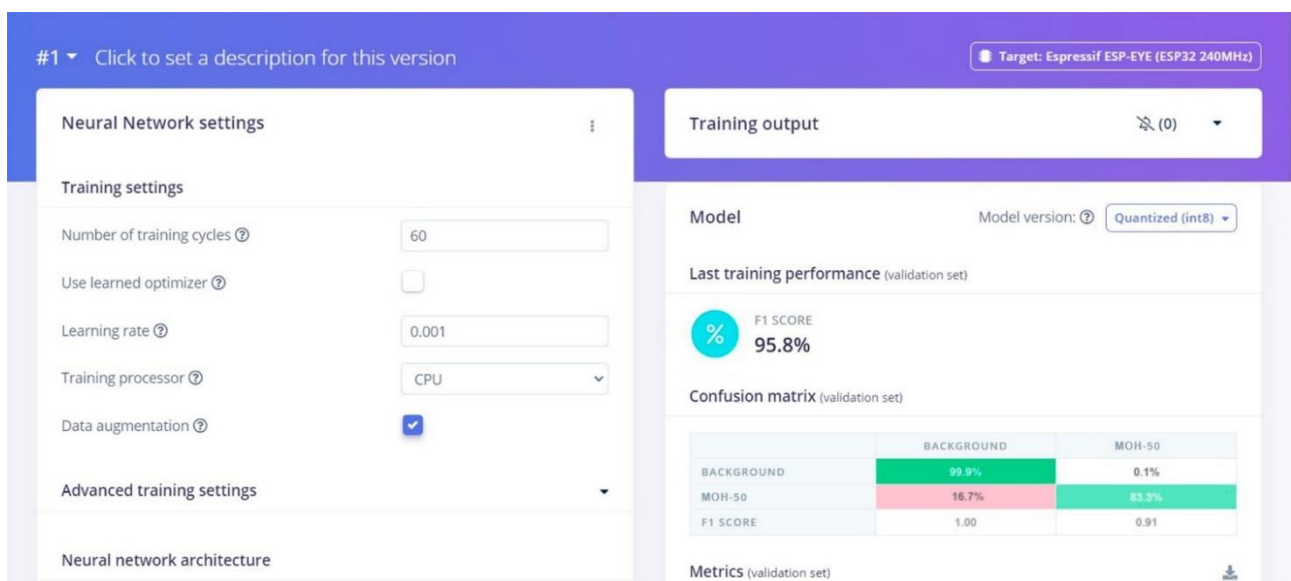


Рисунок 3.5 – Результат перевірки розпізнавання

Після переконання що процес розпізнавання пройшов вдало, створюємо власну бібліотеку для Arduino IDE (рис. 3.6)

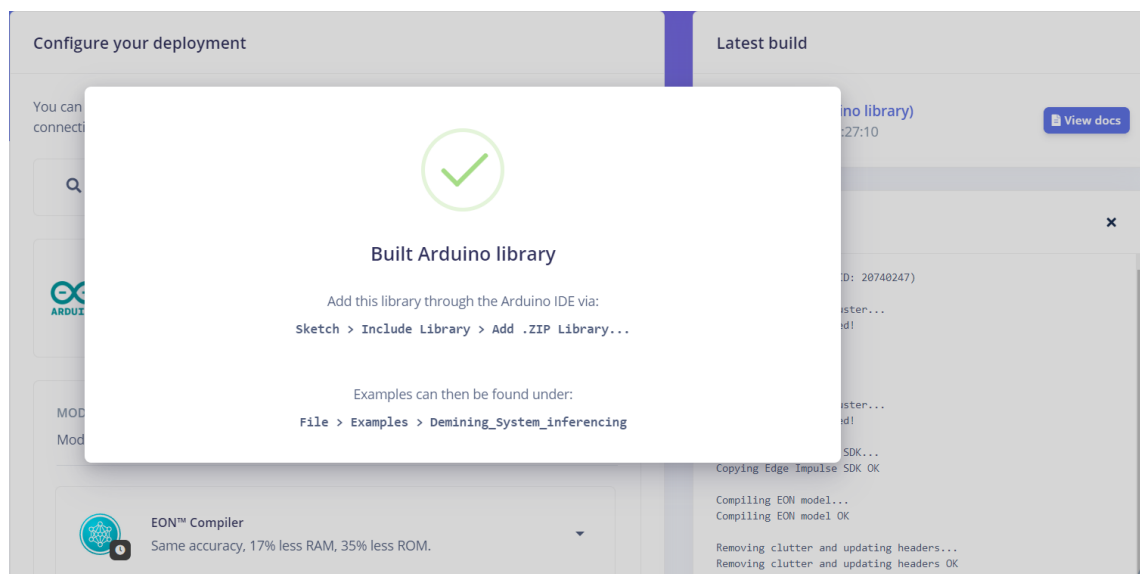


Рисунок 3.6 – Створення власної бібліотеки для Arduino IDE

3.3 Алгоритм роботи програмного засобу

В розробленій системі автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником всі компоненти пов'язані між собою. Таким чином, пульт дистанційного керування стає посередником між роботом та модулем автоматизації. Модуль посилає дані, а саме зображення та відстань до перешкод, на пульт. Пульт обробляє отримані від оператора команди, шляхом натискання кнопок та зміною положення джойстиків, та дані з модуля автоматизації і передає їх на робота-розмінувальника. В свою чергу робот обробляє та виконує отримані команди. Окрім здатності керування платформою, пульт має такий функціонал:

- зміна режиму керування в ручному режимі: керування рухом та основою маніпулятори та повноцінне керування маніпулятором;
- зміна режиму керування з ручного на автоматичний і навпаки;
- індикація режиму роботи та сповіщення про знайдення ВП.

Загальна схема керування наведена на рисунку 3.7.

