Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення макета мобільного робота для розмінування вибухонебезпечних об'єктів
(тема)

Виконала:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТАКІТ-22-2
Індіра ДВОЙНІКОВА
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Владислав ЄВСЄЄВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри КІТАРБІ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Я, Двойнікова Індіра Євгенівна, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовувала штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

“8” липня 2026 р. Індіра ДВОЙНІКОВА



ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет АКТС

Кафедра КІТАРБІ

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 КІТАРБІ _____
(підпис)

«30 »квітня 20 26 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентці Двойніковій Індірі Євгенівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення макета мобільного робота для розмінування вибухонебезпечних об'єктів

Затверджена наказом університету від 04.06.2026р. № 472 Ст

2. Термін подання роботи до екзаменаційної комісії 14.07.2026р.

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Мобільна платформа 2WD

3.2 Система передачі потокового відео на базі Wi-Fi

3.3 Система керування на базі сімейства протоколу 802.11

3.4 Розпізнавання вибухонебезпечних предметів методом магнітної індукції

3.5 Реалізація функцій дистанційного підриву

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз сучасних систем для роботизованого пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів;

4.3 Аналіз методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів;

4.4 Розробка структури та макета мобільної платформи для пошуку та розмінування;

4.5 Розробка системи керування платформи для пошуку та розмінування

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt). – 10 с. Формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем для роботизованого пошуку	30.04.2026-09.05.2026	Виконано
2	Розробка макета мобільної платформи для пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів	10.05.2026-03.06.2026	Виконано
3	Розробка системи керування платформи для пошуку та розмінування	04.06.2026-03.07.2026	Виконано
4	Оформлення пояснювальної записки	06.07.2026	Виконано
5	Подання роботи на нормоконтроль	08.07.2026	Виконано
6	Подання роботи на антиплагіат	09.07.2026	Виконано
7	Подання роботи на рецензію	10.07.2026	Виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	14.07.2026	Виконано

Дата видачі завдання 30.04.2026р.

Здобувач _____ Індіра ДВОЙНІКОВА
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ професор Владислав ЄВСЄЄВ
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 4 табл., 32 рис., 5 дод., 27 джерел.

МОБІЛЬНА ПЛАТФОРМА, МЕТАЛОШУКАЧ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ОБ’ЄКТИ, РОЗМІНУВАННЯ.

Метою даною кваліфікаційної роботи є покращення ефективності пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів, за рахунок розроблення мобільного робота.

Об’єкт розробки – процес пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів.

Предмет розробки – апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення методів пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів.

В даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз учасник роботизованих платформ для пошуку мін, їх конструкція та засоби керування. Проведено аналіз апаратних модулів. На базі проведеного аналізу – обрано відповідні апаратні модулі. Розроблено структурну схему. Розроблена робоча програма для пошуку та знищення вибухонебезпечних об’єктів. Розроблена програма для керування та отримання відео від мобільної платформи та командою для самознищення разом з вибухонебезпечним об’єктом.

Проведені експерименти с відстанню розпізнавання металів, залежності площини метала на відстань її розпізнавання.

Також, отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 "Промисловість, інновації та інфраструктура", а саме п.9.3 "Забезпечити доступність дорожньотранспортної інфраструктури, яка базується на використанні інноваційних технологій, зокрема через розширення форм участі держави у різних інфраструктурних проектах".

ABSTRACT

Explanatory note: 68 p., 4 tables, 32 figures, 5 appendices, 27 sources.

MOBILE PLATFORM, METAL DETECTOR, EXPLOSIVE FACILITIES, DEMINING.

The purpose of this qualification work is to improve the efficiency of searching and clearing explosive objects by developing a "kamikaze" robot.

The object of development is the process of searching and clearing explosive objects.

The subject of development is hardware, algorithmic and software support for methods of searching and clearing explosive objects.

In this qualification work, an analysis of the participants of robotic platforms for searching for mines, their design and control means was conducted. An analysis of hardware modules was conducted. Based on the analysis, the appropriate hardware modules were selected. A structural diagram was developed. A working program for searching and destroying explosive objects was developed. A program for controlling and receiving video from a mobile platform and a command for self-destruction together with an explosive object was developed.

Experiments were conducted with the distance of metal recognition, the dependence of the metal plane on the distance of its recognition.

Furthermore, the results obtained can be linked to Sustainable Development Goal 9, "Industry, Innovation and Infrastructure" – specifically Target 9.3: "Ensure the accessibility of road transport infrastructure based on the use of innovative technologies, particularly through expanding forms of state participation in various infrastructure projects."

ЗМІСТ

Перелік скорочень…….9

Вступ..…….....10

1. Аналіз сучасних систем для роботизованого пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів.……...13

1.1 Аналіз переваг та недоліків сучасних роботизованих платформ пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів.……13

1.2 Аналіз сучасних вибухонебезпечних пристроїв.……..14

1.3 Аналіз методів керування мобільної платформи.…….19

1.4 Аналіз методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів.……..20

2. Розробка структури та макета мобільної платформи для пошуку та розмінування.……..……...……...22

2.1 Розробка структурний схеми мобільної платформи…….22

2.2 Вибору апаратних модулів керування……23

2.3 Розробка схеми підключення……..29

2.4 Розрахунок системи на стійкість……31

2.5. Розробка макета мобільної платформи…….32

3. Розробка системи керування платформи для пошуку та розмінування……..35

3.1 Обґрунтування вибору середовища розробки……35

3.2 Розробка алгоритму керування……37

3.3 Реалізація HMI оператора…….……38

3.4 Розробка програми для мікроконтролера……42

3.5 Експериментальні дослідження……...45

3.6 Розрахунок БЖД……47

Висновки…….…….49

Перелік джерел посилань……...50

Додаток А Апробація…….54

Додаток Б Код програми для отримання та обробки зображення….....58

Додаток В Код програми для ESP32-CAM……...61

Додаток Г Код програми мікроконтролера WeMos D1……...65
Додаток Д Демонстраційний матеріал……...……..68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

МК – мікроконтролер;

НДР – науково-дослідна робота;

ПЗ – програмне забезпечення;

GPS (англ. Global Positioning System) – глобальна система позиціонування;

IDE (англ. Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки;

URL (англ. Uniform Resource Locator) – веб-адреса.

ВСТУП

Станом на сьогоднішній етап розвитку глобальної геополітичної ситуації, Україна обіймає провідні позиції у світових статистичних зведеннях щодо рівня забруднення територій мінно-вибуховими пристроями та нерозірваними боєприпасами. Ця критична ситуація є прямим наслідком безперервних та інтенсивних бойових дій, причому найвищий ступінь екологічної та техногенної небезпеки закономірно фіксується безпосередньо в прифронтових регіонах, де динаміка збройного протистояння залишається перманентно високою. Масштаби зазначеної проблеми набувають безпрецедентного характеру не лише в контексті фізичної безпеки населення, але й з огляду на макроекономічні показники. За попередніми комплексними розрахунками міжнародних експертних інституцій, прогнозована фінансова вартість повного циклу заходів із гуманітарного та військового розмінування території держави сягає орієнтовно тридцяти семи мільярдів доларів США, що створює надмірне навантаження на національну економічну систему.

Історично склалося так, що базовим підходом до виконання завдань з очищення інфраструктурних об'єктів та сільськогосподарських угідь від вибухонебезпечних предметів було залучення безпосередньої праці висококваліфікованих фахівців-саперів. Цей класичний метод, попри свою методичну обґрунтованість, невідворотно супроводжується критичним рівнем ризику для життя та здоров'я залученого персоналу. Крім того, практична реалізація ручної праці фахівців у зонах, просторово наближених до лінії бойового зіткнення, суттєво ускладнюється або стає об'єктивно неможливою через постійний вогневий вплив та високу щільність комбінованих мінних загороджень.

На тлі вищезазначених викликів, стрімкий прогрес у галузі прикладної робототехніки, механіки та інформаційних технологій відкриває принципово нові науково-технічні горизонти для розробки більш безпечних, оптимізованих та економічно доцільних концепцій очищення земель. Найбільш раціональним

вектором у цьому контексті видається масове впровадження спеціалізованих безекіпажних систем. Фундаментальна перевага таких інноваційних комплексів полягає в їхній здатності здійснювати повний спектр операцій з локалізації та фізичної нейтралізації вибухових пристроїв без безпосередньої участі людини-оператора в небезпечній зоні. Такий підхід не лише мінімізує санітарні та безповоротні втрати серед особового складу, але й суттєво інтенсифікує загальний алгоритм проведення робіт.

Проте, практична ефективність функціонування мобільних роботизованих платформ перебуває у прямій залежності від якості інтегрованих апаратно-програмних комплексів виявлення. Враховуючи значну гетерогенність сучасного арсеналу мінного озброєння, що характеризується широкою варіативністю матеріалів корпусу, різноманітністю принципів ініціації та глибиною маскування, виникає об'єктивна необхідність у застосуванні диференційованого підходу до конструювання сенсорних модулів. Відповідно, для забезпечення високої ймовірності правильної ідентифікації кожного специфічного класу вибухонебезпечних об'єктів вимагається синергетичне поєднання різних фізичних методів детекції та вузькоспеціалізованого вимірювального обладнання.

Таким чином, метою даною кваліфікаційної роботи є покращення ефективності пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів, за рахунок розроблення мобільного робота.

