

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

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Удосконалення модуля конструкції робототехнічної системи для пошуку та
ідентифікації вибухонебезпечних предметів комбінованим методом
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи КІТПВм-22-2

Заїкін В. О.

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-
інтегровані технологічні процеси і
виробництва

Керівник доц. Янушкевич Д.А.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024р.

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

26.01.2024

Заїкін В. О.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____

« 01 » вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Заїкіну Владиславу Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення модуля конструкції робототехнічної системи для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів комбінованим методом

Затверджена наказом по університету від 03.11.2023 р. № 1287 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 27.01.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Дані про сучасний процес гуманітарного розмінування _____

3.2 Дані про сучасні вибухонебезпечні предмети _____

3.3 Програма для побудови алгоритмів DRAW.io _____

3.4 Програма для комп'ютерного моделювання CAD моделей SolidWorks _____

3.5 TinkerCad _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ; 4.2 Аналіз сучасного стану системи гуманітарного розмінування;

4.3 Методика розробки процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів; 4.4 Моделювання процесу пошуку та ідентифікації

вибухонебезпечних предметів за рахунок методів комбінованого методу радіолокації; 4.5 Охорона праці; 4.6 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 13 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Визначення мети, об'єкту і предмету дослідження	01.09-10.09.2023	викон.
2	Визначення мети, об'єкту і предмету дослідження	10.09-20.09.2023	викон.
3	Аналіз предметної області	20.09-05.10.2023	викон.
4	Аналіз сучасного стану системи гуманітарного розмінування	05.10-20.11.2023	викон.
5	Моделювання процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів за рахунок методів комбінованого методу радіолокації	01.12-31.12.2023	викон.
10	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	10.01.2024	викон.
11	Оформлення пояснювальної записки	12.01.2024	викон.
12	Подання роботи на рецензію	18.01.2024	викон.
13	Подання роботи на підпис зав. кафедри	20.01.2024	викон.
14	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	26.01.2024	викон.

Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

Студент _____
(підпис)

Заїкін В. О.

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Янушкевич Д. А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 120 с., 6 табл., 42 рис., 41 джерело.

ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, ГУМАНІТАРНЕ
РОЗМІНУВАННЯ, ПОШУК, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, КОНСТРУКЦІЯ,
РОБОТОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС.

Об'єкт дослідження – робототехнічні системи для виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – модуль конструкції в робототехнічних системах для виявлення вибухонебезпечних предметів.

Методи дослідження – структурний аналіз, синтез, моделювання побудови РТК для знешкодження ВНП комбінованим методом.

В рамках дослідження було виконано всебічний аналіз наявних систем та методів для ідентифікації вибухонебезпечних предметів (ВНП). Це включало детальне вивчення та застосування різних видів спектроскопії та радіолокаційних методів. Крім того, була проведена значна робота над розробкою програмних модулів для застосування в роботизованих комплексах, націлених на підвищення точності та чутливості виявлення ВНП. Також були розглянуті технології мініатюризації обладнання та вдосконалення алгоритмів обробки сигналів.

Отримані результати дослідження відкривають нові перспективи для використання в різних сферах, зокрема в гуманітарному розмінуванні, у сферах оборони та цивільної безпеки. Ці знахідки можуть бути особливо корисними в районах, які постраждали від військових конфліктів, де існує значний ризик присутності ВНП. Впровадження цих технологій може суттєво підвищити ефективність пошуку та нейтралізації ВНП, тим самим знижуючи ризики для життя та здоров'я людей у цих регіонах.

ABSTRACT

Explanatory Note: 120 pages, 6 tables, 43 figures, 41 sources.

EXPLOSIVE ITEMS, HUMANITARIAN DEMINING, SEARCH, IDENTIFICATION, CONSTRUCTION, ROBOTIC COMPLEX.

The object of research is robotic systems for detection and identification of explosive objects.

The subject of research is a design module in robotic systems for detecting explosive objects.

Research methods – structural analysis, synthesis, modeling of RTK construction for GNP disposal using a combined method.

As part of the study, a comprehensive analysis of the existing systems and methods for the identification of explosive objects was performed.

This included the detailed study and application of various types of spectroscopy and radar techniques. In addition, considerable work was carried out on the development of software modules for use in robotic complexes aimed at increasing the accuracy and sensitivity of GNP detection. Technologies of equipment miniaturization and improvement of signal processing algorithms were also considered. The obtained research results open new perspectives for use in various fields, in particular in humanitarian demining, in the fields of defense and civil security. These findings may be particularly useful in areas affected by military conflicts, where there is a significant risk of the presence of GNPs. The implementation of these technologies can significantly increase the efficiency of the search and neutralization of GNP, thereby reducing the risks to life and health of people in these regions.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1 Аналіз сучасного стану системи гуманітарного розмінування.....	10
1.1 Актуальність системи гуманітарного розмінування	10
1.2 Класифікаційні ознаки та основні види вибухонебезпечних предметів.....	16
1.3 Аналіз сучасних методів пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів	24
1.4 Робототехнічні комплекси, які застосовуються для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів	33
1.5 Постановка задач досліджень	43
2 Методика розробки процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів	44
2.1 Порівняльний аналіз методів пошуку вибухонебезпечних предметів, які знаходяться під поверхнею землі	44
2.2 Методи та засоби пошуку вибухонебезпечних предметів за рахунок методів електромагнітної спектроскопії та радіолокації.....	52
2.3 Конструктивні особливості робототехнічних комплексів.....	54
2.4 Маніпулятори, які застосовуються робототехнічними комплексами у сфері гуманітарного розмінування	62
2.5 Висновки до 2 розділу	69
3 Моделювання процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів за рахунок методів електромагнітної спектроскопії та радіолокації.....	70
3.1 Розроблення комплексної моделі процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів	70
3.2 Модель системи управління маніпулятором роботизованого комплексу.....	97

3.3 Висновки до 3 розділу	108
4 Охорона праці	109
Висновки.....	115
Перелік джерел посилання	117
Додаток А Лістинг програми	122
Додаток Б Демонстраційний матеріал	132

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотні літальні апарати;

ВНП – вибухонебезпечні предмети;

ДСНС – Державна служба з надзвичайних ситуацій;

РТК – робототехнічні комплекси;

НРЛ – нелінійна радіолокація;

ЯМР – ядерний магнітний резонанс;

GPR – ground-penetrating radar;

MIS – magnetic induction spectroscopy.

ВСТУП

Прогрес у розвитку робототехнічних систем відкриває нові горизонти в застосуванні цих технологій для гарантування безпеки та ефективності в критичних областях, таких як пошук та ідентифікація вибухонебезпечних предметів (ВНП). Сучасні виклики вимагають удосконалення не тільки програмного забезпечення, але й самої конструкції роботизованих модулів, щоб забезпечити високу точність виявлення ВНП за допомогою комбінованих методів. Розробка модулів конструкції, які інтегрують у себе кілька методів ідентифікації, дозволяє значно підвищити ефективність робототехнічних систем і мінімізувати ризики, пов'язані з цим процесом.

Розробка ефективних робототехнічних систем для виявлення та ідентифікації робототехніки є ключовим завданням для забезпечення безпеки громадян України. Такі системи можуть використовуватися для розмінування територій, а також для виявлення та знешкодження ВНП, що можуть бути використані для терористичних актів.

Об'єкт дослідження – робототехнічні системи для виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – модуль конструкції в робототехнічних комплексах (РТК) та системах для виявлення вибухонебезпечних предметів.

Методи дослідження – структурний аналіз, синтез, моделювання побудови РТК для знешкодження ВНП комбінованим методом.

Мета дослідження – підвищення ефективності пошуку та ідентифікації ВНП за рахунок комбінованого методу пошуку та вдосконалення модуля конструкції РТК, який застосовується у системі гуманітарного розмінування.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно:

- здійснити аналіз наявних методів та систем пошуку та ідентифікації ВНП;
- провести аналіз сучасних методів процесу пошуку та ідентифікації

ВНП та РТК, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування;

–озробити комплексну моделі процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів комбінованим методом та САD модель РТК;

– розглянути питання охорони праці.

Пояснювальну записку виконано згідно [1-2].