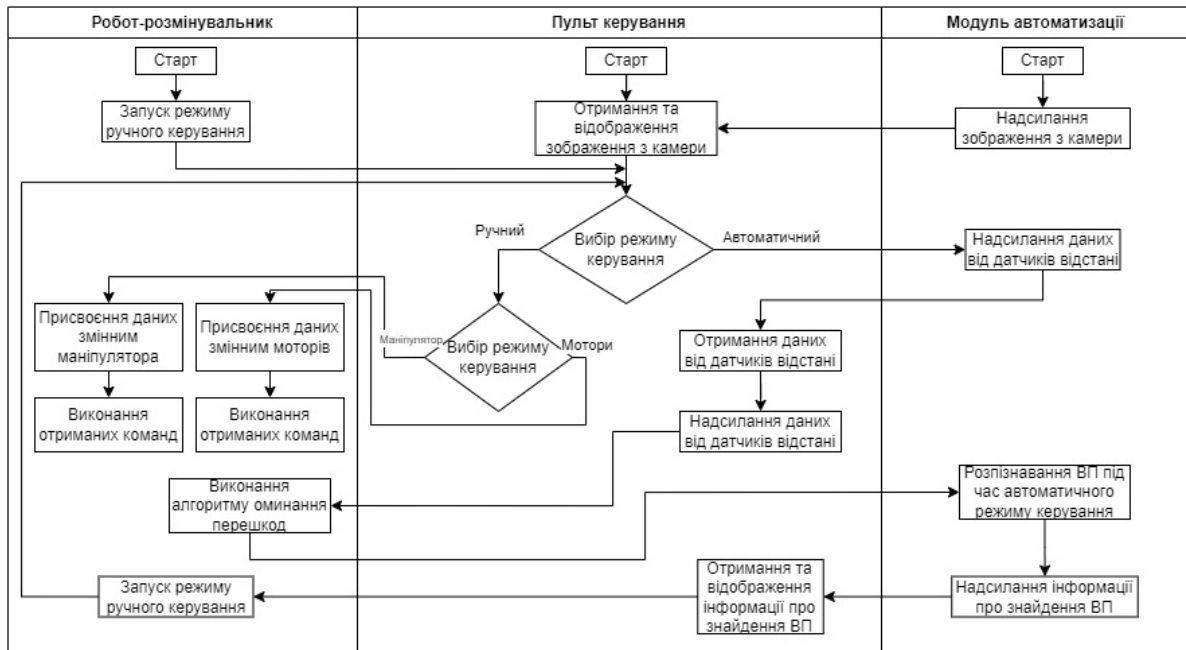


Рисунок 3.7 – Загальна схема дистанційного керування

В автоматичному режимі робот-розмінувальник отримує дані з модуля автоматизації через пульт керування. На їх основі, робот виконує алгоритм переміщення. Першочергово, при отриманні даних про наближення до перешкоди робот зупиняється, аби забезпечити камері модуля чітку картинку. Якщо перешкодою на шляху виявився ВП, робот переходить в режим ручного керування, а модуль надсилає інформацію про знахідку на пульт. Якщо ж на шляху виявився лише камінь, деревина чи щось інше, перешкоджаюче дорозі, робот виконує записаний алгоритм об'їзду, що зображено на рисунку 3.8.

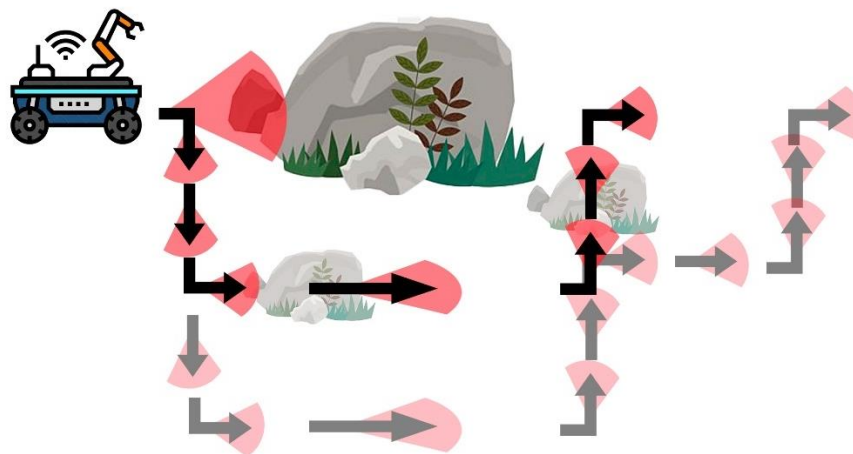


Рисунок 3.8 – Зображення прийняття рішень об'їзду перешкод

Після об'їзду перешкоди, робот повертається на минулу траєкторію, що не дає йому в процесі автоматичної роботи вилізти на середину зони і заблукати. Якщо ж перешкода завелика чи їх забагато, так що алгоритм не може виконатись до кінця, робот також повертається в режим ручного керування задля дослідження оператором перешкоди, її обминання та повернення на початкову пряму.

3.4 Експериментальна частина

3.4.1 Тестування роботи пульта керування

Основною задачею пульта керування є прийом та передача даних – зв'язок між двома мікроконтролерами. Проведемо тестування пульта керування в онлайн симуляторі Wokwi. Для цього треба відтворити схему підключення з усіма доступними компонентами симулятора. Адаптована схема підключення зображена на рисунку 3.9. Повний код пульта керування наведено в додатку А.

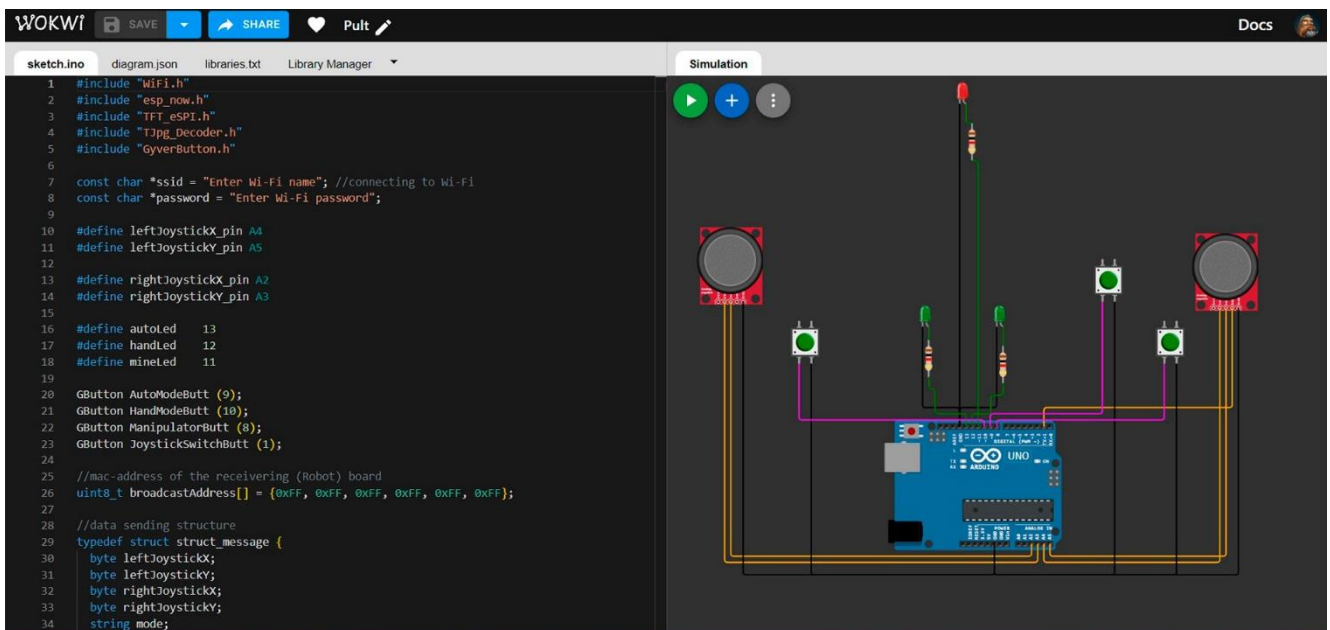


Рисунок 3.9 – Адаптована система підключення

В даному симуляторі відсутні ідентичний екран та плата, тому було прийняте рішення замінити плату на Arduino Uno, оскільки ESP32 R1 D32 була створена опираючись на запропоновану плату, але з лінійкою покращень.