Об’єкт розробки – процес пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів.

Предмет розробки – апаратне, алгоритмічне та програмне забезпечення методів пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі: проаналізувати сучасні системи пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів, розробити макет мобільної платформ, а також систему керування цієї платформи для пошуку та розмінування.

Кваліфікаційну роботу оформлено згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з використанням навчально-методичних матеріалів [2-3]. Закон України “Про

вищу освіту” від 01.07.2014 No 1556-VII [4]. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ та про академічну доброчесність [5-6].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОГО ПОШУКУ ТА РОЗМІНУВАННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Аналіз переваг та недоліків сучасних роботизованих платформ пошуку та розмінування вибухонебезпечних об'єктів

Сучасні роботизовані комплекси, зокрема платформи BOBCAT та ГНОМ (рис. 1.1) [7], оснащуються мультисенсорними системами виявлення вибухонебезпечних предметів, що інтегрують відеофіксацію, тепловізійні, георадіолокаційні та електромагнітні датчики.

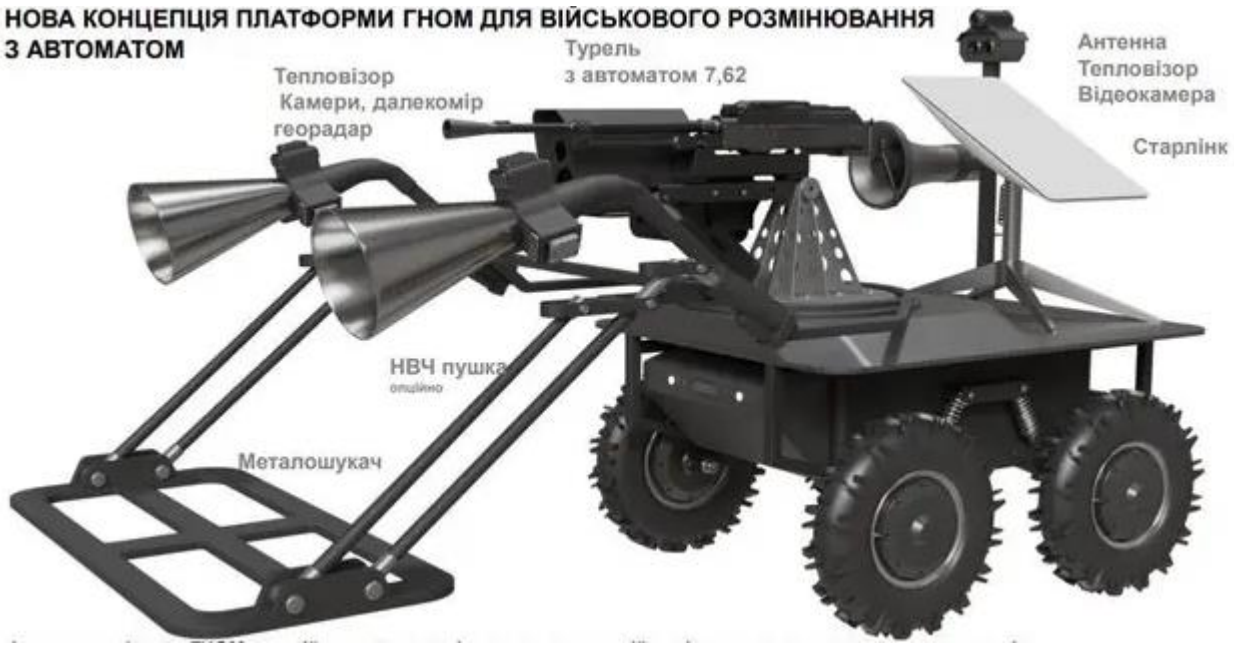


Рисунок 1.1 – Роботизований комплекс ГНОМ [7]

Для аналізу масивів отриманих даних та прецизійної локалізації загроз застосовуються алгоритми штучних нейронних мереж. Впровадження таких безекіпажних технологій об'єктивно мінімізує небезпеку для саперних підрозділів та суттєво інтенсифікує процес очищення територій. Конструктивні особливості платформи ГНОМ передбачають наявність модуля активного дистанційного знешкодження, який реалізовано у вигляді стрілецької турелі

калібру 7,62 мм, що забезпечує кінетичне знищення ідентифікованого боєприпасу з дотриманням просторової ізоляції оператора. Своєю чергою, архітектура комплексу BOBCAT включає багатофункціональний маніпулятор, укомплектований металодетектором, механічним скребком, профілюючим колесом та захисним ковшем. Застосування механізму копіювання рельєфу забезпечує стабільне позиціонування датчика відносно поверхні та нівелює вплив макронерівностей ґрунту, тоді як фронтальний ківш виконує захисну функцію та здійснює розчищення маршруту пересування. Апаратно-програмна інтеграція зазначених інноваційних рішень формує надійне підґрунтя для оптимізації та убезпечення операцій із розмінування.

Серед переваг можна відокремити зокрема:

– ефективність виявлення мін в широкому спектрі аналізу;

– мобільність, можливість шукати міни в труднодоступних місцях;

– віддалене керування дозволяє безпечно для оператора ліквідовувати міни.

Значний недолік, це вартість даної роботизованої системи, яка сягає приблизно мільйона гривень за одиницю.

1.2 Аналіз сучасних вибухонебезпечних пристроїв

Номенклатура мінно-вибухових пристроїв, що застосовуються Російською Федерацією на території України, характеризується значною варіативністю конструктивних рішень та принципів дії, що генерує комплексні інженерні виклики для розробників роботизованих систем розмінування. Зокрема, фугасні протипіхотні міни сімейств ПФМ (рис. 1.2) [8] та ПМН відзначаються мінімальним вмістом феромагнітних елементів або їх повною відсутністю завдяки використанню полімерних корпусів. Ця фізична особливість нівелює ефективність традиційних електромагнітних індукційних датчиків, зумовлюючи необхідність інтеграції високочастотних георадіолокаційних систем, тепловізійного обладнання та оптичних сенсорів із підтримкою нейромережевого розпізнавання образів.



Рисунок 1.2 – Протипіхотна міна сімейства ПФМ [8]

Осколкові протипіхотні міни кругового ураження, такі як ОЗМ-72 (рис. 1.3) [9] та системи дистанційного мінування серії ПОМ, вимагають відмінних підходів до ідентифікації.



Рисунок 1.3 – Осколкові протипіхотні міни кругового ураження ОЗМ-72 [9]

Якщо детекція тонких натяжних датчиків цілі потребує застосування акустичних сенсорів та високороздільних лідарів, то новітні зразки на кшталт ПОМ-3 (рис. 1.4) [10], оснащені сейсмічними підривниками, становлять фундаментальну загрозу для самих безекіпажних платформ. Алгоритми таких підривників здатні аналізувати амплітудно-частотні характеристики вібрацій ґрунту, що створює критичний ризик превентивної дистанційної детонації від сейсмічного тиску, який генерується масою та рушієм роботизованого комплексу під час руху



Рисунок 1.4 – Міна ПОМ-3 [10]

Протитанкові міни, що представлені як масивними натискними моделями серії ТМ-62 (рис. 1.5) [11].



Рисунок 1.5 – Противотанкова міна ТМ-62 [11]

Так як і противотанкова міна ТМ-62, касетний боєприпас дистанційного мінування ПТМ-3 (рис. 1.6) [12], імплементують додатковий фактор ризику через часте використання магнітних підривників. Взаємодія таких датчиків із металевими конструкціями шасі або активними електромагнітними полями пошукових котушок робота призводить до ініціації заряду за рахунок ефекту магнітного впливу.



Рисунок 1.6 – Касетний боєприпас дистанційного мінування ПТМ-3 [12]

Була зроблена порівняльна табличка вибухонебезпечних об’єктів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика мін

Назва міни	Тип міни	Матеріал корпусу	Чи має металеві компоненти?	Орієнтовна площа металу
ПТМ-3 [12]	Протитанкова, кумулятивна (касетна)	Штампована сталь	Так (100% метал)	Дуже велика (> 1500 см²)
ТМ-62М [11]	Протитанкова, фугасна	Сталь	Так (100% метал)	Дуже велика (> 1500 см²)
ТМ-62П (Пластик)[11]	Протитанкова, фугасна	Пластмаса / Тканина	Так (100% метал)	Середня (~ 20–50 см²)

Продовження таблиці 1.1

Назва міни	Тип міни	Матеріал корпусу	Чи має металеві компоненти?	Орієнтовна площа металу
ПОМ-3 [10]	Протипіхотна, осколкова, вистрибуюча	Сталь / Сплави	Так (корпус + електроніка)	Велика (~ 300–400 см²)
ПФМ-1 / ПФМ-1С [8]	Протипіхотна, фугасна (касетна)	Поліетилен	Так (але критично мало)	Мізерна (< 1.5 см²)

Проведений теоретичний аналіз переконливо свідчить про те, що класичні інженерні боєприпаси, зокрема протитанкові (ПТМ-3, ТМ-62М) та масивні протипіхотні міни (ОЗМ-72, ПОМ-3), характеризуються наявністю значної площі суцільної металевої поверхні. З фізичної точки зору це забезпечує оптимальні умови для виникнення потужних вихрових струмів під впливом змінного електромагнітного поля випромінювальної котушки датчика.