Результати роботи пройшли апробацію в [3].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

1.1 Актуальність системи гуманітарного розмінування

Система гуманітарного розмінування відіграє ключову роль у сучасному світі, особливо в контексті збільшення числа військових конфліктів, що призводить до появи великої кількості вибухонебезпечних об'єктів на територіях постраждалих країн. Основна її мета – забезпечення безпеки людей та відновлення нормального життя на територіях, що постраждали від війн та конфліктів. Система включає в себе оцінку та картографування забруднених мінами районів, що дозволяє точно визначити зони ризику. Роботи з розмінування та очищення територій включають виявлення, ідентифікацію та знешкодження вибухонебезпечних предметів, використовуючи різноманітні технології та методи, включаючи ручне та механічне розмінування, а також за допомогою спеціально навчених собак. Важливою частиною системи є також освітні програми для місцевого населення, особливо дітей, для зменшення ризику випадкових вибухів серед мирного населення [4].

Після очищення територій розпочинаються роботи з відновлення інфраструктури та розвитку постраждалих районів, а також надання допомоги та реабілітації жертвам вибухів. Не менш важливим є і неперервний розвиток технологій розмінування для підвищення ефективності та безпеки процесів. Україна, зіткнувшись з військовим конфліктом, активно використовує систему гуманітарного розмінування для забезпечення безпеки своїх громадян та відновлення нормального життя в постраждалих регіонах.

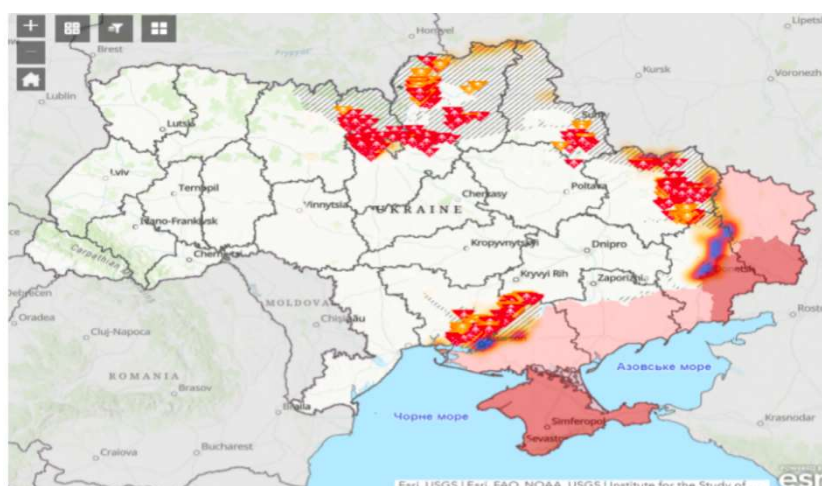
Зараз в Україні доступно для роботи близько 40 тисяч квадратних кілометрів територій. Попри наявні виклики, скоординована робота Уряду і

партнерство з бізнесом та світовою спільнотою дозволило розмінувати майже 19 тисяч кілометрів інфраструктурних об'єктів та очистити від вибухонебезпечних предметів понад 12 тисяч домогосподарств [4]. До кінця 2025 року уряд планує повернути у використання 165 тисяч гектарів земель сільськогосподарського призначення.

Система гуманітарного розмінування використовує сучасні технології, включаючи роботизовані та дистанційно керовані системи, для виявлення і нейтралізації вибухонебезпечних об'єктів [3]. Це сприяє зменшенню ризику для людей, які займаються розмінуванням, і допомагає відновленню інфраструктури та господарства територій, що постраждали внаслідок конфлікту.

Центр протимінної діяльності у взаємодії з Женевським центром з гуманітарного розмінування розробив інтерактивну карту «Виконання заходів гуманітарного розмінування». Цю спільну роботу координував Секретаріат Національного органу з протимінної діяльності.

Карта призначена для інформування наших громадян та міжнародних партнерів про виконання заходів розмінування операторами протимінної діяльності в Україні. Карта є дуже простою у використанні (рисунок 1.1).



 – забруднена територія (ЗТ / СНА);  – ймовірно забруднена територія (ІЗТ / ШНА)

Рисунок 1.1 – Мапа забруднення територій вибухонебезпечними предметами [4]

Згідно з даними, наведеними на рисунку 1.1, встановлено, що найбільш забрудненими територіями є Київська, Чернігівська, Харківська, Миколаївська, Сумська області.

В 2023 році в деяких регіонах України було досягнуто прогресу у питаннях розмінування та відновлення, що призвело до зменшення зон, що вважаються забрудненими або небезпечними. Це результат зусиль міжнародних організацій, державних установ, а також небайдужості та роботи місцевих спільнот. Зменшення забруднених територій могло б відбутися завдяки успішним операціям розмінування, покращенню безпеки в регіоні, а також відновленню мирного життя.

Актуальність розробки систем гуманітарного розмінування в Україні виступає як надзвичайно важливий аспект, який вимагає негайної уваги та інвестицій. Потенційно забруднена територія, яка за даними Міністерства економіки України становить приблизно 174 000 квадратних кілометрів, піднімає Україну у рейтингу найбільш замінованих країн світу. Ця ситуація не лише становить безпосередню загрозу для життя та здоров'я громадян, але й гальмує економічний розвиток та соціальну стабільність у регіонах [3].

Заміновані території обмежують доступ до сільськогосподарських угідь, лісів та інших природних ресурсів, що впливає на продовольчу безпеку країни та її екологічний стан. Також це створює перешкоди для відновлення інфраструктури, включаючи дороги, школи, лікарні та житлові будівлі, затримуючи процеси відбудови та відновлення постраждалих регіонів.

Особливо важливим є аспект гуманітарного розмінування у контексті внутрішньо переміщених осіб та біженців, які прагнуть повернутися до своїх домівок [2]. Безпечне та ефективне розмінування є ключовим фактором для їхньої можливості повернутися до нормального життя.

Додатково, наявність великих замінованих територій спонукає до розробки та впровадження інноваційних технологій, які можуть бути використані не тільки в Україні, але й у інших частинах світу, які стикаються з аналогічними викликами [4]. Це відкриває можливості для міжнародної

співпраці, обміну знаннями та досвідом у сфері розмінування, а також сприяє створенню нових робочих місць та розвитку високотехнологічних галузей.

Слід зазначити, що в умовах гуманітарного розмінування в Україні, зона, яка вже доступна для очищення від мін та нерозірваних боєприпасів, становить близько 40 000 квадратних кілометрів. Однак, ця територія є лише незначною частиною від загального обсягу забруднення. Існуючі виклики у сфері розмінування на території України є значно ширшими та складнішими, ніж може видаватися на перший погляд, враховуючи поточну військову ситуацію та різноманітність типів вибухонебезпечних предметів, які потребують знешкодження. Ця область, хоч і значна, становить лише частину від загальної потреби [6]. Ситуація ускладнюється через продовження військових дій та стратегію активного мінування, що використовується російською стороною. Внаслідок цього, реальні площі забруднених територій можуть бути значно більшими, ніж те, що відображено у офіційних звітах.

Ця невизначеність створює значні виклики для безпеки цивільного населення, яке живе або повертається у ці регіони. Заміновані території не тільки становлять безпосередню загрозу життю та здоров'ю, але й перешкоджають доступу до базових ресурсів та послуг. Це стосується не тільки житлових кварталів, але й сільськогосподарських земель, шкіл, лікарень, транспортної інфраструктури та інших критично важливих об'єктів.

Окрім безпосередньої небезпеки для населення, заміновані території гальмують економічний розвиток та соціальну інтеграцію регіонів. Це не тільки підвищує рівень бідності та безробіття, але й обмежує можливості для внутрішнього та зовнішнього інвестування [7]. Відновлення інфраструктури та розвиток регіонів без попереднього розмінування є практично неможливими, що робить процес відновлення значно складнішим і тривалішим.

Гуманітарне розмінування в Україні вимагає інтегрованого підходу, що включає в себе не тільки використання спеціалізованої техніки та персоналу, але й розвиток технологій, підготовку кадрів, та міжнародну підтримку. Це

також передбачає забезпечення належної координації між різними урядовими та неурядовими організаціями, включаючи міжнародні агенції та гуманітарні групи.