Саме тестування проведемо шляхом адаптації коду під потреби, а саме вивід інформації, що надсилається до робота-розмінувальника за допомогою ESPNow. Результат тестування зображено на рисунках 3.10 - 3.12.

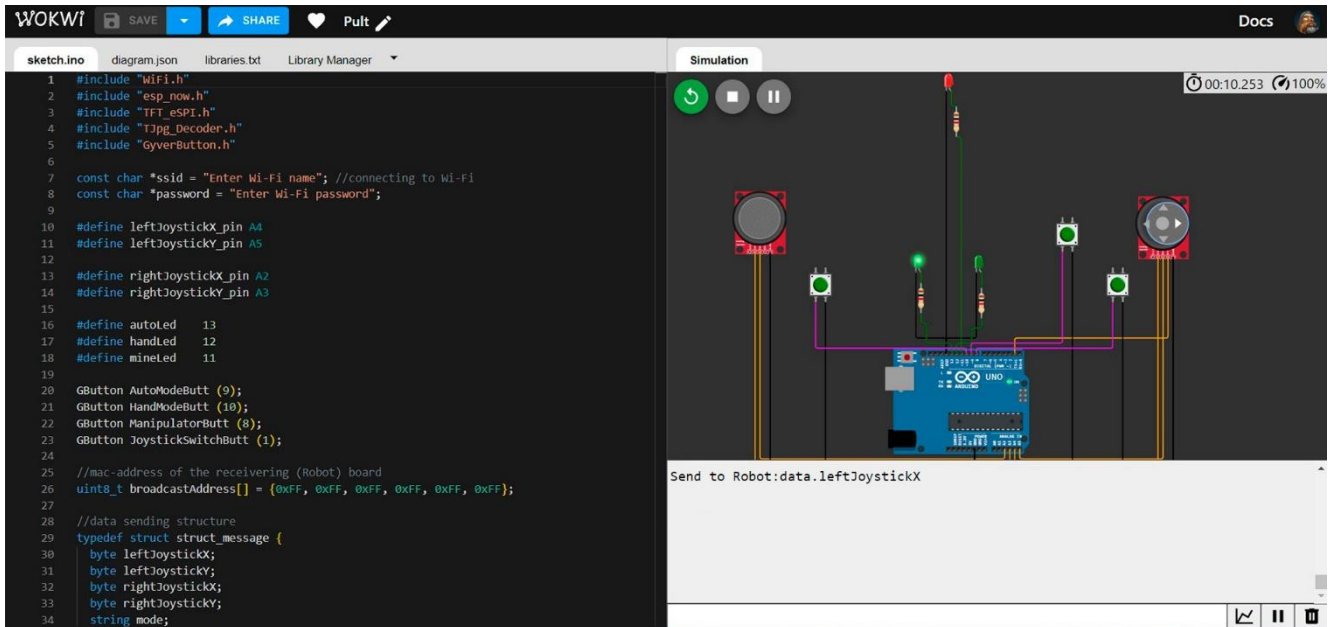


Рисунок 3.10 – Результат надсилання даних про положення лівого джойстику в ручному режимі керування

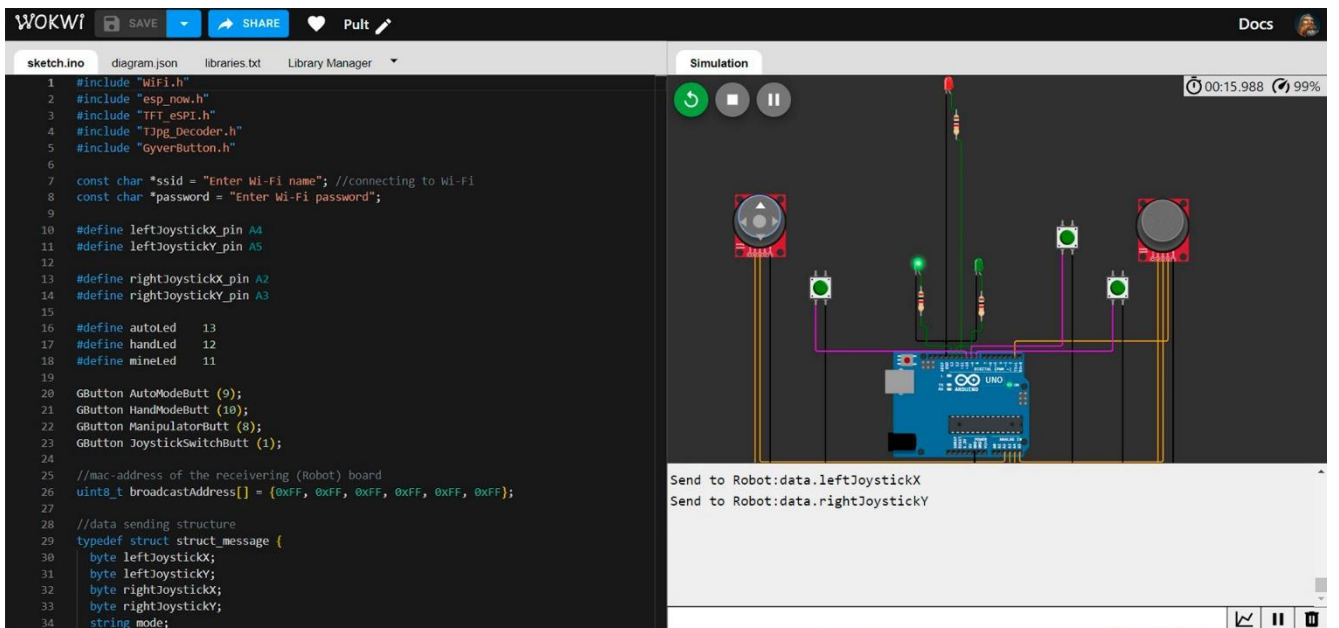


Рисунок 3.11 – Результат надсилання даних про положення правого джойстику в ручному режимі керування