Водночас, критичною технологічною проблемою залишається ідентифікація малометалевих вибухонебезпечних предметів та сучасних боєприпасів, корпуси яких виготовлені переважно з полімерних чи композитних матеріалів. Процес апаратного виявлення таких об’єктів ускладнюється на кілька порядків, оскільки мізерна кількість струмопровідних елементів не здатна індукувати вторинне магнітне поле достатньої амплітуди. Через критичну нестачу ефективної площі взаємодії, подібні приховані загрози практично не викликають необхідних збурень у резонансному контурі приладу, залишаючись невидимими під час стандартного електромагнітного сканування поверхні.

1.3 Аналіз методів керування мобільної платформи

Аналіз методів керування сучасними мобільними платформами передбачає розгляд багаторівневої архітектури, яка об'єднує низькорівневе регулювання виконавчих механізмів та високорівневі алгоритми прийняття рішень. З інженерної точки зору, вибір стратегії керування безпосередньо визначає ефективність виконання завдань, особливо в умовах непередбачуваного або високоризикового навколишнього середовища.

За ступенем автономності та розподілом функцій між людиною і машиною системи керування класифікуються на кілька базових парадигм.

Дистанційне телекерування [13] залишається безальтернативним для платформ, що працюють у критичних умовах, де необхідна обов'язкова участь людини в циклі прийняття рішень. Пряме керування приводами здійснюється через захищені радіоканали. Основною технічною проблемою цього методу є залежність від пропускної здатності каналу зв'язку та затримки передачі відеопотоку і телеметрії, що суттєво обмежує динамічні характеристики платформи та призводить до швидкої когнітивної втоми оператора.

Метод напівавтономного керування базується на концепції розподілу інтелекту. Оператор генерує глобальні цілі, тоді як бортовий обчислювальний комплекс платформи бере на себе завдання локального навігування. Платформа самостійно розраховує кінематичні траєкторії, стабілізує просторове положення та здійснює об'їзд локальних перешкод на основі даних із бортових сенсорів. Це значно знижує навантаження на оператора та нівелює проблему затримок зв'язку.

Для реалізації повністю автономного руху застосовуються алгоритми одночасної локалізації та побудови карти, а також нейромережеві моделі. Система керування самостійно аналізує навколишнє середовище за допомогою парадигми Sensor Fusion, класифікує об'єкти, прогнозує зміни обстановки та генерує глобальні траєкторії руху в умовах повної невизначеності.

Фундаментом для реалізації будь-якої з вищезазначених стратегій є математичний апарат автоматичного регулювання, що імплементується на рівні мікроконтролерів або промислових програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Для класичних колісних та гусеничних шасі переважно використовуються ПІД-регулятори, що забезпечують мінімізацію похибки між заданою та фактичною швидкістю обертання рушіїв. Для платформ зі складним кінематичним зв'язком або крокуючих шасі доцільнішим є застосування систем керування на базі прогнозуючих моделей або нечіткої логіки, які здатні враховувати динамічні обмеження системи та фізику взаємодії рушія з ґрунтом у режимі жорсткого реального часу.

1.4 Аналіз методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів

Виявлення вибухонебезпечних предметів є найскладнішим етапом гуманітарного та військового розмінування. Оскільки сучасні міни виготовляються з різноманітних матеріалів (від сталі до полімерів і дерева), жоден окремо взятий фізичний принцип не здатний забезпечити стовідсоткове виявлення загроз. Тому інженерна наука класифікує методи детекції за фізичною природою явищ, які вони аналізують.

Електромагнітні методи [14], це найдавніший і найбільш розповсюджений підхід, що базується на явищі електромагнітної індукції. Датчик генерує змінне магнітне поле, яке індукує вихрові струми в будь-якому металевому об'єкті поблизу. Ці струми, своєю чергою, створюють вторинне магнітне поле, яке фіксується приймальною котушкою. Цей метод є безальтернативним для пошуку класичних боєприпасів у сталевих корпусах (наприклад, мін ТМ-62М або артилерійських снарядів). Однак в умовах сучасних конфліктів він демонструє критичну вразливість: величезну кількість хибних спрацьовувань на безпечне металеве сміття (осколки, гільзи, цвяхи) та повну неефективність проти мін у пластикових корпусах (ПМН-2, ПФМ-1), де вміст металу зведений до міліграмів.

Радіолокаційні методи [14], для подолання обмежень індукційних систем застосовуються георадари. Цей метод полягає у випромінюванні надвисокочастотних радіохвиль у ґрунт та реєстрації відбитих сигналів. Георадар фіксує не сам метал, а межу розділу середовищ із різною діелектричною проникністю – наприклад, перехід від вологого ґрунту до

пластикового корпусу міни або повітряної порожнини всередині неї. Завдяки цьому методу роботизовані платформи здатні «бачити» пластикові та дерев'яні міни, а також визначати глибину їх залягання. Головним недоліком георадарів є сильне згасання сигналу у вологих глинистих ґрунтах та складність математичної обробки відбитих сигналів, що вимагає залучення потужних обчислювальних систем.

Оптичні та тепловізійні методи [14], ця група методів орієнтована на виявлення мін, встановлених на поверхні, систем дистанційного мінування та тонких розтяжок. Інфрачервона термографія базується на тому, що міна (металева чи пластикова) має інші показники теплоємності та теплопровідності порівняно з навколишнім ґрунтом. Протягом доби вона нагрівається та охолоджується з іншою швидкістю, створюючи температурний контраст, який чітко фіксується тепловізором. Своєю чергою, лазерне сканування формує високоточну 3D-карту мікрорельєфу поверхні, що дозволяє алгоритмам машинного зору ідентифікувати тонкі натяжні дроти та геометрію поверхневих боєприпасів, які неможливо знайти георадаром чи металошукачем.

Акустично-сейсмічні та хімічні методи [14], сейсмічний метод передбачає генерацію звукових хвиль у ґрунті за допомогою випромінювача. Оскільки корпус міни та ґрунт мають різні механічні резонансні властивості, лазерний віброметр на поверхні фіксує мікроскопічні коливання землі, безпомилково відрізняючи міну від каменя або кореня дерева. Це метод із найнижчим рівнем хибних спрацьовувань, але він є вкрай повільним. Хімічні детектори працюють як "електронні носи", спектрометрично виявляючи молекули тротилу чи гексогену, що дифундують крізь корпус міни в повітря або ґрунт.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА МАКЕТА МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПОШУКУ ТА РОЗМІНУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми мобільної платформи

На першому етапі була розроблена структурна схема мобільної платформи (рис. 2.1). Дана схема була створена с використанням програмного засобу drowio [15].

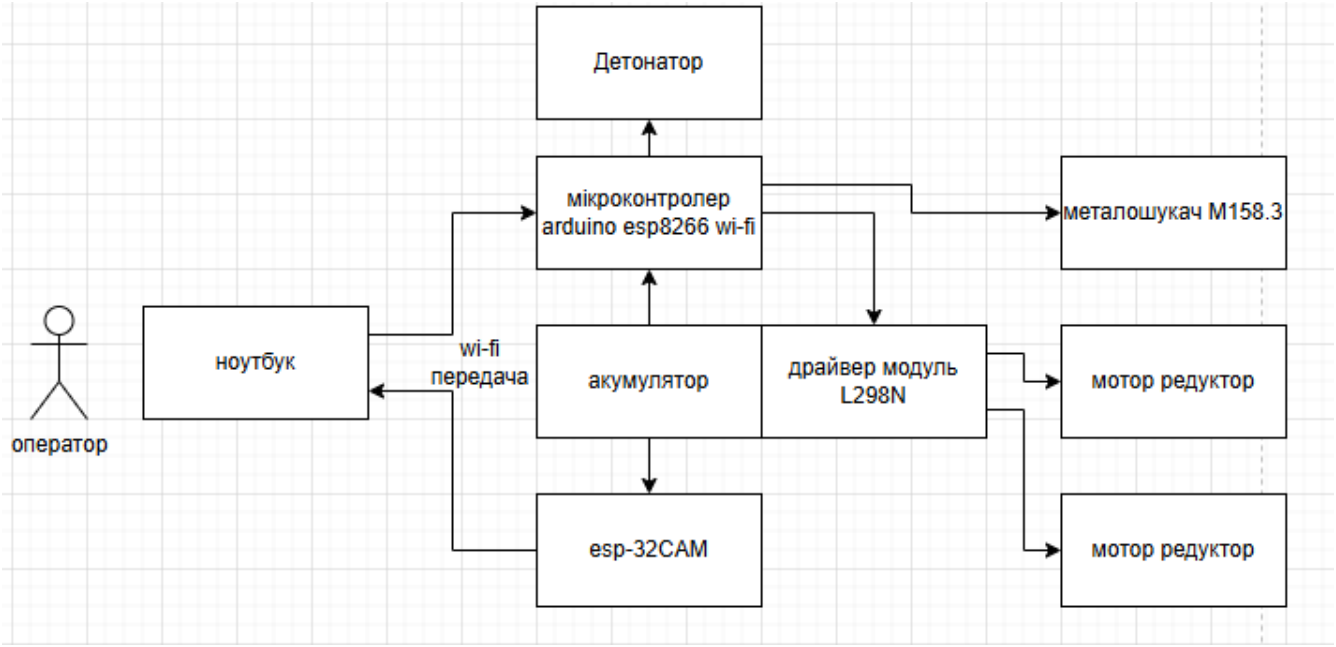


Рисунок 2.1 – Структурна схема мобільної платформи

Дана структурна схема включає в собі наступні компоненти.