Гуманітарне розмінування в Україні, в умовах значного обсягу замінованих територій, перетворюється на важливий стратегічний пріоритет, що виходить за рамки простої проблеми безпеки. Це ключовий елемент у стабілізації соціально-економічного становища та відновленні постраждалих регіонів. Гуманітарне розмінування не тільки врятує життя та запобіжить травматизму серед цивільного населення, але й сприятиме відновленню нормального життя, відкриє доступ до основних соціальних та економічних ресурсів, таких як сільськогосподарські землі, школи, лікарні та транспортні шляхи.

Крім технічних аспектів, гуманітарне розмінування також вимагає належного планування, логістики та координації між різними урядовими та міжнародними організаціями. Це включає розробку чітких протоколів дій, підготовку персоналу, забезпечення необхідного фінансування та ресурсів, а також налагодження ефективної взаємодії між усіма зацікавленими сторонами.

Гуманітарне розмінування в Україні відіграє критично важливу роль не тільки у забезпеченні безпеки громадян, але й у стимулюванні економічного росту та розвитку технологій [5]. Цей процес не лише задовольняє нагальну потребу в очищенні територій від вибухонебезпечних предметів, але й відкриває шлях для розвитку нових галузей економіки, створюючи нові робочі місця та сприяючи технологічному прогресу.

Проведення гуманітарного розмінування в Україні вимагає висококваліфікованих фахівців, включаючи інженерів, програмістів, операторів дронів та аналітиків даних. Це спонукає освітні установи до розробки нових навчальних програм для підготовки спеціалістів у цій галузі. Паралельно, зростаюча потреба в спеціалізованому обладнанні та технологіях стимулює інновації у виробництві відповідного устаткування,

що може зменшити залежність від імпорту та сприяти внутрішньому виробництву.

Інвестиції у цю сферу, які можуть надходити від уряду та приватного сектору, включно з міжнародними грантами та кредитами, можуть не лише поліпшити інфраструктуру і технології для розмінування, але й стимулювати загальний економічний розвиток. Таким чином, розмінування в Україні не тільки вирішує гуманітарні завдання, але й сприяє науково-технічному прогресу, що має значний потенціал позитивного впливу на країну та міжнародне співтовариство.

1.2 Класифікаційні ознаки та основні види вибухонебезпечних предметів

Під вибухонебезпечними предметами слід розуміти будь-які пристрої, засоби, підозрілі предмети, що здатні за певних умов вибухати. Щоб привести вибухонебезпечний предмет до дії потрібно застосувати вибухові речовини.

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.

Вибухонебезпечні предмети включають хімічні з'єднання, військові боєприпаси, піротехнічні засоби та саморобні пристрої, здатні вибухати за певних умов. При знаходженні таких предметів дорослі зазвичай викликають фахівців, але діти через цікавість можуть вдаватися до небезпечних дій. Тому важливо пояснити їм наслідки та правила поведінки у таких ситуаціях. Заборонено наближатися, пересувати, розряджати або розпалювати багаття поруч з вибухонебезпечними предметами. Необхідно негайно повідомити поліцію та службу надзвичайних ситуацій. З увагою ставтеся до бездоглядних предметів, зокрема до припаркованих автомобілів, предметів з

дротами, антенами, звуками чи індикаторами. У разі виявлення вибухового пристрою негайно повідомте чергові служби, уникайте використання радіозв'язку, не підходьте до нього та дочекайтеся фахівців. Розмінуванням займаються тільки кваліфіковані сапери. У разі вибуху, не намагайтеся наблизитися до епіцентру, оскільки існує ризик повторного вибуху. Важливо пам'ятати, що з вибухонебезпечними предметами слід поводитися обережно та залишати їх на знешкодження професіоналам.

Розглянемо види вибухонебезпечних предметів (рис. 1.2):

- 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);
- патрони (сигнальні, освітлювальні, імітаційні, спеціальні);
- вибухові пакети;
- петарди;
- ракети (освітлювальні, сигнальні);
- гранати;
- димові шашки;
- саморобні міни-пастки;
- міни-сюрпризи, що імітують предмети домашнього побуту, дитячі іграшки або речі, що привертають увагу.

На рисунку 1.2 представлено схему, яка демонструє різноманітність вибухонебезпечних пристроїв та параметри, за якими вони можуть бути класифіковані. Окремі категорії відображають методики виявлення, установки, активації та знешкодження цих пристроїв.

можуть використовувати розтяжки. Існує близько 2000 типів земельних мін у світі, серед яких понад 650 типів AP мін. Вони можуть бути класифіковані на такі види, як вибухові, осколкові, спрямовані та стрибаючі пристрої. Ці міни варіюються від дуже простих пристроїв до високотехнологічних рішень. Поле AP мін часто доповнюється AT мінами, щоб запобігти швидкому їх розмінуванню за допомогою броньованих транспортних засобів.

AT міни значно більші, важать кілька кілограмів і вимагають більшого тиску для детонації. Вони закопані на глибину до 30 см під поверхнею і розроблені для іммобілізації або знищення транспортних засобів та їх пасажирів. Високий тиск, необхідний для спрацьовування (зазвичай 100 кг і більше), запобігає їх активації піхотою. Сучасні AT міни часто використовують кумулятивні заряди для пробивання броні і можуть мати магнітні тригери, що дозволяють їм детонувати, навіть якщо шини або гусениці не торкаються їх. Такі поля мін можуть бути доповнені AP мінами для ускладнення ручного розмінування. Деякі типи протитанкових мін також можуть спрацьовувати від піхоти, маючи подвійне призначення, хоча їх основна мета - діяти як AT зброя.

Існують мінні поля, спеціально підготовлені для ускладнення розмінування. Змішані поля AP і AT мін, подвійні стеки AT мін, AP міни під AT мінами, міни з розтяжками і розривними дротами, а також запобіжники, відділені від мін, використовуються для цієї мети. Деякі типи сучасних мін розроблені так, щоб самознищуватися або хімічно робити себе неактивними через деякий час. Традиційні земельні міни по всьому світу не мають механізму самознищення і залишаються активними довгий час. Сучасні земельні міни виготовляються зі складних неметалічних матеріалів. Ведуться зусилля щодо розробки мін, здатних визначати напрямок і тип загрози, що також можуть вмикатися і вимикаються, використовуючи власні електронні контрзаходи для забезпечення виживаності проти ворожих операцій з розмінування. Крім того, виникають нові тенденції у створенні мінних полів з самовідновлювальною поведінкою. Такі поля будуть включати динамічні та

розсипчасті поверхневі міни, які ускладнюють очищення та зберігають перешкоди, вбудовуючи в себе можливість виявляти порушення і просту мобільність для зміни свого розташування відповідно. Нові, менші, легкі, більш смертоносні міни тепер забезпечують можливість швидкого розміщення самознищувальних полів АТ та АР мін різними способами доставки. Мінні поля можуть бути закладені кількома способами. Найбільш трудомісткий спосіб – це закопування мін відповідним персоналом. Міни також можуть бути закладені за допомогою спеціалізованих мінних установників на транспортних засобах. Крім того, мінні снаряди можуть бути випущені з артилерії на відстані кількох десятків кілометрів. Більше того, міни можуть бути скинуті з обертювих та нерухомих крильових літаків або викинуті з крилатих ракет. Управління ООН з питань гуманітарних справ (UNDHA) оцінює, що більше 100 мільйонів мін розкидані по всьому світу і становлять серйозну небезпеку в більш ніж 68 країнах, які потребують розмінування. Додаткові запаси, що перевищують 100 мільйонів мін, зберігаються в понад 100 країнах, і 50 з цих країн продовжують виробляти ще 5 мільйонів нових мін щороку. Наразі щороку закладається від 2 до 5 мільйонів нових мін. Річний темп розмінування значно повільніший.

Канонічний підхід до гуманітарного розмінування передбачає наявність ефективних інструментів, які можуть точно виявляти, локалізувати та деактивувати/видаляти кожну земельну міну та інші UXO якомога швидше і безпечніше, одночасно мінімізуючи витрати. Ефективне виконання такого завдання з високою надійністю є життєво важливою передумовою для відновлення будь-якого регіону від земельних мін та пов'язаних з ними залишків бойових дій, роблячи землю безпечною та дозволяючи людям використовувати її без страху. Такий процес передбачає високий ризик, великі зусилля та час, що призводить до високих витрат на очищення на одиницю площі. Однак, хоча розміщення та озброєння земельних мін є відносно дешевими та простими, зворотний процес виявлення та видалення/знищення їх зазвичай є трудомістким, дорогим, повільним,

небезпечним та малотехнологічним через невідомі позиції.