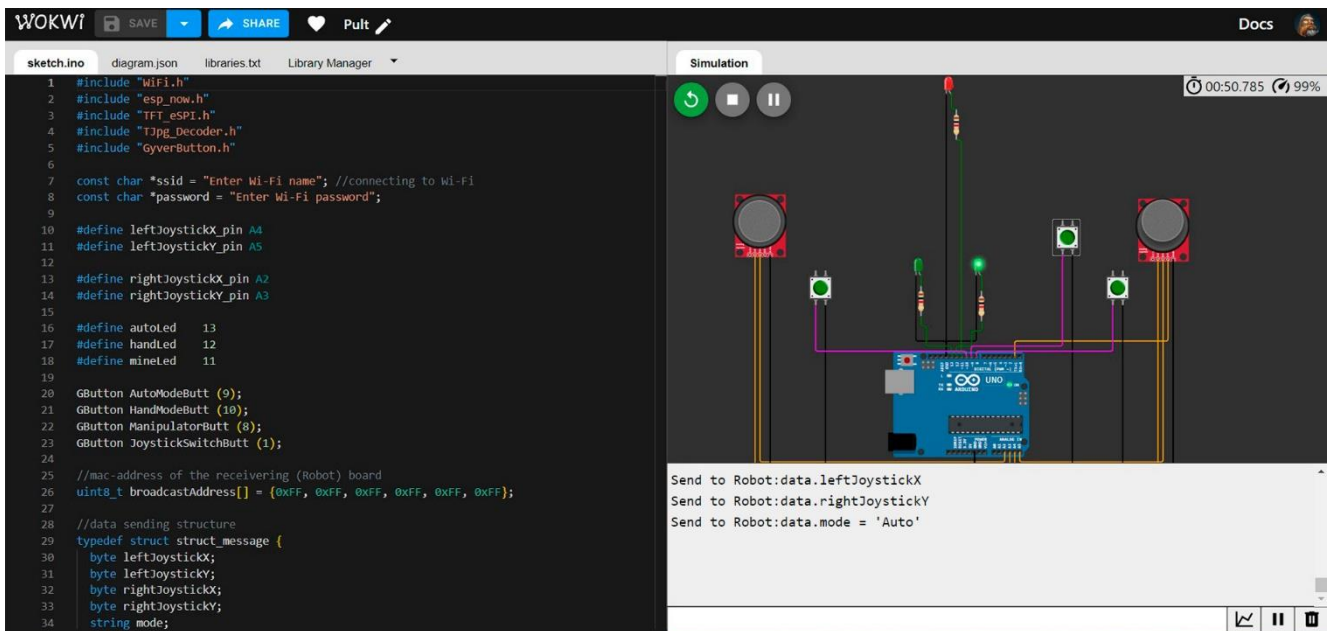


Рисунок 3.12 – Результат надсилання даних про зміну режиму керування з ручного на автоматичний шляхом натискання відповідної кнопки

3.4.2 Симуляція виконання алгоритму обминання перешкод

Для перевірки працездатності виконання алгоритму обминання перешкод роботом-розмінувальником в автоматичному режимі роботи використовуємо 3D симулятор Webots. Для початку, слід створити приблизну модель робота з датчиками відстані та полосу перешкод на його шляху (рис. 3.13).

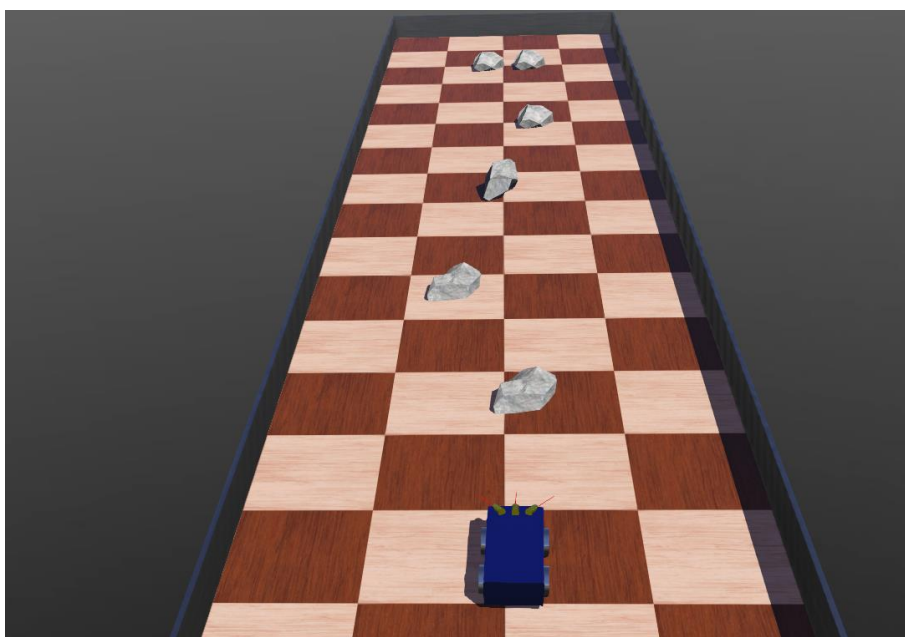


Рисунок 3.13 – Модель робота та полоса перешкод

Для коректної роботи алгоритму слід адаптувати код під нове середовище і запустити симуляцію. Результати симуляції зображені на рисунках 3.14 - 3.16. Повний код системи керування роботом-розмінувальником наведено в додатку Б.