1. Ноутбук – ключовий елемент керування, передача даних завдяки Wi-Fi, що дозволяє на достатньої відстані для експериментів мати стабільний зв’язок для отримання відео та надсилання команд керування.

2. Мікроконтролер esp8266 – елемент керування робота, отримає команди від оператора, та в залежності від них надсилає керуючі сигнали на драйверний модуль, також отримує сигнал від металошукача.

3. Металошукач М158.3 – датчик для виявлення вибухонебезпечних пристроїв електромагнітним методом.

4. Драйвер модуль L289N – забезпечує керування моторами для керування мобільною платформою.

5. Мотор редуктор – виконавчий пристрій, забезпечує пересування мобільного робота в просторі в залежності від отриманих керуючих сигналів.

6. ESP32-CAM – мікроконтролер с наявною камерою для передачі відеопотоку по Wi-Fi мережі, забезпечуючи стабільний зв’язок з ноутбуком оператора, дозволяє бачити очима робота для забезпечення безпеки оператора.

7. Акумулятор – живлення мобільного робота, питає всю систему, дозволяючи автономно працювати тривалий час.

8. Детонатор – виконавчий пристрій, який здетонує при отриманні сигналу від оператора, вибух ліквідує робота разом з міною.

Дана структурна схема показує зв’язки між елементами та метод взаємодії с оператором.

2.2 Вибір апаратних модулів керування

Для роботи можна використати різні камери, які будуть підключатись до контролера, або бути самостійними від нього, для порівняння (таблиця 2.1) були обрані наступні пристрої:

– мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero 2 W + Camera V2 (рис. 2.2) [16];

– плата Seeed Studio XIAO ESP32S3 Sense (рис. 2.3) [17];

– плата ESP32-CAM з камерою OV2640 (рис. 2.4) [18].



Рисунок 2.2 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero 2 W + Camera V2 [16]



Рисунок 2.3 – Плата Seeed Studio XIAO ESP32S3 Sense [17]



Рисунок 2.4 – Плата ESP32-CAM з камерою OV2640 [18]

Таблиця 2.1 – порівняння мікроконтролерів с камерою

Пристрій	Мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero 2 W + Camera V2 [16]	Плата Seeed Studio XIAO ESP32S3 Sense [17]	Плата ESP32-CAM з камерою OV2640 [18]
Роздільна здатність	3280 × 2464 (8 Мп)	UXGA 1600x1200 (15 fps)	UXGA 1600x1200 (15 fps) / SVGA 800x600 (30 fps)
Потребує додаткового обладнання	+ (MicroSD карта, CSI шлейф)	-	-
Розміри	65 мм × 30 мм × 5 мм (тільки плата)	21 мм × 17,5 мм × 15 мм	40,5 мм x 27 мм x 4,5 мм
Ціна	1800 грн	850 грн	289 грн
Вага	12 г	5 г	10 г
Напруга живлення	5 В	5 В	5 В

Мною був обраний ESP32-CAM, він самостійний, дешевий, передає відео по вай-фаю, а також він має відносно нізьку вагу та розміри, які дозволять використовувати його для мобільної платформи

Для пошуку вибухонебезпечних об’єктів потрібно обрати металошукач, порівняльна характеристика наведена в таблиці 2.2, металошукачі які були розглянуті:

– металошукач M158.3 (рис. 2.5) [19];

– MD-300B (рис. 2.6) [20];

– PI-модуль (Pulse Induction) (рис. 2.7) [21].



Рисунок 2.5 – Металошукач М158.3 [19]



Рисунок 2.6 – MD-300B [20]



Рисунок 2.7 – PI-модуль (Pulse Induction) [21]

Таблиця 2.2 – Порівняння металошукачів

Параметр	M158.3 [19]	MD-300B [20]	PI-модуль [21]
Вага модуля	~42 г	~200 г	~200 г
Тип вихідного сигналу	Цифровий (TTL)	Аналоговий/Аудіо	Складний імпульсний (потребує обробки)
Живлення	3,3 В – 5 В (від плати)	9 В (потребує крони/бустера)	12 В (потребує окремого АКБ)
Налаштування	Потенціометр на платі	Кнопки	Складне програмне налаштування
Вплив на стійкість робота	Мінімальний	Відчутний (потребує балансування)	Високий (через вагу та наведення)
Ціна	139 грн	3800 грн	3000 грн

Мною був обраний M158.3, дешевий, не потрібує додаткових умов. Його можна легко інтегрувати без сильних впливів на стійкість.

Далі потрібно обрати мікроплату для керування (таблиця 2.3), серед яких є:

– WeMos D1 (ESP8266) (рис. 2.8) [22];

– Arduino Uno R3 (рис. 2.9) [23];

– ESP32 DevKit (рис. 2.10) [24].



Рисунок 2.8 – WeMos D1 (ESP8266) [22]



Рисунок 2.9 – Arduino Uno R3 [23]



Рисунок 2.10 – ESP32 DevKit [24]

Таблиця 2.3 – Порівняння мікроплат для керування

Пристрій	WeMos D1 (ESP8266) [22]	Arduino Uno R3 [23]	ESP32 DevKit [24]
Тактова частота (Швидкодія)	80 МГц / 160 МГц	16 МГц	240 МГц
Бездротовий зв'язок	Вбудований Wi-Fi	-	Wi-Fi + Bluetooth
Пам'ять (RAM / Flash)	~80 КБ / 4 МБ	2 КБ / 32 КБ	520 КБ / 4 МБ+
Робоча напруга логіки	3,3 - 5 В	5 В	3,3 - 5В
Ціна	139 грн	226 грн	295 грн

Мною був обраний WeMos D1 (ESP8266), він дешевий, має вбудований Wi-Fi модуль та підтримує всі необхідні компоненти.

2.3 Розробка схеми підключення

Перед початком збору макету, була створена схема підключення всіх елементів (рис. 2.11).

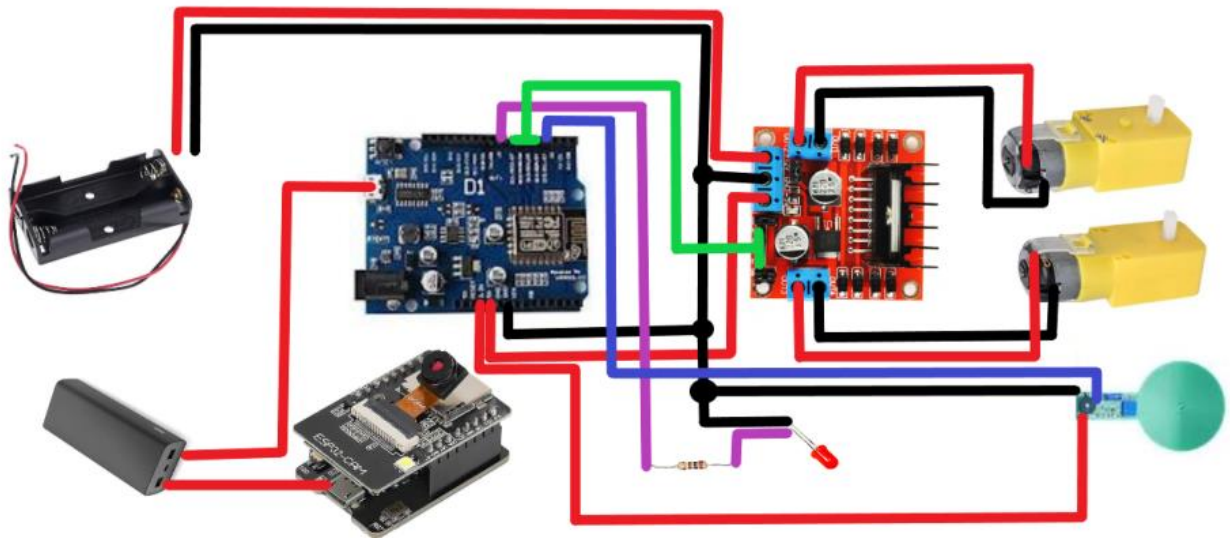


Рисунок 2.11 – Схема підключення

На наведеній схемі наочно продемонстровано архітектуру електричних з'єднань та маршрутизацію сигналів між усіма ключовими вузлами апаратного комплексу мобільної платформи. З метою забезпечення високої надійності роботи системи керування та технічного зору, було прийнято інженерне рішення щодо гальванічного розділення ліній живлення на логічну та силову частини.

Логічна частина, що включає мікроконтролер Wemos D1 та модуль бездротової камери ESP32-CAM, живиться від окремого портативного джерела (павербанка). Це гарантує безперебійну подачу стабілізованої напруги номіналом 5 В, захищаючи чутливу мікропроцесорну електроніку від критичних просадок напруги та електромагнітних завад, які неминуче виникають під час запуску та роботи електродвигунів.

Силова частина платформи, яка відповідає за кінематику та пересування, отримує енергію від незалежного акумуляторного блоку, розрахованого на два елементи живлення. Загальна робоча напруга цього каскаду становить 7,4 В, що забезпечує необхідний запас потужності та високу струмовіддачу для впевненого старту і стабільної роботи колекторних двигунів під навантаженням.