Наявність нездетонованих боєприпасів, включаючи міни, в Україні, особливо у регіонах, де відбувалися активні бойові дії, залишається серйозною проблемою, яка вимагає невідкладного вирішення [4]. Агресори, що просувалися на території України, часто застосовували тактику дистанційного мінування невеликих ділянок без створення визначених мінних полів з докладними картами. Це ускладнює роботу з розмінування, адже точне розташування мін і боєприпасів залишається невідомим.

Роботи з розмінування у лісових масивах та на полях є особливо складними. Вибухонебезпечні предмети (ВНП) можуть бути замасковані під шаром лісової підстилки або трав'яної рослинності, створюючи додаткові ризики для життя та здоров'я спеціалістів з розмінування. Засоби індивідуального захисту, якими оснащені сапери, не завжди можуть забезпечити повний захист від усіх типів мін та боєприпасів.

Вибухонебезпечні предмети класифікуються за наступними класифікаційними ознаками:

- за призначенням;
- по типу датчика цілі;
- по способу установки;
- по способу приведення в дію (активації);
- за можливістю зняття і знешкодження;
- за способом ураження;

За призначенням:

Протипіхотні – міни, які застосовуються проти людей. Вибухають від присутності чи контакту з людиною. Залежно від типу міни, вбивають або калічать одну чи більше осіб.

Основні ознаки протипіхотних мін: невеликі за розміром форма та кольори різні. Колір (зелений, коричневий, світло/темно-коричневий) залежить від місцевості для кращого маскуванню при встановленні добре маскуються, тому майже непомітні найчастіше встановлюються з

розтяжками без терміну придатності, тобто можуть вибухати через багато років.

За типом ураження протипіхотні міни поділяються на дві групи:

– фугасні – основний вражаючий ефект – вибухова хвиля, яка руйнує все на своєму шляху;

– осколкові – ураження відбувається готовими забійними елементами та уламками корпусу міни.

За типом активації [11]:

– натискної дії – вибухають, якщо на них наступити чи зачепити;

– керовані або дистанційного підриву – підриваються дистанційно за допомогою спеціального механізму.

За способом ураження [11]:

– кругового ураження – вражають певний радіус;

– спрямованої дії – вражають певний сектор.

Протитанкові міни складаються із заряду вибухової речовини, детонатора (замикача), датчика цілі, підривника і корпусу (з металу, дерева, пластмас; відомі безкорпусні конструкції – з вибухової речовини підвищеної потужності [11]). Деякі типи протитанкових мін мають пристрої (запобіжники), що забезпечують безпеку при установці, елементи невитягуваності та незнешкоджуваності, які ускладнюють зняття і знешкодження, а також самоліквідатори, що викликають вибух міни або що приводять її в безпечний стан через заданий проміжок часу.

За способом приведення в дію протитанкові міни поділяються на некеровані і керовані [11]. Некеровані міни вибухають від дії танку (БМП, БТР тощо), автомашини і тому подібне на детонатор (датчик цілі детонатора), а також після закінчення заданого часу. Керовані міни переводяться в бойове положення або спрацьовують по команді, переданій по радіо або дротам.

За термінами спрацьовування протитанкові міни бувають миттєвої дії – що вибухають при дії об'єкту, що вражається, і сповільненої дії (МСД) – що

автоматично спрацьовують або приходять в бойове положення після закінчення заданого часу [11].

Залежно від конструкції детонатору протитанкові міни поділяються на контактні та неконтактні. Контактні спрацьовують при безпосередньому наїзді танку на їх детонатор (датчик цілі детонатора), а неконтактні – від дії фізичного поля цілі (магнітного, акустичного, вібраційного) [11].

За способами установки розрізняють такі протитанкові міни: витягвані, які можна витягати з місця установки, та невитягвані – що вибухають при такій спробі [11].

За типом датчика цілі протитанкові міни бувають [4]:

- натискної дії;
- магнітної дії;
- теплової дії;
- похилої дії;
- сейсмічної дії;
- інфрачервоної дії.

Транспортні міни – це вибухонебезпечні пристрої, призначені для встановлення на транспортних шляхах або поблизу них з метою завдання шкоди або заважання руху транспорту [11]. Вони можуть бути використані військовими, терористами або іншими злочинцями для атак на цивільний транспорт або військові колони. Транспортні міни можуть відрізнятися за різними характеристиками, такими як спосіб установки, спосіб приведення в дію і можливість зняття і знешкодження.

По способу установки [11]:

– міни, які встановлюються вручну: ці міни розміщуються на транспортних шляхах або поруч з ними вручну, і їх можна активувати за допомогою дистанційного пристрою або іншого способу;

– міни, які встановлюються автоматично: ці міни можуть бути встановлені автоматично під дією певних умов, таких як тиск транспортного засобу або пройдене відстань.

По способу приведення в дію [11]:

– запалювальні міни: ці міни мають вибуховий заряд, який може бути активований за допомогою запалювання, дистанційного пристрою або іншого засобу;

– міни з датчиками: ці міни оснащені датчиками, які реагують на рух транспортного засобу або інші зміни в оточуючому середовищі.

За можливістю зняття і знешкодження [11]:

– міни, які можна деактивувати: деякі транспортні міни можуть бути деактивовані або знешкоджені спеціальними рятувальними службами або підрозділами з розвідки;

– міни, які не можна деактивувати: існують такі міни, які не мають можливості бути зняті або деактивовані, і їх можна знешкодити лише шляхом їхнього підриву.

1.3 Аналіз сучасних методів пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Використання високотехнологічних рішень для гуманітарного розмінування включає застосування сучасних методів виявлення та ідентифікації вибухових пристроїв. Це може включати в себе розробку та використання сенсорів для виявлення металу, неметалевих мін та інших вибухових пристроїв, а також використання дронів та супутникових зображень для відстеження та картографування забруднених територій.

Розробка ефективних робототехнічних систем є також критично важливою. Ці системи можуть автоматизувати процес виявлення та знешкодження вибухових пристроїв, знижуючи ризик для саперів. Вони можуть використовувати комплексні алгоритми штучного інтелекту для аналізу даних з різних джерел та прийняття рішень про найкращі методи розмінування в конкретних умовах.

Інноваційні алгоритми для аналізу даних грають ключову роль у

виявленні та класифікації вибухових пристроїв. Це може включати розробку алгоритмів машинного навчання, які можуть аналізувати зображення з дронів або супутників для ідентифікації потенційних мінних полів. Також можуть бути використані алгоритми обробки сигналів для інтерпретації даних з сенсорів, що виявляють вибухівку.

Ураховуючи важливість розчищення території від ВНП, численні дослідження проводилися щодо аналізу та класифікації наявних методів пошуку [6–8], сучасних більш ефективних методів, зокрема з одночасним використанням декількох методів, що ґрунтуються на використанні комбінованих методів, коли пошук ведеться зокрема із застосуванням безпілотних апаратів [9–11]. Досліджуються та випробовуються також біологічні методи пошуку, що ґрунтуються на особливих властивостях тварин [12], комах [13] та мікроорганізмів [14]. Необхідно зазначити, що, попри великий обсяг досліджень, класифікації методів розроблені без урахування чіткого розрізнення демаскувальних ознак ВНП, фізичних принципів виявлення й розпізнавання, а також платформ, що використовуються для доправлення устаткування до місця пошуку.

Демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів зазначені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів [24]

Вид контрасту між об'єктом і оточуючим середовищем	Тип об'єкта пошуку			
	ППМ	ПТМ	ВНП електронними компонентами ³	ВНП кабельними лініями управління ³
1	2	3	4	5
Відмінність електропровідності	+ (може бути дуже малою)	+	+	+
Відмінність магнітної проникливості	±	±	+	+

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Відмінність діелектричної проникності	+	+	+	+
Відмінність теплофізичних характеристик	±	±	±	±
Відмінність оптичних характеристик	±	±	±	±
Відмінність механічних характеристик	+	+	+	+
Наявність парів вибухової речовини (ВР)	±	±	±	±
Наявність нелінійних електромагнітних властивостей	±	±	+	±

Примітка: + – контраст є; ± – контраст є не завжди.

Розглядати методи пошуку необхідно разом із параметрами, що впливають на ймовірність виявлення та продуктивність.