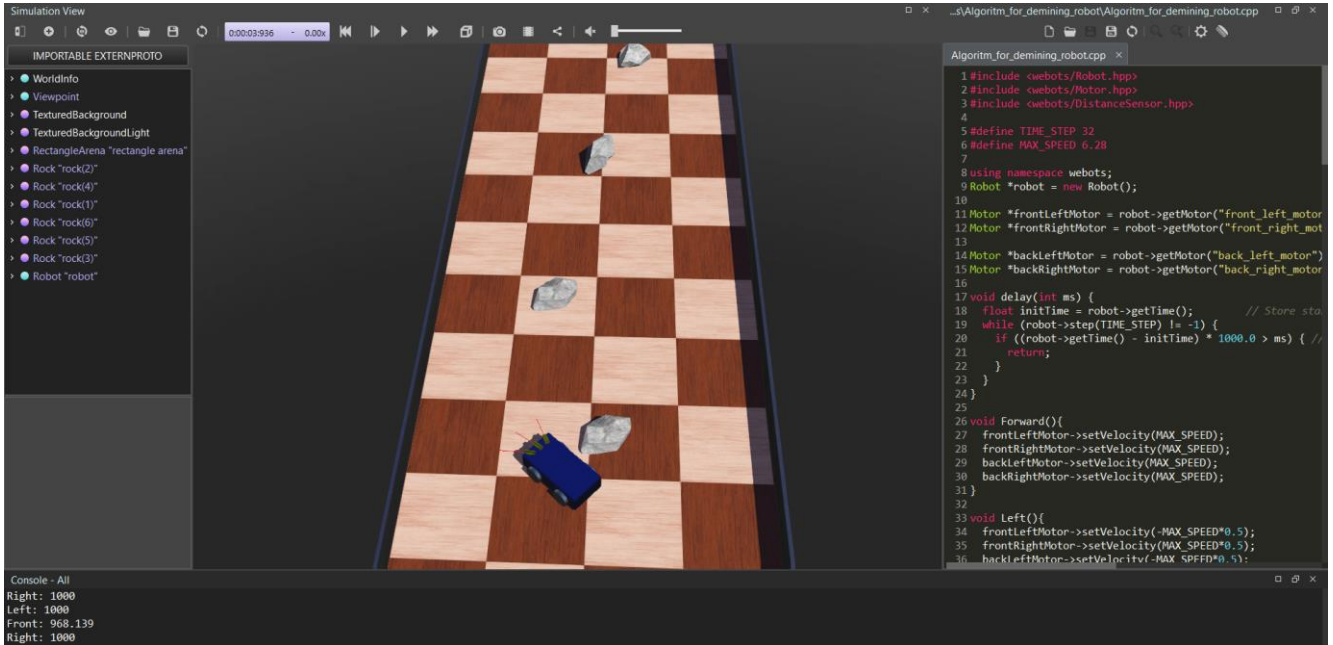


Рисунок 3.14 – Результат виконання алгоритму за умови перешкоди праворуч

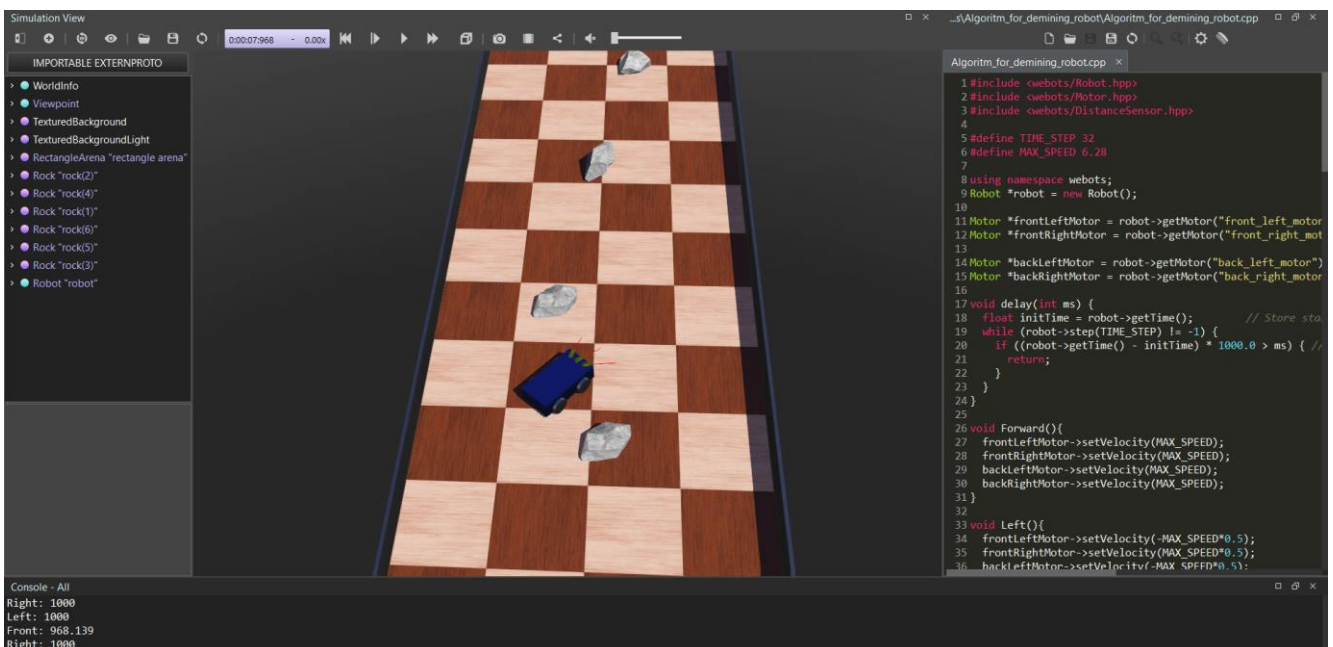


Рисунок 3.15 – Результат виконання алгоритму за умови перешкоди праворуч

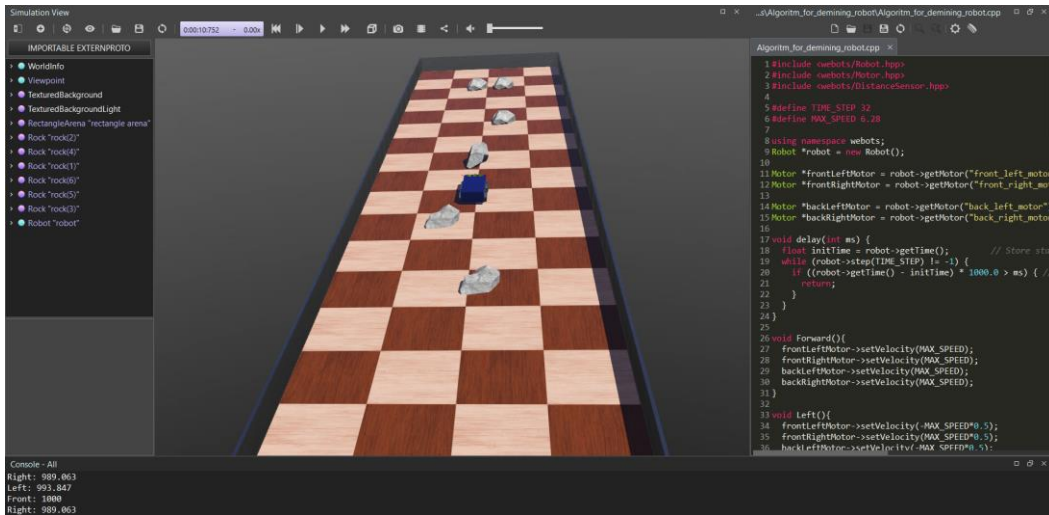


Рисунок 3.16 – Результат виконання алгоритму повернення на попередню траєкторію

3.4.3 Тестування розпізнавання ВП

За допомогою створеної власноруч бібліотеки, що допомагає ESP32 CAM розпізнавати ВП, проведемо тестування. Для цього розмістимо макет міни навпроти нашої камери та запустимо приклад з бібліотеки. Повний код системи керування роботом-розмінувальником наведено в додатку В. Для отримання точних значень слід закріпити камеру в одному положенні. В результаті ми отримуємо дані про положення об'єкту, що виводяться в монітор порту. Процес розпізнавання зображено на рисунках 3.17 - 3.20.