Сенсорна підсистема, головним елементом якої є модуль металодетектора M158.3, вирізняється високою енергоефективністю та широким діапазоном робочої напруги (від 3 В до 5 В). З огляду на мізерне струмоспоживання даного датчика, його живлення було реалізовано безпосередньо від внутрішнього стабілізатора мікроконтролера Wemos D1 через контакт 3,3 В. Такий підхід дозволив мінімізувати кількість додаткових провідників та значно спростити загальну топологію схеми.

Для наочної візуалізації алгоритмів виявлення мінно-вибухових пристроїв та тестування логіки спрацювання в безпечних лабораторних умовах, у схему інтегровано світлодіодний індикатор. Він виконує функцію імітатора виконавчого механізму (детонатора). Під час фіксації металевого об'єкта в зоні дії котушки датчика, мікроконтролер подає відповідний керуючий сигнал на світлодіод, миттєве світіння якого символізує умовний вибух або успішне підтвердження локалізації цілі.

2.4 Розрахунок системи на стійкість

Зважаючи на те, що система керування рухом платформи є розімкненою, без апаратного зворотного зв'язку за швидкістю, для доведення її стійкості та визначення динамічних характеристик необхідно побудувати математичну модель виконавчого тракту.

Тракт складається з мікроконтролера, драйвера L298N та електродвигунів постійного струму з редукторами. В теорії автоматичного управління колекторний двигун постійного струму при керуванні напругою описується як аперіодична ланка першого порядку.

Загальна передавальна функція апаратної частини має вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{T_m s+1}, \tag{2.1}$$

де K – загальний коефіцієнт передачі системи;

T_m – електромеханічна стала часу (відображає механічну інерцію платформи);

s – оператор Лапласа.

Для розрахунку приймемо реальні параметри платформи: максимальна лінійна швидкість руху становить $v_{max} = 0{,}5\ ^{\text{м}}/_{\text{с}}$ (при 100% заповненні ШІМ-сигналу). Тоді коефіцієнт передачі:

$$K = \frac{v_{max}}{U_{in}} = \frac{0{,}5}{100} = 0{,}005\ ^{\text{м}}/_{(\text{с} \cdot \%\text{ШІМ})}.$$

Електромеханічна стала часу T_m для малих мотор-редукторів з урахуванням маси платформи (655 г) становить орієнтовно 0,15 с.

Тоді передавальна функція набуває вигляду:

$$W(s) = \frac{0{,}005}{0{,}15s+1}.$$

Стійкість системи визначається коренями характеристичного рівняння

знаменника:

$$0{,}15s + 1 = 0 \rightarrow s = -\frac{1}{0{,}15} \approx -6{,}67.$$

Оскільки корінь характеристичного рівняння є дійсним і лежить у лівій півплощині (має від'ємний знак), апаратна частина платформи є абсолютно стійкою за критерієм Ляпунова. Система не схильна до автоколивань.

Визначимо час, за який платформа розженеться до номінальної швидкості при подачі стрибкоподібного керуючого сигналу (оператор різко натиснув "вперед", ШІМ = 100%). Рівняння перехідної функції (реакція на одиничний стрибок) в часовій області:

$$h(t) = K \cdot U_{in} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}),$$

$$v(t) = 0{,}5 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}).$$

Згідно з класичною теорією, час регулювання t_p (час виходу системи на 95% від заданої швидкості) для аперіодичної ланки дорівнює потрійній сталій часу:

$$t_p = 3 \cdot T_m = 3 \cdot 0{,}15 = 0{,}45 \text{ с.}$$

2.5. Розробка макета мобільної платформи

За основу макета було обрано класичну колісну платформу на базі колекторних мотор-редукторів. Таке рішення забезпечує оптимальний баланс між вантажопідйомністю, прохідністю та простотою керування через драйвер двигунів.

Під час розміщення компонентів на шасі враховувалися інженерні вимоги с центром ваги, орієнтації камери та розташування металошукача.

Найважчі елементи живлення, були розміщені максимально низько та

ближче до центру платформи. Це забезпечило стійкість макета під час різких стартів та зупинок, а також запобігло перекиданню конструкції.

Мікроконтролер Wemos D1, який відповідає за прийом команд по Wi-Fi, був просторово віддалений від колекторних двигунів, щоб уникнути впливу іскріння щіток моторів на стабільність радіосигналу.

Мікроконтролер ESP32-CAM закріплено у передній частині конструкції з невеликим кутом нахилу вниз для забезпечення оптимального кута огляду поверхні перед платформою та наглядного пошуку вибухонебезпечних об’єктів.

Особливу увагу було приділено монтажу модуля металошукача M158.3. Оскільки даний модуль має невеликий радіус дії, його розташування є критичним для успішної роботи всього комплексу.

Модуль було винесено у передню частину платформи (перед провідними колесами) і закріплено паралельно до поверхні. Відстань від площини котушки до землі було налаштовано на мінімально допустимий рівень, що гарантує надійне детектування металевих об'єктів без ризику фізичного пошкодження датчика об нерівності рельєфу.

Для надійної фіксації керуючої електроніки, датчиків та елементів живлення на несучому шасі було застосовано метод безгвинтового монтажу з використанням термопластичного полімерного адгезиву. Таке рішення дозволило не лише забезпечити жорстку просторову фіксацію без необхідності свердління плат, але й створити демпфуючий шар. Це критично важливо для захисту камери та чутливої електроніки від мікровібрацій під час руху платформи. Крім того, полімерний адгезив виконує функцію додаткового діелектричного ізолятора.

Фінальний зібраний макет мобільної платформи наведений на рисунку 2.12.

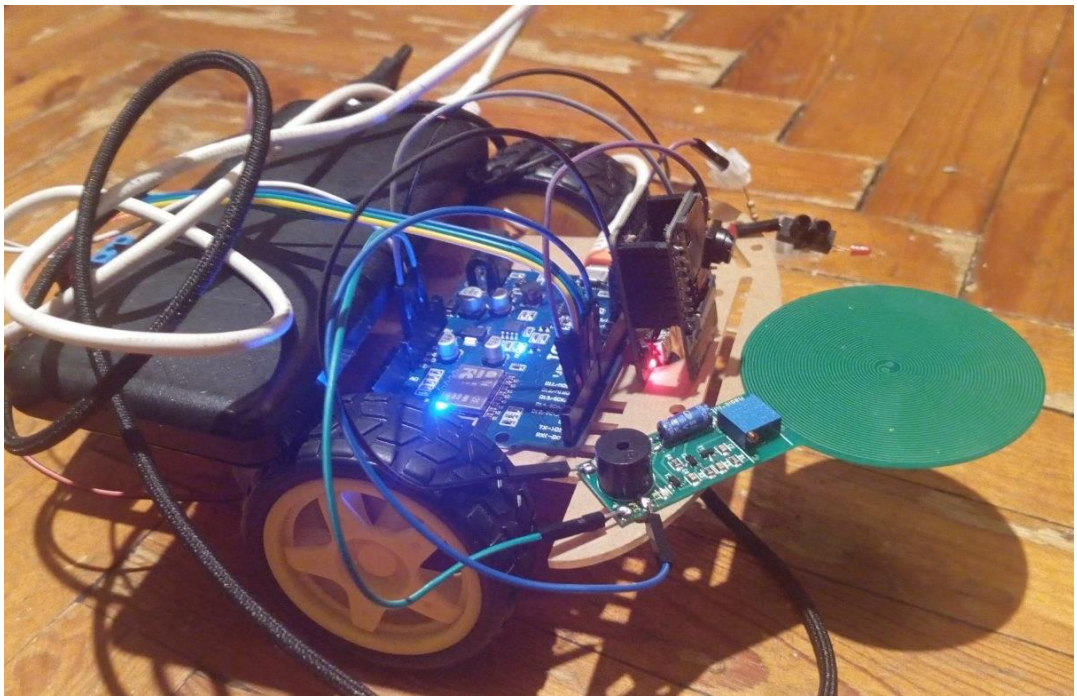


Рисунок 2.12 – Макет мобільної платформи

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПОШУКУ ТА РОЗМІНУВАННЯ

3.1 Обґрунтування вибору середовища розробки

Вибір інструментальних засобів розробки є одним із найважливіших етапів проектування будь-якого програмного забезпечення. Сучасний ринок інформаційних технологій пропонує широкий спектр мов програмування, кожна з яких має свої сильні та слабкі сторони, а також специфічну сферу застосування. Наприклад, мови сімейства C/C++ відрізняються високою швидкодією та можливістю низькорівневого управління пам'яттю, проте вони мають високий поріг входження і вимагають значних витрат часу на розробку. Мова Java є стандартом для корпоративних додатків завдяки своїй надійності та кросплатформності, але вона є досить багатослівною та ресурсомісткою. JavaScript є беззаперечним лідером у сфері веб-розробки, проте для написання складного бекенду або виконання важких обчислювальних задач вона не завжди підходить найкраще. З огляду на специфіку даного проєкту, основними критеріями вибору мови програмування стали: швидкість розробки, зрозумілість синтаксису, наявність потужної екосистеми бібліотек та зручність подальшої підтримки коду.