Можна виділити наступні методи виявлення ВПН за фізичними принципами: механічний, електромагнітний, оптичний, хімічний, акустичний.

До механічних методів виявлення та знешкодження ВПН належать ручні, коли пошук і розмінування виконуються безпосередньо людиною, і механізовані, що виконуються спеціальними броньованими машинами. Сучасні машини розмінування є більш безпечними та ефективними в розмінуванні ВПН із вмістом вибухівки до 15 кг (наприклад, міни, саморобні вибухові пристрої та касетні боєприпаси). Принцип дії цього методу ґрунтується на механічному пошуку та знешкодженні ВПН. Робочим елементом машин для розмінування є приводи з ціпками (тралами), фрезами, культиваторами та спеціальними захватами [16]. Для підвищення якості знешкодження застосовуються комбіновані системи, наприклад, культиватора та ціпків. Такі платформи багатofункціональні, на них можна

встановлювати різні інструменти, системи пошуку, навігації, дистанційного керування тощо. Отже, механічний метод виявлення є простим, але забезпечує високу ймовірність виявлення знешкодження ВВП, а потужний броньований захист і системи дистанційного керування зменшують ризик травмування технічного персоналу.

Недоліки:

- незначна продуктивність та обмеженість використання залежно від рельєфу (неможливість працювати на мокрому та кам'янистому ґрунті, на уклонах понад 35°);
- високі вартість обладнання та витрати на виконання робіт;
- певні пошкодження екології.

Електромагнітні методи – це загальна назва групи методів, що працюють у різних частотних діапазонах і широко застосовуються для виявлення, побудови зображень та визначення властивостей об'єктів, що розташовані, зокрема, в оптично непрозорих середовищах, таких як ґрунт, бетон, цегляна кладка, асфальт, камінь, дерево та лід. Виявлення ВВП за допомогою електромагнітних методів ґрунтується на відмінності електромагнітних властивостей об'єкта та перешкод. Умовно електромагнітне випромінювання, залежно від використовуваних частот, поділяється на: радіохвильове, оптичне, іонізуюче (рентгенівське та гамма-) випромінювання.

Радіохвильовий метод – це найбільш поширений метод виявлення. На базі цього методу побудовані металодетектори (Metal Detector, MD), георадари (Ground Penetrating Radar, GPR), мікрохвильові радары (MWR), радары міліметрового діапазону (MMWR), радары електроімпедансної томографії (EIT). Метод електромагнітної індукції (EMI) використовується в металодетекторах. Переваги цього методу:

- здатність виявляти металеві предмети розміром меншим за 1 см на глибині 50 см [18];
- незалежність від погодних умов і вологості ґрунту;

– низька вартість.

Недоліки методу:

– нездатність виявляти ВНП із незначним вмістом металу (наприклад, у пластиковому корпусі);

– неможливість розрізнити ВНП та металеві уламки, що спричиняє високий відсоток помилкових тривог;

– мала дистанція пошуку.

Роглянемо блок- схему (рис. 1.3):

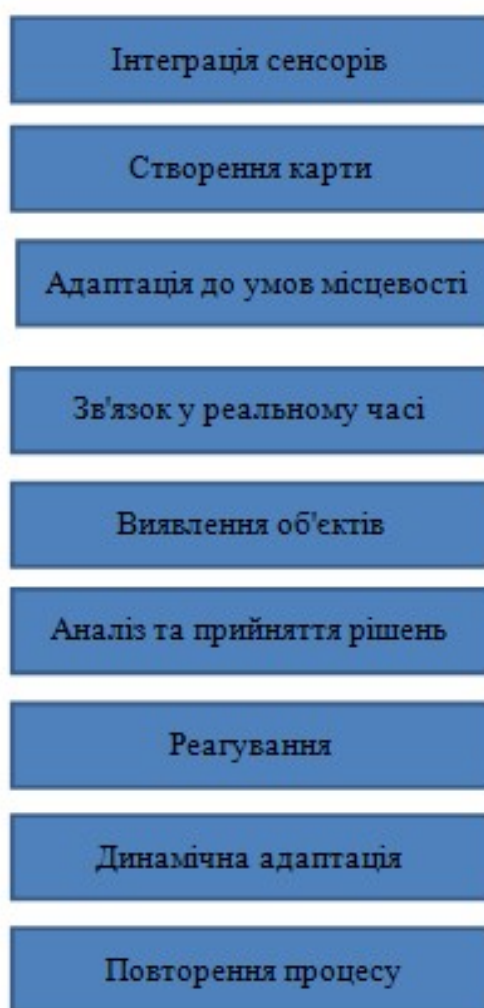


Рисунок 1.3 – Блок-схема алгоритму дій для системи виявлення і ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Опис алгоритму дій для системи виявлення і ідентифікації вибухонебезпечних предметів:

1. Ініціалізація системи: запуск і налаштування обладнання.
2. Інтеграція сенсорів: активація металошукача, магнітометра, GPR та спектроскопії.
3. Створення карти: використання алгоритмів SLAM для динамічного картографування території.
4. Адаптація до умов місцевості: автоматична зміна режиму руху в залежності від рельєфу.
5. Зв'язок у реальному часі: передача даних від робота до оператора.
6. Виявлення об'єктів: аналіз знайдених металевих предметів.
7. Аналіз та прийняття рішень: визначення типу об'єкта і ступеня загрози.
8. Реагування: маркування об'єкта для подальшого розслідування або знешкодження.
9. Динамічна адаптація: коректування стратегії сканування залежно від умов.
10. Повторення процесу: продовження сканування до покриття всієї території.

Георадари, радіолокатори підповерхневого зондування або підповерхневі радіолокатори – це загальна назва радіолокаційних пристроїв, що реалізують технології використання електромагнітних хвиль для побудови зображень і визначення властивостей об'єктів, що розташовані в оптично непрозорих середовищах, таких як, наприклад, ґрунт, бетон, цегла, асфальт, камінь, дерево та лід. Зазвичай, радіолокатор такого типу з дальністю дії 1 м працює в діапазоні частот від 300 МГц до 3300 МГц [19].

Для підвищення ймовірності виявлення та мінімізації хибних спрацьовувань застосовується поєднання методів: георадара та високочутливого металодетектора. Ці технології успішно використовуються для створення ручних мобільних приладів. Розглянуті два методи реалізовані в міношукачі AN/PSS-14, спеціально розробленому для армії США. Додатково було застосовано алгоритми оброблення інформації, що

забезпечило високі технічні характеристики за умови малої ваги: імовірність виявлення до 98,7 %, глибина виявлення ВНП до 300 мм, швидкість пошуку 3,2 м/хв, відстань сканування до 10 см, дистанційне керування не передбачено [20]. Мікрохвильові радари основані на використанні коротких радіоімпульсів та вимірюванні часу повернення відбитків. Відображення виникають на межах матеріалів із різною діелектричною проникністю. Підвищення частоти передачі забезпечує підвищення роздільної здатності, але водночас зростають і втрати в перешкодах.

Використовуючи оптичний метод випромінювання в оптичному діапазоні (довжина хвилі 380–780 нм, частота $7,89 \times 10^{14}$ – $3,84 \times 10^{14}$ Гц) умовно поділене на ультрафіолетове, видиме інфрачервоне. Методи, що застосовують фізичні властивості цього випромінювання, успішно використовуються для виявлення та розпізнавання ВНП. Ультрафіолетове випромінювання охоплює діапазон довжин хвиль 100–400 нм. У цьому діапазоні прямих демаскувальних ознак ВНП не виявлено, але в процесі застосування певного зовнішнього впливу, можуть з'являтися додаткові демаскувальні ознаки. Наприклад, у разі розпилення над забрудненою територією спеціального штаму бактерій, які проростають за декілька годин і флуоресціюють під ультрафіолетовим випромінюванням за наявності в ґрунті вибухових речовин [14]. Видиме випромінювання, що використовується для виявлення ВНП, передбачає захоплення світла у видимому діапазоні хвиль за допомогою оптичної системи для формування зображень. Використання сучасних широкоформатних багатоспектральних фотокамер дає змогу обстежувати значні території за короткий термін. Швидкість обстеження визначається швидкістю платформи, на якій розташовані оптичні сенсори. У разі використання літальних апаратів швидкість обстеження може перевищувати 100 км/год.