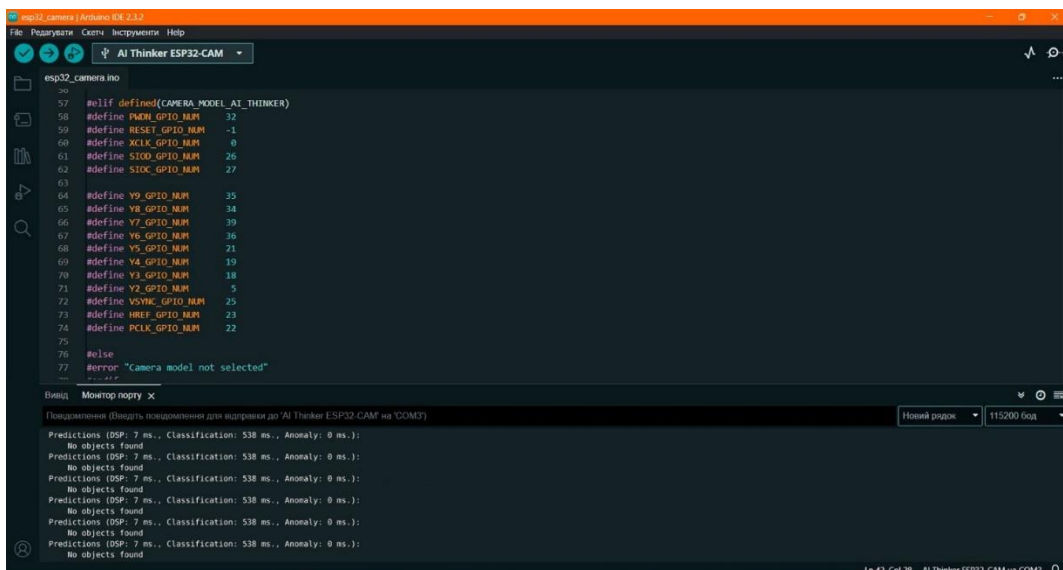


Рисунок 3.17 – Запуск коду в середовищі програмування Arduino IDE

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Структурна схема двигуна постійного току що використовується в мотор-редукторі 12GA-12-1000 зображена на рисунку 4.1. Характеристики цього двигуна наведено в таблиці 4.1.

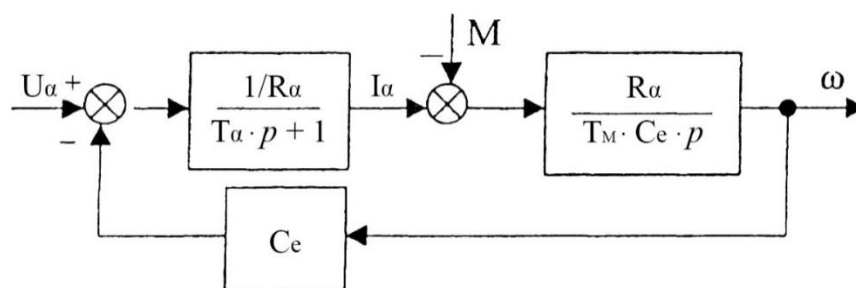


Рисунок 4.1 – Структурна схема двигуна постійного току

Таблиця 4.1 – Характеристики мотору-редуктору 12GA-12-1000

Характеристика	Значення
Номінальна напруга	DC 12 В
Швидкість обертання без навантаження	1000 об/хв (104,72 рад/с)
Швидкість обертання під навантаженням	760 об/хв (79,59 рад/с)
Номінальний струм навантаження	200 мА
Крутний момент (ном.)	0,12 кгс/см (0,01177 Н·м)

Передавальна функція двигуна матиме вигляд:

- передавальна функція за швидкістю:

$$W_D(s) = \frac{\omega(s)}{U_\alpha(s)} = \frac{K_D}{T_D s + 1}; \quad (4.1)$$

- коефіцієнт передачі двигуна:

$$K_D = \frac{1}{C_e}; \quad (4.2)$$

– передавальна функція за моментом:

$$W_M(s) = \frac{\omega(s)}{M_H(s)} = \frac{K_M}{T_D s + 1}. \quad (4.3)$$

Для знаходження необхідних невідомих, першочергово розрахуємо C_e та C_M :

$$C_e = \frac{U_{\text{НОМ}} - I_{\text{НОМ}} R_a}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{12 - 0,2 \cdot 1}{104,72} = 0,023 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}, \quad (4.4)$$

$$C_M = \frac{M_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}} = \frac{0,01177}{0,2} = 0,5885 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}}. \quad (4.5)$$

Використовуючи отримані вище результати, обчислимо параметри передавальної функції двигуна, що шукаються.

Коефіцієнт передачі двигуна:

$$K_D = \frac{1}{0,023} = 43,48 \frac{\text{рад} \cdot \text{В}}{\text{с}}. \quad (4.6)$$

Постійна часу двигуна:

$$T_D = \frac{\left(0,00001 + 0,000002 + \frac{4,5}{0,8 \cdot 411^2}\right) \cdot 1}{0,023 \cdot 0,5885} = 0,0335. \quad (4.7)$$

Коефіцієнт передачі двигуна по моменту опору:

$$K_M = \frac{R_a}{C_e \cdot C_M} = \frac{1}{0,023 \cdot 0,5885} = 738,8 \frac{\text{рад/с}}{\text{Н} \cdot \text{м}}. \quad (4.8)$$

Тепер, отримавши результати вище, обчислимо шукані передавальні функції двигуна.

Передавальна функція за швидкістю:

$$W_D(s) = \frac{43,48}{0,0335s+1}. \quad (4.9)$$

Передавальна функція за моментом:

$$W_M(s) = \frac{738,8}{0,0335s+1}. \quad (4.10)$$

Результат комп'ютерного моделювання передавальної функції двигуна постійного струму зображено на рисунку 4.2.