Після аналізу існуючих рішень для реалізації проєкту було обрано мову програмування Python [25]. Цей вибір насамперед ґрунтується на її лаконічному та читабельному синтаксисі, який створювався з акцентом на продуктивність розробника. Відсутність зайвих синтаксичних конструкцій дозволяє зосередитися безпосередньо на логіці програми, а не на її оформленні. Важливою перевагою є також велика стандартна бібліотека та екосистема. Python працює за принципом «батарейки в комплекті», пропонуючи розробнику безліч вбудованих модулів для роботи з файловою системою, мережевими протоколами та форматами даних. Крім того, наявність величезного репозиторію пакетів дозволяє легко інтегрувати готові рішення для специфічних задач. Додатковим аргументом стала мультипарадигмальність мови, що дає змогу обирати

найзручніший архітектурний підхід, а також її абсолютна кросплатформність та підтримка величезною спільнотою, що значно спрощує пошук рішень під час розробки.

Для написання та зневадження програмного коду було обрано інтегроване середовище розробки Visual Studio Code [26] від корпорації Microsoft. На відміну від повноцінних важких IDE, які можуть споживати багато оперативної пам'яті, VS Code є легким редактором коду, що забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю та функціональністю. Завдяки офіційним розширенням, це середовище надає потужну підтримку Python: воно забезпечує інтелектуальне автодоповнення коду, підсвічування синтаксису та безшовну інтеграцію з віртуальними середовищами. Критично важливою для розробки є наявність вбудованих інструментів зневадження, які дозволяють покроково виконувати програму та відстежувати значення змінних у режимі реального часу. Ергономіка робочого процесу також значно підвищується завдяки інтеграції з системами контролю версій Git та наявності вбудованого термінала. Усе це, в поєднанні з тим фактом, що VS Code є повністю безкоштовним інструментом з відкритим вихідним кодом, робить його ідеальним вибором.

Таким чином, зв'язка мови програмування Python та середовища розробки Visual Studio Code є оптимальним технічним рішенням для реалізації даного проєкту. Вона забезпечує високу швидкість розробки, гнучкість, зручність написання та підтримки коду, а також надає всі необхідні інструменти для ефективного тестування та зневадження програмного продукту.

Для створення програми та прошивання мікроконтролерів, буде використовуватись програмне забезпечення Arduino IDE [27].

3.2 Розробка алгоритму керування

Для початку потрібно розробити алгоритм роботи програми для оператора (рис. 3.1).

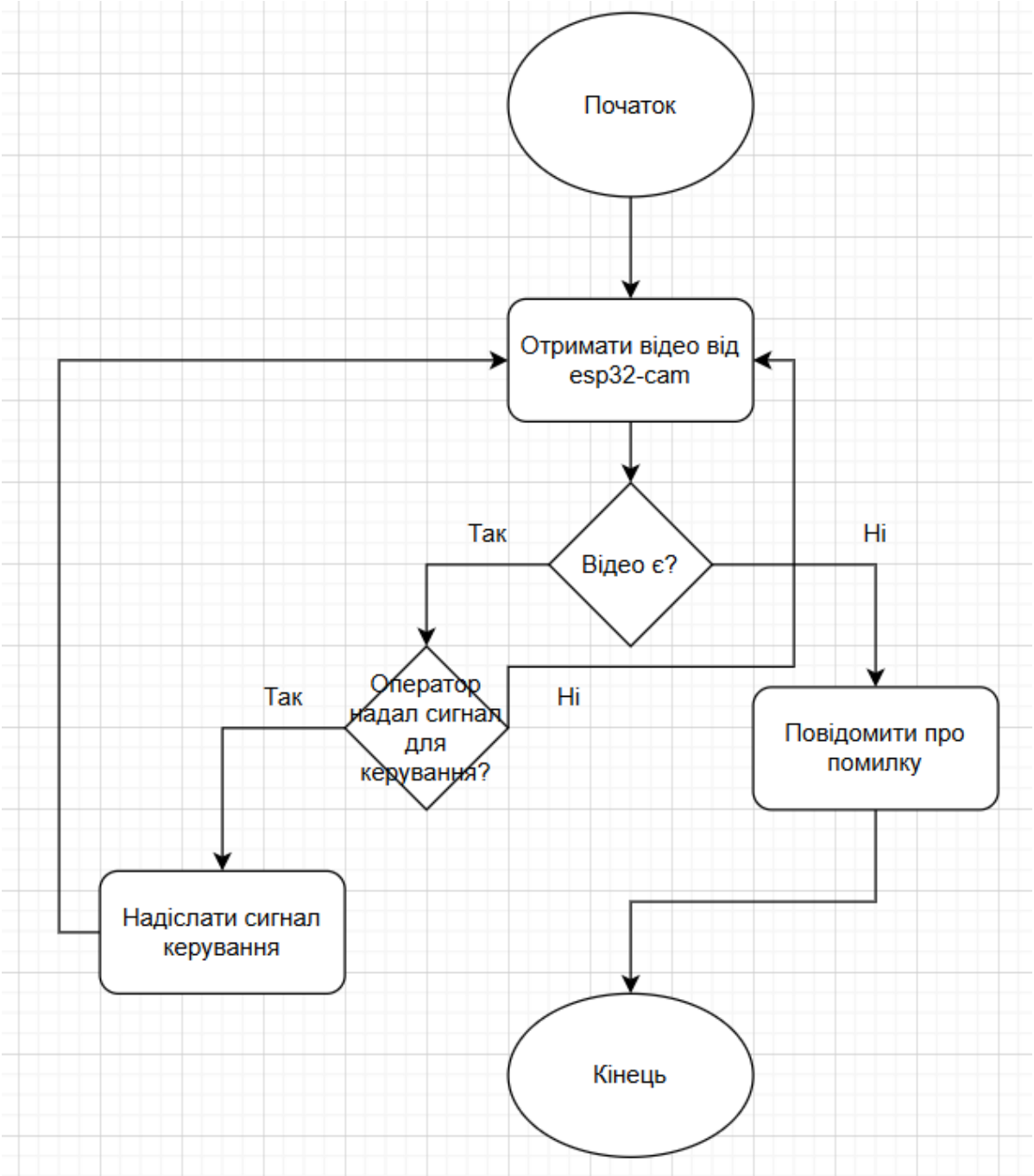


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи

Оператор отримує відео потік, після чого запускається цикл, під час якого програма отримує відео потік та надсилає команди в залежності від вибору оператора, кнопки керування були обрані наступні:

– для руху вперед потрібно натиснути w;

– для руху наліво потрібно натиснути a;

– для руху праворуч потрібно натиснути d;

– для руху назад потрібно натиснути s;

– для детонації натиснути пробіл, замість детонатора буде використовуватись світлодіод, який замінить функцію підрива.

3.3 Реалізація HMI оператора

Для розробки HMI оператора були використані наступні бібліотеки (рис. 3.2).

```
import cv2
import numpy as np
import urllib.request
import json
import time
```

Рисунок 3.2 – Використані бібліотеки

Для обробки відео потоку та його вивід на екран використовується бібліотека cv2, ця бібліотека має обширні можливості для відображення та редагування відео.

Модуль numpy забезпечує високошвидкісну роботу з багатовимірними масивами. Оскільки графічна інформація з камери надходить у вигляді сирого потоку байтів, ця бібліотека ефективно перетворює їх на структуровані числові матриці, які необхідні для коректної роботи алгоритмів візуалізації.

Мережева взаємодія реалізується за допомогою стандартної бібліотеки urllib.request. Її функція полягає у встановленні HTTP-з'єднання з мікроконтролером. Модуль відповідає за безперервне завантаження нових кадрів із вебсервера камери та відправлення керуючих мережевих запитів на рушійну платформу.

Бібліотека json використовується для обміну телеметричною інформацією між пристроями. Коли плата надсилає дані про спрацювання металошукача, цей модуль десеріалізує текстовий формат обміну даними у стандартні змінні мови Python, дозволяючи програмній логіці аналізувати стан датчика.

Модуль time відповідає за хронометраж і керування часовими інтервалами. У межах скрипта він використовується для створення неблокуючих затримок між перевірками стану обладнання. Це гарантує стабільну частоту опитування сенсорів і запобігає перевантаженню мікроконтролера надмірною кількістю запитів.

Наступним кроком були створені змінні для коректної роботи (рис. 3.3).

```
robot_ip_camera = "192.168.43.51"
robot_ip = "192.168.43.134"
video_url = f'http://{robot_ip_camera}/cam-hi.jpg'
status_url = f'http://{robot_ip}/status'
```

Рисунок 3.3 – Змінні

Перші 3 змінні використовуються для збереження посилань для зв’язку с мобільною платформою. Останні для опитування кожні 0,2 секунди металошукача на наявність метала.

Також були створені 2 функції (рис. 3.4) для оптимізації коду.

```python
def send_command(command):
    try:
        cmd_url = f"http://{robot_ip}/{command}"
        urllib.request.urlopen(cmd_url, timeout=0.2)
    except Exception as e:
        pass

def check_metal_status():
    global metal_detected_flag
    try:
        resp = urllib.request.urlopen(status_url, timeout=0.2)
        data = json.loads(resp.read().decode())
        if data.get("metal_detected") == 1:
            metal_detected_flag = True
        else:
            metal_detected_flag = False
    except Exception as e:
        metal_detected_flag = False
```

Рисунок 3.4 – Функції програми

Функція send_command буде передавати команди керування для мобільної плотформи, це забезпечить точне виконання команд.

Наступна функція check_metal_status опитує мобільного робота на спрацьовування металошукача, і при отриманні команди змінює зміну для оголошення оператору про спрацьовування датчика.