Тепловізійні системи використовують пасивну інфрачервону візуалізацію для детектування теплових відбитків, що можуть вказувати на теплопідпис вибухових матеріалів або недавно активованих пристроїв.

Акустична діагностика, яка включає датчики мікровібрацій та ультразвукове сканування, використовується для ідентифікації механічних компонентів вибухових пристроїв, таких як таймери чи детонатори. Сенсори тиску та вібрації, інтегровані в підвіску та маніпулятори робота, забезпечують тактильну зворотню інформацію, що дозволяє адаптувати рухову стратегію робота до відповідних умов.

Один із прикладів встановлення та використання методів пошуку та ідентифікації ВВП є наявність бортових оптичних датчиків, розміщених на борту безпілотного літального апарата (БПЛА) [21]. Обмеженням цього методу є те, що виявляти можна тільки ВВП, які розташовані на поверхні ґрунту. Також на якість виявлення впливають погодні умови та наявність маскувальних факторів (камуфляж, рослинність тощо).

Тепловізійні системи використовують пасивну інфрачервону візуалізацію для детектування теплових відбитків, що можуть вказувати на теплопідпис вибухових матеріалів або недавно активованих пристроїв.

Таблиця 1.2 надає порівняльний аналіз методів пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів (ВПП) за рядом характеристик. У таблиці використовуються два типи взаємодії з ВПП – активний (А) та пасивний (П), і два типи платформ – стаціонарні (Ст) та мобільні (Моб). Виділяється потенційна продуктивність систем виявлення від низької до високої. Також оцінюються параметри якості, включаючи безпеку під час виконання робіт, імовірність виявлення ВПП, роздільну здатність, надійність та економічні показники.

З таблиці можна визначити, що радіохвильовий, оптичний і магнітометричний методи мають високу імовірність виявлення та надійність, але радіохвильовий та оптичний методи мають середню роздільну здатність. Контактний та сейсмоакустичний методи мають високу безпеку під час виконання робіт, але контактний метод має низьку потенційну продуктивність та економічні показники.

Додатково, таблиця включає оцінки підтримки інформаційних

технологій, доступу до мережі, передачі даних у реальному часі, що важливо для інтеграції систем виявлення в більш широкі інформаційні мережі та системи управління. Зокрема, радіохвильовий, оптичний та рентгенівське випромінювання методи підтримують оброблення даних та їх зберігання, доступ до мережі та покриття, а також передачу даних у режимі реального часу, що може бути корисним для оперативного реагування та координації зусиль із розмінування.

Враховуючи вищезазначене, ця таблиця може бути корисним інструментом для вибору оптимального методу виявлення ВПН в залежності від конкретних умов та потреб задачі розмінування.

Методи пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2. – Методи пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів

Характеристика	Контактний	Механізований	Радіохвильовий	Оптичний	Рентгенівське випромінювання	Гамма-випромінювання	Газоаналітичний	Біофізичний	Магнітометричний	Сейсмоакустичні
Тип взаємодії з ВПН (А – активний, П – пасивний)	А	А	А	П	А	АА	П	П	П	А
Тип платформи (Ст – стаціонарний, Моб – мобільний)	Ст	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Ст
Потенційна продуктивність	Low	Medium	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Моб	Ст	Low
Підтримка інформаційних технологій										
Оброблення даних та їхнє зберігання	–	–	+	+	+	+	–	–	+	+

Продовження таблиці 1.2

Характеристика	Контактний	Механізований	Радіохвильовий	Оптичний	Рентгенівське випромінювання	Гамма-випромінювання	Газоаналітичний	Біофізичний	Магнітометричний	Сейсмоакустичні
Доступ до мережі та покриття	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-
Передача даних у режимі реального часу	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-
Параметри якості										
Безпека під час виконання робіт	Low	Medium	High	Low	High	High	High	High	Low	Medium
Імовірність виявлення	High	High	Medium	Low	High	High	High	High	Medium	Medium
Роздільна здатність	High	Low	Medium	Medium	High	High	High	Low	Low	Low
Надійність	High	High	High	High	High	High	Low	Low	Medium	Medium
Економічні показники										
Вартість	Low	Medium	Medium	Medium	High	High	Medium	Low	Medium	Medium

1.4 Робототехнічні комплекси, які застосовуються для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Для здійснення пошуку ВВП застосовуються робототехнічні комплекси. Робототехнічні комплекси (РТК) – це складні системи, що складаються з роботів, сенсорів, програмного забезпечення та інших компонентів.

Класифікація робототехнічних комплексів гуманітарного призначення передбачає їх поділ на три категорії:

– «людина в системі управління» – до цієї категорії віднесені безпілотні машини, які самостійно виявляють цілі та здійснюють їх поділ, проте рішення про їх знищення приймає тільки людина-оператор;

– «людина над системою управління» – до цієї категорії належать системи, які знаходяться під керуванням людини-оператора, здатним втрутитися для коригування чи блокувати рішення при самостійному виборі або знищенні цілі системою;

– «людина поза системою управління» – до цієї категорії віднесені системи здатні виявляти, вибирати та знищувати цілі самостійно без людського втручання [9].

Для автономних роботів важливо високе співвідношення корисного навантаження і ваги маніпулятора. Пневматичні маніпулятори мають таку можливість, порівняно з електроприводними. Ще однією бажаною характеристикою для автономних систем є мінімізація енергоспоживання бортового блоку живлення. Це вимагає застосування оптимального зворотного зв'язку для управління рухом маніпулятора. Зроблено висновок, що керування третього порядку забезпечує практичний вибір для ефективного керування пневматичними маніпуляторами. Іноді на практиці неможливо виміряти повний фазовий вектор через конструктивні параметри маніпулятора.

У цьому випадку важливо мінімізувати кількість датчиків, які використовуються для оптимального контролю. Маніпулятор для розмінування повинен виконувати пошуковий рух міношукача та позиціонування обладнання для розмінування. Моделювання пошуку мін інфрачервоним (ІЧ) детектором та позиціонування міннезнешкоджувача за допомогою представленого пневматичний маніпулятор.

Кінцевий блок маніпулятора містить міношукач і знешкоджувач мін. Міношукач здійснює сканування траєкторій за допомогою маніпулятора під

час руху робота по мінному полю. Після виявлення міни маніпулятор повинен виконати траєкторію позиціонування нейтралізатора для розміщення його над виявленою міною. Нейтралізатор заснований на лазерному нагріванні міни до моменту займання і горіння вибухового наповнювача. Якщо міна має металевий корпус, то тепло проводиться через корпус і опромінення мішені продовжується до тих пір, поки температура внутрішньої стінки і температура наповнювача ВР не перевищить температуру його горіння. Якщо це пластиковий футляр, його опромінюють до тих пір, поки він не проникне, і вибуховий наповнювач не запалиться, або безпосередньо від лазерного випромінювання, або від полум'я, що запалює пластиковий корпус. Міношукач надає інформацію про кут розташування міни в режимі сканування маніпулятора. Ця інформація надходить за ланцюгом зворотного зв'язку до блоку керування та змінює режим сканування рис.1.4.



Рисунок 1.4 – Робот для гуманітарного розмінування

Для піротехнічних операцій роботизовані системи інкорпорують набір спеціалізованих сенсорів, що забезпечують мультимодальний датчиковий вхід для оптимальної обробки інформації в екстремальних умовах. Оптикоелектронні системи, які включають високодеталізовані камери з

широким динамічним діапазоном та інфрачервоні-сенсори зображення, забезпечують розширене візуальне спостереження, критичне для ідентифікації та класифікації потенційних вибухових пристроїв.

У середньовагових наземних роботизованих комплексах широко використовуються гусеничні приводи для покращення здатності пересування в складних умовах [9]. Такі універсальні роботи спеціального призначення оснащені для роботи з небезпечними матеріалами, включаючи хімічно активні, радіоактивні та біологічно шкідливі речовини. Вони мають маніпулятор та високопрохідний гусеничний привід

Серед вітчизняних розробок виділяється мобільний роботизований комплекс «Піранья» (рис. 1.5), призначений для транспортних завдань, функцій станції зв'язку. Він також забезпечує розвідувальні функції, такі як охорона периметра військових підрозділів, розвідка місцевості, виявлення позицій противника за допомогою різних датчиків, включаючи сейсмічні, акустичні, оптичні, теплові, радіосигнали та лазерне випромінювання. Комплекс також може виконувати завдання корегування артилерійського вогню та визначення координат цілей [10].