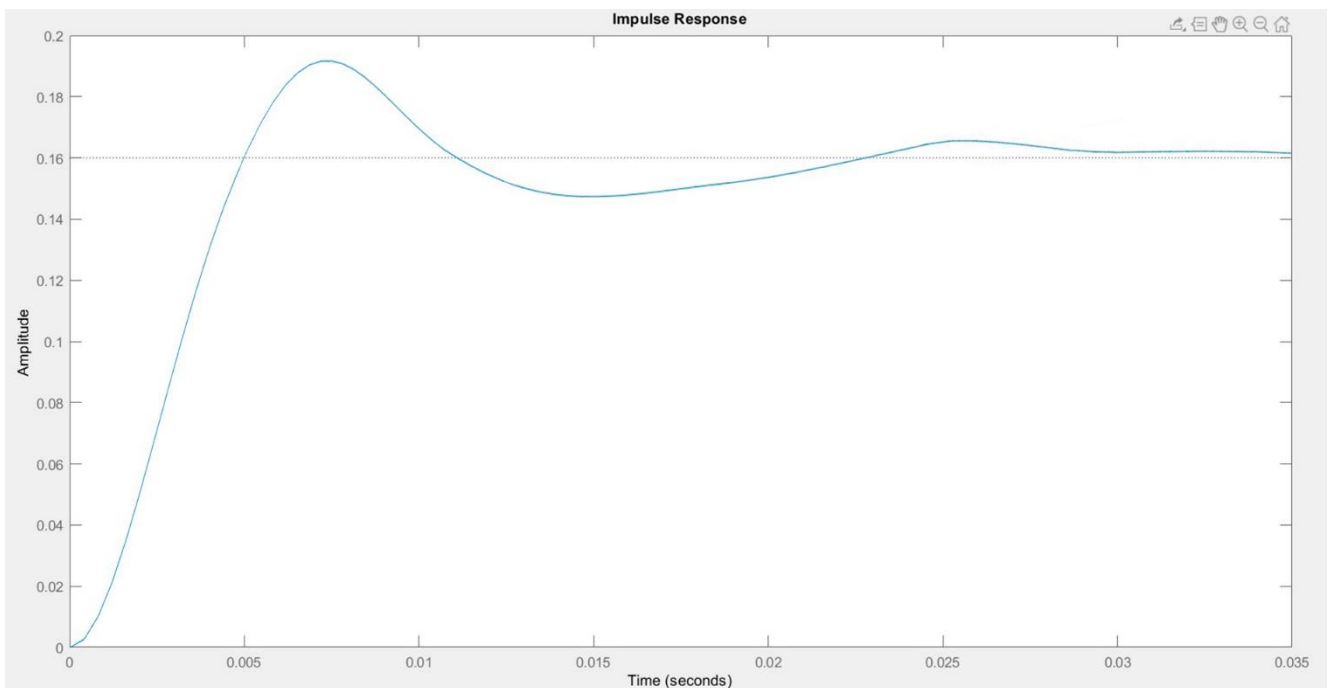


Рисунок 4.2 – Передавальна характеристика відгуку двигуна постійного струму
12GA-12-1000

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основною метою охорони праці є запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням, аваріям та іншим небезпечним ситуаціям на робочому місці. Законодавча база, яка регулює питання охорони праці в Україні, включає Закон України "Про охорону праці" [23], відповідні постанови Кабінету Міністрів України, накази Міністерства охорони здоров'я України, а також державні стандарти та інші нормативно-правові акти, що визначають вимоги до безпеки праці.

5.1 Аналіз умов праці

Процес розробки системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником включає кілька основних етапів: проектування, програмування, тестування та налаштування. Кожен з цих етапів має свої специфічні умови праці та ризики для здоров'я і безпеки працівників. При аналізі умов праці на підприємстві, де здійснюється розробка, необхідно враховувати наявність потенційно шкідливих і небезпечних факторів. До таких факторів відносяться:

- робота з електронним обладнанням під напругою: це може призвести до ураження електричним струмом, особливо під час тестування та налаштування обладнання. Для мінімізації ризиків необхідно забезпечити наявність ізоляційних матеріалів, заземлення та регулярне проведення технічних оглядів обладнання. Крім того, всі працівники повинні пройти спеціальне навчання з електробезпеки;

- використання комп'ютерів і моніторів: тривала робота з комп'ютером може призвести до перенапруження очей, зниження зору, а також проблем з опорно-руховим апаратом через неправильну посадку або використання невідповідних меблів. Для запобігання цим проблемам необхідно організувати робочі місця згідно з ергономічними вимогами, забезпечити належне освітлення та

проводити регулярні перерви для зняття напруги очей;

- тривале сидяче положення: тривале сидяче положення під час роботи може викликати захворювання опорно-рухового апарату, такі як сколіоз, остеохондроз, та інші. Рекомендовано використовувати ергономічні крісла, які підтримують правильну поставу, а також проводити регулярні фізичні вправи або перерви на розминку;

- шкідливі випромінювання: робота з електронними пристроями може бути пов'язана з впливом електромагнітного випромінювання. Для мінімізації негативного впливу рекомендується використовувати захисні екрани, а також дотримуватися безпечних відстаней при роботі з обладнанням;

- психологічне навантаження: висока інтенсивність роботи, тісні терміни виконання завдань, а також відповідальність за результати можуть викликати стресові ситуації та психоемоційне перенапруження. Важливо забезпечити підтримку психологічного комфорту працівників, створити доброзичливу атмосферу в колективі, а також організувати можливість консультування з психологом;

- температурний режим: невідповідні температурні умови можуть негативно вплинути на продуктивність праці та здоров'я працівників. Необхідно підтримувати оптимальний температурний режим у приміщеннях, де здійснюється розробка, за допомогою систем кондиціонування та опалення;

- шумове забруднення: під час роботи з деякими видами обладнання можливий підвищений рівень шуму, що може призвести до зниження концентрації та слухових проблем. Використання засобів захисту слуху та організація звукоізоляційних заходів дозволить зменшити негативний вплив шуму.

Для ефективного аналізу умов праці необхідно проводити регулярні оцінки робочих місць, включаючи вимірювання параметрів мікроклімату, рівня шуму, освітленості та інших факторів, що впливають на здоров'я та безпеку працівників. На основі отриманих результатів розробляються рекомендації щодо покращення умов праці, які включають впровадження сучасних технологій, модернізацію обладнання та вдосконалення організаційних процесів.

5.2 Методи запобігання та усунення негативних факторів

5.2.1 Засоби колективного та індивідуального захисту

Для забезпечення належного рівня безпеки на робочих місцях використовуються різноманітні засоби колективного та індивідуального захисту. Засоби колективного захисту включають встановлення захисних кожухів та екранів на робочих місцях з підвищеним рівнем шуму або випромінювання, а також використання вентиляційних систем для забезпечення якісного повітрообміну в приміщенні.

Індивідуальні засоби захисту включають захисні окуляри для роботи з електронним обладнанням, ергономічні крісла та спеціальні підставки для моніторів, що дозволяють уникнути перенапруження спини та шиї, а також захисні рукавиці для роботи з інструментами під напругою. Всі ці засоби повинні відповідати стандартам безпеки та бути зручними у використанні, що сприяє їх регулярному застосуванню працівниками.

5.2.2 Ергономіка та психологія праці

Ергономічне проектування робочих місць є важливим аспектом забезпечення безпеки та комфорту працівників. Це включає забезпечення належного освітлення робочих місць, використання меблів та обладнання, що відповідають ергономічним вимогам, а також організацію регулярних перерв для зняття напруги та відпочинку.

Психологічний комфорт працівників також має велике значення для загального рівня безпеки на підприємстві. Створення позитивного мікроклімату в колективі, підтримка доброзичливих стосунків між працівниками, надання можливостей для професійного розвитку та підвищення кваліфікації сприяють зниженню рівня стресу та підвищують мотивацію до роботи.