Наступим кроком був реалізований головний цикл програми (рис. 3.5).

```
while True:
    try:
        img_resp = urllib.request.urlopen(video_url, timeout=0.8)
        imgnp = np.array(bytearray(img_resp.read()), dtype=np.uint8)
        im = cv2.imdecode(imgnp, -1)

        if im is not None:
            if time.time() - last_status_check > check_interval:
                check_metal_status()
                last_status_check = time.time()

    if metal_detected_flag:
            cv2.putText(im, "WARNING: METAL DETECTED!", (10, 40),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0, 0, 255), 3, cv2.LINE_AA)
    cv2.imshow('live transmission', im)
```

Рисунок 3.5 – Початок циклу програми

Під час цього циклу, програма отримує відео та самостійно опитує мобільну платформу на спрацьовування металошукача, і при отриманні позитивної відповіді, виводить на екран оповіщення.

Кнопки керування наведені на рисунку 3.6.

```
    key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

    if key in [119, 87, ord('w'), ord('W'), ord('ц'), ord('Ц'),
        send_command("forward")
# S або I
    elif key in [115, 83, ord('s'), ord('S'), ord('і'), ord('І')
        send_command("backward")
# A або Ф
    elif key in [97, 65, ord('a'), ord('A'), ord('ф'), ord('Ф'),
        send_command("left")
# D або В
    elif key in [100, 68, ord('d'), ord('D'), ord('в'), ord('В')
        send_command("right")
# Пробіл
    elif key == 32:
        send_command("signal")
# ESC
    elif key == 27:
        print("Вихід...")
        break
```

Рисунок 3.6 – Кнопки керування

Під час натискання на клавіши відправляється сигнал до мобільної платформи, який у свою чергу, виконує відповідні дії згідно з отриманим сигналом.

3.4 Розробка програми для мікроконтролера

Для роботи та керування мобільної платформи с використанням WeMos D1 (ESP8266), був створений код в програмному середовищі Arduino IDE. На рисунку 3.7 показані бібліотеки які були використані, вони необхідні для роботи с даним мікроконтролером.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
```

Рисунок 3.7 – Використані бібліотеки

Для підключення до wi-fi необхідно задати константи с збереженим назвою та паролем від wi-fi мережі (рис. 3.8).

```
3
4   const char* ssid = "***";
5   const char* password = "******";
6
```

Рисунок 3.8 – Константи для ведення назви та пароля від fi-fi мережі

Далі задаємо до яких пінив будуть підключатись решта елементів для керування (рис. 3.9).

```
9   const int IN1 = D7;
10  const int IN2 = D6;
11  const int IN3 = D5;
12  const int IN4 = D4;
13  const int LED_PIN = D3;
14  const int METAL_DETECTOR_PIN = D8;
15
```

Рисунок 3.9 – Підключення пінив

Де до пінив D4-D7 підключається модуль драйвер l289n для керування моторів. До піна D3 буде підключений світлодіод, який замінить собою детонатор. Пін D8 використовується для підключення металошукача.

Для коректної роботи, були створені функції керування, які викликаються при певних умовах. Функція для зупинки всіх двигунів наведена на рисунку 3.10.

```
void stopMotors() {
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, LOW);
  digitalWrite(IN4, LOW);
}
```

Рисунок 3.10 – Зупинка моторів

Рух мобільної платформи при отриманні сигналів по Wi-Fi мережі наведені на рисунку 3.11.

```
server.on("/forward", []() {
  digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, HIGH); digitalWrite(IN4, LOW);
  lastMoveTime = millis();
});

server.on("/backward", []() {
  digitalWrite(IN1, LOW); digitalWrite(IN2, HIGH);
  digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, HIGH);
  lastMoveTime = millis();
});

server.on("/left", []() {
  digitalWrite(IN1, LOW); digitalWrite(IN2, HIGH);
  digitalWrite(IN3, HIGH); digitalWrite(IN4, LOW);
  lastMoveTime = millis();
});

server.on("/right", []() {
  digitalWrite(IN1, HIGH); digitalWrite(IN2, LOW);
  digitalWrite(IN3, LOW); digitalWrite(IN4, HIGH);
  lastMoveTime = millis();
});
```

Рисунок 3.11 – Виконання команд при отримання сигналів

Дані команди отримають сигнал завдяки команди server.on (“”, []() {}), де в текст записується назва сигналу.

Замість детонації буде простий сигнал для активації світлодіода (рис. 3.12).

```
server.on("/signal", []() {
  bool currentState = digitalRead(LED_PIN);
  digitalWrite(LED_PIN, !currentState);
});
```

Рисунок 3.12 – Зміна стану сигналу

Фрагмент коду для перевірки стану металошукача (рис. 3.13).

```
server.on("/status", []() {
  Serial.println("sygnal set)");
  int metalState = digitalRead(METAL_DETECTOR_PIN);

  int detected = (metalState == HIGH) ? 1 : 0;