Рисунок 1.5 – Конструктивне виконання наземного роботизованого комплексу «Піранья»

«Піранья» має компактні габарити 1500982500 мм, кліренс 190 мм, можливість подолання кутів підйому до 30° і крену до 25°. Максимальна швидкість становить 20-25 км/год, а запас ходу – 20 км. Комплекс може бути

оснащений озброєнням, включаючи кулемети калібру 7,62 мм, 12,7 мм або гранатомет УАГ- 40, з широким діапазоном кутів наведення. Його система навігації забезпечує високу точність визначення координат і орієнтації.

Наземні робототехнічні комплекси спеціального призначення, як правило, оснащені шасі та маніпулятором (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Робототехнічний комплекс MarkV-A

Цей комплекс здатен пересуватися по схилах з кутом нахилу до 37° , перетинати канави глибиною до 0,5 метра та перешкоди висотою до 0,45 метра. Загальна маса комплексу становить 220 кг, що відносить його до категорії пристроїв середнього вагового класу. Розміри комплексу складають: довжина – 1300 мм, ширина – 700 мм, висота – 1500 мм. Максимальна швидкість переміщення дорівнює 5,6 км/год. Вантажопідйомність маніпулятора – 27 кгс (270 Н) при повному випрямленні [10]. Маніпулятор оснащений сімома керованими осями та захватом з двома пальцями, які мають сенсори.

Цей роботизований комплекс використовується інженерними військовими підрозділами, головним чином для первинного обстеження потенційно небезпечних предметів. Він оснащений оптичною системою, включаючи чотири відеокамери для спостереження.

Наземні роботизовані комплекси стали невід'ємною частиною

військових арсеналів багатьох країн. Один з відомих прикладів – роботи Pack Bot виробництва компанії iRobot, які активно використовуються протягом приблизно 15 років. Ці роботи виконують широкий спектр завдань, від розмінування та прокладання комунікацій до бойових операцій, демонструючи точність виконання складних і ризикованих завдань. Pack Bot оснащений гусеничною платформою та маніпулятором, що забезпечує йому високу гнучкість (ступінь свободи) і ефективність у виконанні завдань (рисунок 1.7)



а

б

а – комплекс у зібраному стані; б – виконання операції маніпулювання

Рисунок 1.7 – Загальний вигляд робота Pack Bot 510

Модифікацією комплексу Pack Bot є система REDOWL (Червона сова) (рисунок 1.8)



Рисунок 1.8 – Роботизований комплекс REDOWL

Наведені конструкції роботів легкого і надлегкого класу мають ряд особливостей. Вони мають специфічні схемні рішення. Модульна конструкція забезпечує можливість зміни конфігурації робота в процесі його експлуатації [4].

Конструкції роботів мінімізовані по масі. Широко практикується застосування неметалевих матеріалів та прогресивних композитів.

Мета використання наземних роботизованих комплексів, таких як описані вище, полягає у підвищенні ефективності та безпеки військових, інженерних та рятувальних операцій. Ці роботи дозволяють здійснювати різні завдання, включаючи розмінування, розвідку, охорону периметрів, ідентифікацію та нейтралізацію небезпечних об'єктів, без прямої участі людини у потенційно небезпечних умовах. Вони сприяють мінімізації ризиків для життя та здоров'я особового складу, забезпечуючи ефективне виконання завдань у складних та ризикованих умовах.

Деякі сценарії дозволяють використовувати кабель, багатьом потрібна додаткова автономність, тому потрібен бортовий блок живлення. Таким чином, ефективність руху є найважливішою, вимагаючи передових алгоритмів керування [10].

З іншого боку, швидкість навряд чи буде першорядною, оскільки основна задача, це саме пошук ВВП. Необхідно уточнити режими роботи. Більшість вимог передбачають операцію з людиною оператором (робота на безпечній відстані). Необхідно вказати цю безпечну відстань, а також метод забезпечення правильного встановлення захисних обмежень. Як правило, сучасні методи дистанційного керування на відстані від 1 км до 2 км використовують телеоперацію.

Прикладами переваг дистанційного керування є те, що завдання може виконувати один оператор і що положення камери можна легко вибрати за допомогою мікрохвильового зв'язку або оптоволокна для передачі відео прямої видимості від робототехнічної системи до віддаленої командної станції.

Для виконання складних завдань необхідно враховувати

кількість необхідних камер та їх розташування. Цілком імовірно, що принаймні дві стаціонарні або одну ротаційну камеру потрібно встановити на транспортний засіб, щоб забезпечити круговий огляд під час роботи та для орієнтації на місцевості. Повідомлялося про останні розробки з стереосистемою стеження [11].

Блоки керування оператора можуть бути встановлені для відображення одного або декількох зображень.

Канал зв'язку може бути відеоканалом 1,4 ГГц. Також можна використовувати волоконно-оптичні канали зв'язку, які забезпечують високу пропускну здатність, але кабель може бути проблемою на великих відстанях. Також необхідна лінія зв'язку для передачі сигналів керування та зворотного зв'язку датчиків.

Система керування та зв'язку, ймовірно, сприятиме додаванню функціональних можливостей вищого порядку, таких як об'єднання датчиків, навігація.

Повна система потребуватиме інтеграції систем керування маніпулятором і навігації з системою об'єднання даних, яка з високим ступенем достовірності розрізнятиме умови, пов'язані з мінунням, і станом, де немає мін.

Роботизовані комплекси для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів (ВНП) мають складну структуру, яка забезпечує автономність, точність та безпеку операцій (рисунку. 1.9).

На маніпулятор робототехнічного комплексу встановлюються інструменти та датчики, які дозволяють ефективно виявляти, ідентифікувати і маніпулювати вибухонебезпечними предметами. Металодетектори використовуються для локалізації металевих компонентів вибухівки, дозволяючи оператору розуміти, де може бути прихований вибуховий пристрій. Відеокамери забезпечують оператора зображенням з місця події, дозволяючи ідентифікувати ВНП на безпечній відстані.