5.2.3 Надзвичайні ситуації та аварійна готовність

Аналіз потенційних аварійних ситуацій включає оцінку ризиків, пов'язаних з перебоями в електропостачанні, пожежами або короткими замиканнями

електронного обладнання, а також поломками або несправностями обладнання під час тестування робота-розмінувальника. Для запобігання таким ситуаціям та мінімізації їх наслідків необхідно розробити план дій у разі надзвичайних ситуацій. Цей план включає регулярне проведення навчань з евакуації, наявність аварійних виходів та маршрутів евакуації, обладнання робочих місць первинними засобами пожежогасіння, встановлення пожежної сигналізації та наявність аптечок першої допомоги на робочих місцях. Крім того, важливо забезпечити співпрацю з місцевими службами порятунку та медичними закладами для оперативного реагування на надзвичайні ситуації.

5.2.4 Організація роботи з охорони праці

Організація роботи з охорони праці на підприємстві включає створення спеціалізованого відділу або призначення відповідальної особи, яка буде займатися питаннями безпеки праці. Основними завданнями цього відділу або особи є проведення регулярних інструктажів з охорони праці для всіх працівників, організація навчань та тренінгів з безпечного виконання робіт, а також періодичний контроль і аудит умов праці на робочих місцях. Інструктажі з охорони праці включають ознайомлення працівників з основними вимогами безпеки, правилами використання засобів захисту та діями у разі виникнення аварійних ситуацій. Навчання та тренінги дозволяють підвищити рівень знань працівників щодо безпечного виконання робіт та сприяють формуванню навичок швидкого реагування на небезпечні ситуації.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи було розроблення системи автоматизації для підвищення ефективності дистанційного керування роботом-розмінувальником.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання:

- проведено аналіз існуючих методів, засобів та систем дистанційного керування роботами-розмінувальниками;
- розроблено структурну схему системи дистанційного керування роботом-розмінувальником;
- проведено підбір елементної бази;
- розроблено алгоритм роботи системи автоматизації дистанційного керування роботом-розмінувальником;
- обрано мову та середовище програмування та реалізовано систему автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником у вигляді програмного засобу.

В результаті виконаної кваліфікаційної роботи було розроблено схеми підключення та програмний засіб, що реалізує систему автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником. За рахунок розроблення даної системи було підвищено ефективність керування роботом-розмінувальником.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Pakhnyts I., Khrustalova S., Khrustalev K. SYSTEM FOR DETECTION AND IDENTIFICATION OF POTENTIALLY EXPLOSIVE OBJECTS IN OPEN AREA. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2022. № 2 (20). С. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.20.106>

2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.

3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарєва, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.

4. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.

5. Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки 2024: матеріали І-ої Всеукраїнської конференції, Харків, 16-17 травня 2024.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2024. – 163 с.

6. Digital Vanguard-S [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.epequip.com/wp-content/uploads/Product_Datasheet/Unamned_Ground_Systems/UGV_DV.pdf – 10.04.2024.

7. Way Industries Bozena 4. Міношукачі та пристрої для розмінування [Електронний ресурс] – Міношукачі Україна. – Режим доступу: www.wiki.minoshukach.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/way-industries-bozena-4-20230401-34909.pdf – 10.04.2024.

8. ATLAS SeaFox. Atlas Elektronik [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/005_Seafox.pdf](https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/005_Seafox.pdf) – 10.04.2024.

9. Україна отримала від Данії дрони для розмінування [Електронний ресурс] – MILITARNYI. – Режим доступу: [www. URL: https://mil.in.ua/uk/news/ukrayina-otrymala-vid-daniyi-drony-dlya-rozminuvannya/](https://mil.in.ua/uk/news/ukrayina-otrymala-vid-daniyi-drony-dlya-rozminuvannya/) – 10.04.2024.

10. Інтерактивна мапа територій, які потенційно можуть бути забруднені вибухонебезпечними предметами. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://mine.dsns.gov.ua/](https://mine.dsns.gov.ua/) – 14.05.2024.

11. Getac X500. RUGGED EXPERTS [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://www.rugged-experts.com/shop/getac/getac-x500-wojskowy-notebook](https://www.rugged-experts.com/shop/getac/getac-x500-wojskowy-notebook) – 16.05.2024.

12. AeroVironment, Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://www.avinc.com/images/uploads/product_docs/Robo_Command_GCS_Datasheet_09082021.pdf](https://www.avinc.com/images/uploads/product_docs/Robo_Command_GCS_Datasheet_09082021.pdf) – 16.05.2024.

13. Tactical Robot Controller [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://www.qinetiq.com/en/what-we-do/services-and-products/tactical-robot-controller](https://www.qinetiq.com/en/what-we-do/services-and-products/tactical-robot-controller) – 16.05.2024.

14. Universal Controller - LITE. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://www.qinetiq.com/en/what-we-do/services-and-products/universal-controller-lite](https://www.qinetiq.com/en/what-we-do/services-and-products/universal-controller-lite) – 16.05.2024.

15. Невлюдов І. Ш., Цимбал О. М., Бронніков А. І., Мордик О. О. Інтернет речей для робототехнічних проєктів. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 3 (13). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.058>.

16. Плата Arduino Uno R3 CH340 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www. URL: https://arduino kit.com.ua/ua/p1137698825-plata-arduino-uno.html](https://arduino kit.com.ua/ua/p1137698825-plata-arduino-uno.html) – 25.05.2024.

17. Плата Arduino Nano V3 AVR на ATmega328 [Електронний ресурс] – Режим доступу: www. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/arduino-nano-v3-avr-atmega328> – 25.05.2024.

18. Плата розробки ESP32 Wemos D1 R32 (Wi-Fi + Bluetooth) [Електронний ресурс] – Режим доступу: www. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/esp32-wemos-d1-r32-development-board-wi-fi-bluetooth> – 25.05.2024.

19. Плата розробки STM8S103F3P6 [Електронний ресурс] – Режим доступу: www. URL: <https://uamper.com/%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C-%D1%81-%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC-STM8S003F3P6-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B0-%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B0-STM8> – 25.05.2024.

20. RASPBERRY PI 3 MODEL B [Електронний ресурс] – Режим доступу: www. URL: <https://miniboard.com.ua/boards/272-raspberry-pi-3-model-b.html> – 25.05.2024.

21. Модуль Wi-Fi ESP32-CAM з камерою 2MP [Електронний ресурс] – Режим доступу: www. URL: <https://arduino.ua/prod3458-modyl-wi-fi-esp32-s-kameroi-2mp> – 25.05.2024.

22. 4.0inch SPI Module ST7796 [Електронний ресурс] – LCD wiki. – Режим доступу: www. URL: http://www.lcdwiki.com/7.0inch_16BIT_Module_SSD1963 – 28.05.2024.

23. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII : станом на 1 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> – 13.06.2024.