  String jsonResponse = "{\"metal_detected\": " + String(detected) + "}";
  server.send(200, "application/json", jsonResponse);
});
```

Рисунок 3.13 – Код перевірки металошукача

Під час отримання сигналу від оператора, іде перевірка стан піна металошукача. Після перевірки, відправляється сигнал по wi-fi мережі, відповідний чи знайшов металошукач чи ні вибухонебезпечний предмет.

3.5 Експериментальні дослідження

Металошукач M158.3 працює за принципом зриву генерації, із-за чого він має дуже маленьку відстань спрацьовування, проте має дуже малу енергоспоживання та реагує на всі види металів які можуть проводити електроенергію. Ефективність металошукача залежить від відстані до металу та її площі, чим більше металевий об’єкт, тим краще її помітить металошукач.

На рисунку 3.14, показаний графік залежності відстані спрацьовування металошукача від площини об’єкта.

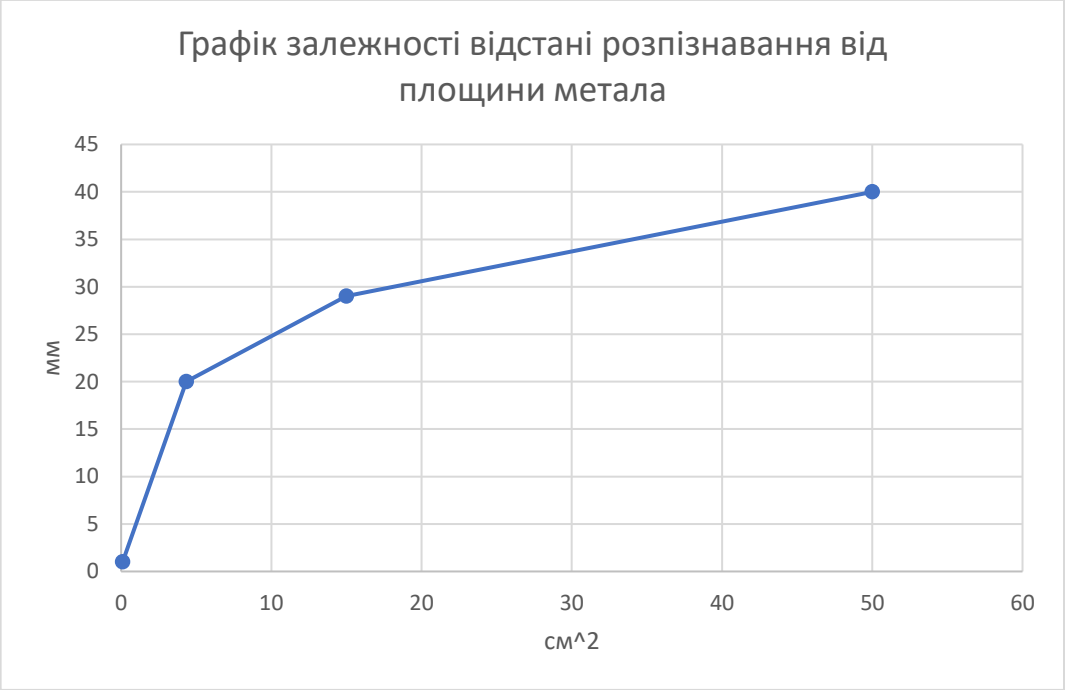


Рисунок 3.14 – Залежність відстані розпізнавання від площини об’єкта

Для перевірки, були використані:

– скріпка, має 0,1 см^2 площині, металошукач розпізнав її на відстані 1 мм;

– монета номіналом 10 грн, має 4,34 см^2 площині, металошукач розпізнав її на відстані 20 мм;

– лезо ножа, має 15 см^2 площині, металошукач розпізнав її на відстані 29 мм;

– корпус ноутбука має обширну площину, тому було взято 50 см^2, металошукач розпізнав її на відстані 40 мм, що є максимумом.

Наступним експериментом було визначення, які типи металів можуть бути розпізнані. Так як металошукач працює за принципом зриву генерації, це означає що він здатен знайти будь які метали які проводять електроенергію, але без можливості визначити її тип.

Серед розпізнаних металів були: сталь, чавун, мідь, алюміній. Чим краще феромагнітні властивості, тим легше розпізнати, що також впливає на відстань її розпізнавання металошукачем. Проте цей показник не так сильно впливає як площа метала.

3.6 Розрахунки освітлення приміщення

Комплексна система комп’ютерного зору для мобільної платформи була розроблена та реалізована в лабораторних умовах із використанням персонального комп’ютера. Враховуючи особливості експлуатації обладнання в обмеженому просторі та необхідність забезпечення безпечних і комфортних умов для праці, особливу увагу було приділено дотриманню нормативно-технічних вимог щодо мікроклімату та штучного освітлення приміщення. Параметри мікроклімату визначаються на основі сучасних стандартів, зокрема ДСТУ EN ISO 7730:2019 «Ергономіка теплового середовища» [28] та ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [25]. Згідно з цими нормативними документами, для створення сприятливих умов праці необхідно підтримувати оптимальні температурні режими залежно від сезону (у холодний період – 22–24 °C, у теплий – 23–24 °C), відносну вологість повітря в межах 40–60% та швидкість його руху на рівні 0,1 м/с. Дотримання зазначених параметрів дозволяє знизити ризики розвитку професійних захворювань та підвищити ефективність роботи персоналу.

Окремо варто відзначити важливість раціонального проектування системи штучного освітлення, що визначає комфортність та безпеку виконання робіт. Розрахунок питомої потужності освітлення було здійснено відповідно до положень ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [26] та ДСТУ EN 12464-1:2016 «Світло і освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1 [27]. Робочі місця в приміщеннях». В процесі розрахунків використовувалась методика визначення питомої потужності освітлення за співвідношенням сумарної потужності встановлених світильників до площі освітлюваної поверхні. Так, при використанні двох led-світильників потужністю 3500 Лк. Для приміщення площею 20 м² питома потужність освітлення визначається як сумарна потужність ламп помножена на коефіцієнт використання світлового потоку на метр квадратний (4.1).

$$E = \frac{Фзаг \cdot N \cdot UF}{S}, \quad (3.1)$$

де E – середнє освітлення;

$Ф_{заг}$ – світловий потік лампи;

N – кількість ламп;

UF – коефіцієнт використання світлового потоку, дорівнює 0,5;

S – площа кімнати.

Підставляючи значення маємо наступне:

$$E = \frac{3500 \cdot 2 \cdot 0.5}{20} = 175 \text{ Лк/м}^2.$$

Ітогова освітленість в приміщенні становить 175 Лк/м². Згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2018, такі параметри забезпечують достатній рівень освітленості на робочих місцях.

Отримані результати підтверджують відповідність умов мікроклімату та освітлення встановленим нормативним вимогам, що забезпечує безпечне та ефективне функціонування комп’ютерного обладнання та комфортну роботу операторів системи комп’ютерного зору.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено в першому розділі аналіз сучасних мобільних платформ для розмінування, їх способи керування та завдання які вони виконують.

В другом розділі була розроблена загальна структурна схема проєкта, на якій зображені основні компоненти проєкта. Був проведені аналізи компонентів, на базі якого був обраний необхідний елемент для проєкта. Також був розроблений загальний алгоритм роботи програми для мікроконтролера та ноутбука.

В третьому розділі було розроблено програмне забезпечення для отримання відео від мобільної платформи та його керування. Розроблено програмне забезпечення для ESP32-CAM для передачі відео по локальній мережі.

Заключним етапом було експериментальна частина, де були проведені експерименти ефективності виявлення металів с урахуванням відстані до металошукача.

Проведені експерименти показують високу ефективність враховуючі низьку ціну. Були виявлені чорні та кольорові метали на відстані до 40 мм. Це чудово може допомогти оператору мобільної платформи для виявлення та знищення вибухонебезпечних об’єктів.

Також, отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 "Промисловість, інновації та інфраструктура", а саме п.9.3 "Забезпечити доступність дорожньотранспортної інфраструктури, яка базується на використанні інноваційних технологій, зокрема через розширення форм участі держави у різних інфраструктурних проектах".

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

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

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарєва, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.

3. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, В.А. Андрусевич, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2022. 151 с.

4. Закон України "Про вищу освіту" від 01.07.2014 No 1556-VII. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text

5. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 27.11.2020 р. No 400. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf

6. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. – Режим доступу: https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf.

7. Інформація та фото про мобільні платформи ГНОМ та BOBCAT – Режим доступу: https://saper.in.ua/ua/n330132-temerland-prezentuye-bezpilotni.html?srsltid=AfmBOoojU0rM762MxonZohCnTZJLWynqjIMY7Tjxe7bR

sh6Hl3-tumuh Дата доступу: 20.04.2026

8. Інформація та фото про міни сімейств ПФМ – Режим доступу: https://armyinform.com.ua/2024/08/27/miny-pelyustky-z-bpla-rozkydaye-vorog-na-harkivskomu-napryamku-otu-harkiv/ Дата доступу: 20.04.2026

9. Інформація та фото про ОЗМ-72 – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%97%D0%9C-72 Дата доступу: 20.04.2026

10. Інформація та фото про ПОМ-3 – Режим доступу: https://stemclass.com.ua/catalog/defender-of-the-fatherland/modeli-maketi1/protipihotna-mina-oskolkova-pom-3-medalon-maket Дата доступу: 20.04.2026

11. Інформація та фото про ТМ-62 – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%9C-62 Дата доступу: 20.04.2026

12. Інформація та фото про ПТМ-3 – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%A2%D0%9C-3 Дата доступу: 20.04.2026

13. Інформація про методи керування – Режим доступу: Оробчук, Б. Я., & Маліновський, А. І. (2026). ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕКСТНО-АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ. Рекомендовано до видання Вченою радою Харківського національного університету міського господарства імені ОМ Бекетова, протокол № 10 від 5 червня 2026 р., 77. Дата доступу: 20.04.2026

14. Інформація про методи пошуку мін електромагнітним методом – Режим доступу: Братасюк, Д. І., & Федасюк, Д. В. (2026). Метод визначення пріоритетності гуманітарного розмінування територій на підставі прогнозу мінної небезпеки та геолокаційних даних. *Scientific Bulletin of UNFU*, *36*(3), 09–16. https://doi.org/10.36930/40360301 Дата доступ: 20.04.2026

15. Програмний засіб drowio – Режим доступу: https://www.drawio.com/ Дата доступу 08.05.2026

16. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero 2 W + Camera V2 – Режим доступу:

https://www.makerfocus.com/products/raspberry-pi-zero-w-camera-night-vision-webcam-with-2-infrared-ir-led-lights?srsltid=AfmBOopKaj2yu50mLHCKBQfN64qT5w2O_vcbv-gQS244M1-ZzYDKz2x5 Дата доступу 08.05.2026

17. Seeed XIAO ESP32S3 з камерою OV2640 – Режим доступу: https://arduino.ua/prod7771-plata-rozrobnika-seeed-xiao-esp32s3-z-kamerou-ov2640-8mb-psram-8mb-flash?srsltid=AfmBOorH7zEsJ97-ZpmRsn2HZv_QZ40IBXbJYwHj0Z_WlvIrmHcXxRPH Дата доступ: 08.05.2026

18. ESP32-CAM з камерою OV2640 – Режим доступу: https://ardushop.in.ua/arduino/esp32-cam-with-ov2640-camera-wifi-bluetooth Дата доступу: 08.05.2026

19. Металошукач M158.3 – Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/437156555/p437156555/ Дата доступу: 08.05.2026

20. Металошукач MD-300B – Режим доступу: https://www.cool-mania.com.ua/spigunstvo/spigunske-obladnanna/rucnij-metalosukac-portativnij-profesijnij-skaner-dlya-akumulyatora-9-v-regulyuvannya-cutlivosti Дата доступу: 08.05.2026

21. PI-модуль – Режим доступу: https://www.ebay.com/itm/335867561994 Дата доступу: 08.05.2026

22. WeMos D1 (ESP8266) – Режим доступу: https://prom.ua/m4021288288459247773-plata-arduino-wifi.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_0_15_moduli_dlya_samostoyatelnoj_sborki_elektroniki_5297199152&gad_source=1&gad_campaignid=22195333185&gbraid=0AAAADBxJSW3FoAf7p4IqIEPtS1euFAAU&gclid=Cj0KCQjw_IXQBhCkARIsADqELbJsB71Ip9mSntDZvfDYpcJkmtfYbcwsAb7WBK5HwGklsAOipJmOzGIaAppDEALw_wcB Дата доступу: 08.05.2026

23. Arduino Uno R3 – Режим доступу: https://arduino.ua/prod2610-arduino-uno-r3-ch340?srsltid=AfmBOooHv_b9u6hBO9-N7CB_FQS4w67OvHsC1nAKf1orFZoKh_eO2dAp Дата доступу: 08.05.2026

24. ESP32 DevKit – Режим доступу: https://arduino.ua/prod3990-wi-fi-modyl-

devkit-v1-s-esp-32?srsltid=AfmBOoqhUeg7Sw09inWIJNLIo6por8oqp7O6MPbnggpvowQHhp5lhRY2 Дата доступу: 08.05.2026

25. Мова програмування Python – Режим доступу: https://www.python.org/ Дата доступу: 08.05.2026

26. Програмне забезпечення Visual Studio Code – Режим доступу: https://code.visualstudio.com/ Дата доступу: 08.05.2026

27. Програмне забезпечення Arduino IDE – Режим доступу: https://www.arduino.cc/en/software/ Дата доступу: 08.05.2026

28. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Безпека праці в індустрії ІТ-технологій» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [http://catalogue.nure.ua/knmz] / ХНУРЕ; розроб.: Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк. – Харків, 2017. – 122 с. Дата доступу: 08.05.2026