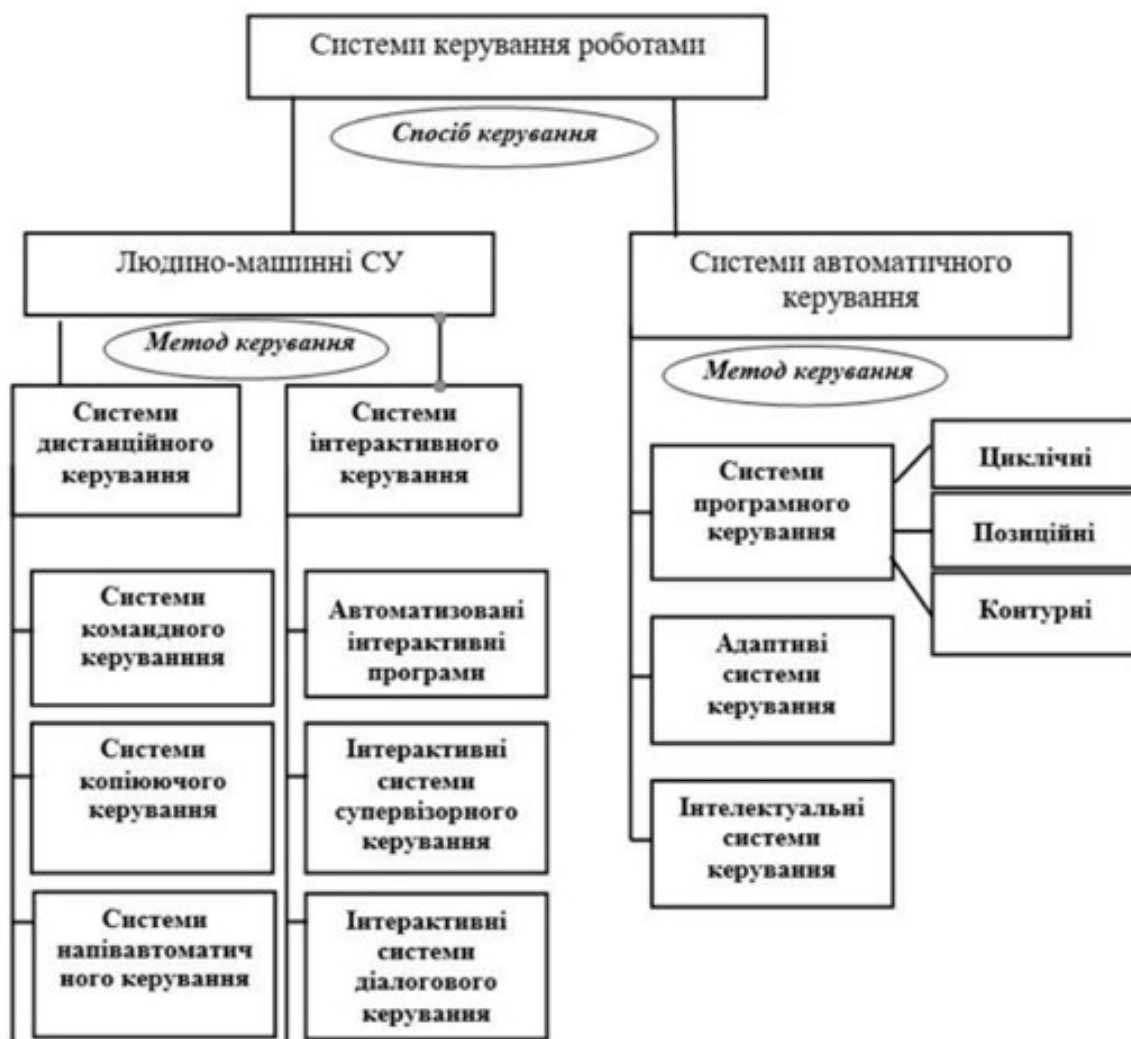


Рисунок 1.9 – Системи керування робототехнічними комплексами

Спеціалізовані датчики, такі як ті, що виявляють хімічні речовини або радіацію, використовуються для виявлення небезпечних речовин, які можуть бути частиною вибухового пристрою або бути результатом його вибуху [5]. Механічні захоплення на маніпуляторі дозволяють роботу переміщати об'єкти, які можуть представляти небезпеку, або здійснювати інші дії, наприклад, розмінування, не наражаючи на ризик людей. У сукупності ці компоненти створюють багатофункціональний комплекс, який може бути ефективно використаний для забезпечення безпеки в умовах можливого вибухової загрози.

Для ефективної роботи маніпулятора робототехнічного комплексу з виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів його технічні

характеристики та обладнання повинні включати:

- відеокамеру з високою роздільною здатністю і нічним баченням, яка дозволить оператору бачити деталізоване зображення віддалених об'єктів в реальному часі, з можливістю збільшення та фокусування для ідентифікації малих або підозрелих предметів;

- металодетектор, який може виявляти металеві компоненти всередині землі або приховані в інших об'єктах. Детектор повинен мати різні налаштування чутливості для визначення розміру і приблизної глибини залегання металевих об'єктів;

- мікрохвильовий радіолокатор для проникнення через поверхню землі або інші матеріали та виявлення об'єктів, які можуть бути заховані під ними. Радіолокатор повинен бути здатним відрізнити вибухові пристрої від інших не пов'язаних з ними металевих предметів.

Додатково, маніпулятор може бути обладнаний:

- системою GPS для точного визначення місцезнаходження маніпулятора та картографування зони пошуку;

- сенсорами відстані для вимірювання відстані до об'єктів та автоматизації процесу розміщення інструментів;

- системою гнучкого захоплення для роботи з об'єктами різних форм та розмірів;

- системою автоматизованого управління, яка включає в себе алгоритми для визначення оптимальних траєкторій руху маніпулятора.

Ці компоненти повинні бути інтегровані в єдину систему, яка дозволить оператору ефективно керувати маніпулятором на безпечній відстані, забезпечуючи високий рівень точності та безпеки під час виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

1.5 Постановка задач досліджень

Дослідження у сфері гуманітарного розмінування охоплює цілу низку завдань, які починаються з аналізу і оцінки існуючих систем та методик. Важливо вивчити міжнародний досвід та нормативні документи, щоб оцінити поточний стан справ і визначити основні виклики і проблеми. Необхідно також розробити та удосконалити класифікацію вибухонебезпечних предметів, аналізуючи їх характеристики для покращення методів пошуку та ідентифікації.

Далі в рамках дослідження потрібно оцінити ефективність сучасних методів детекції, включаючи можливості штучних нейронних мереж та кореляційних методів для розпізнавання об'єктів під поверхнею. Слід також звернути увагу на роботизовані комплекси, які можуть бути застосовані для пошуку та ідентифікації, розробивши вимоги до таких систем і проаналізувавши їх можливості.

Важливою частиною досліджень є моделювання процесів пошуку та ідентифікації. Це включає створення комплексної моделі процесу, розробку системи управління маніпулятором роботизованого комплексу та валідацію результатів розпізнавання. Останній етап полягає у розробці програмного забезпечення для роботизованих комплексів, включаючи алгоритми пошуку та ідентифікації, тестування та оптимізацію цих систем.

2 МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ПРОЦЕСУ ПОШУКУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

2.1 Порівняльний аналіз методів пошуку вибухонебезпечних предметів, які знаходяться під поверхнею землі

При виборі методу пошуку ВВП, особливо тих, що знаходяться під поверхнею, важливо враховувати ряд факторів, включаючи специфіку об'єкта пошуку, середовище, в якому він знаходиться, та ризики, пов'язані з детекцією. Кожен метод має свої унікальні переваги та обмеження, і ідеальний вибір часто залежить від конкретного сценарію [20].

Таблиця 2.1 надає порівняльний аналіз найпоширеніших методів пошуку ВВП, що лежать під землею, висвітлюючи ключові характеристики кожного методу для інформованого вибору.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз методів пошуку вибухонебезпечних предметів

Метод	Опис	Переваги	Недоліки	Ефективність	Безпека для оператора
Металодетектування	Виявлення металевих об'єктів за допомогою електромагнітного поля.	Простота використання; здатність виявити металеві ВВП.	Не виявляє неметалеві ВВП; помилкові тривоги від металевого сміття.	Висока на сухих ґрунтах; знижується у вологих.	Висока, але можливі помилкові спрацьовування.
Зондування ґрунту	Фізичне проникнення в землю для визначення наявності ВВП.	Ефективність у виявленні близько розташованих ВВП.	Трудомісткість; ризик активації ВВП при контакті.	Висока на м'яких та середньої щільності ґрунтах.	Низька через безпосередній контакт з потенційними ВВП.

Продовження таблиці 2.1

Метод	Опис	Переваги	Недоліки	Ефективність	Безпека для оператора
GPR (Радіолокація)	Використання радіохвиль для отримання зображень підземних структур.	Виявляє металеві та неметалеві об'єкти; надає інформацію про глибину та розмір.	Менш ефективний у вологих ґрунтах та складній геології.	Менш ефективний у вологих ґрунтах та складній геології.	Висока, безпечний дистанційний аналіз.
Теплове зображення	Виявлення ВВП за рахунок відмінностей у тепловій провідності.	Ефективне для виявлення поверхневих ВВП за відповідних умов.	Залежить від температурних умов; неефективний на глибині.	Змінна, залежить від температурних перепадів.	Змінна, залежить від температурних перепадів.
Акустична детекція	Використання звуку для виявлення вібраційних відмінностей	Може бути ефективним на деяких типах ґрунтів.	Обмежена дієвість через навколишні шуми.	Змінна, ефективність залежить від типу ґрунту та шуму.	Висока, якщо використовується дистанційно.
ШНМ (Штучні нейронні мережі)	Аналіз даних з детекторів для ідентифікації ВВП.	Висока точність; здатність розрізняти ВВП від інших об'єктів.	Потребує значних обчислювальних ресурсів; потребує великих даних для тренування.	Висока на всіх типах ґрунтів, при наявності якісних даних.	Висока, аналіз відбувається на безпечній відстані.
Кореляційні методи	Використання математичних алгоритмів для визначення схожості з відомими шаблонами ВВП.	Висока точність при наявності якісних вхідних даних.	Залежність від якості та кількості вхідних даних.	Висока, при наявності точних шаблонів для порівняння.	Висока, оскільки дані можна обробляти дистанційно.

Продовження таблиці 2.1

Метод	Опис	Переваги	Недоліки	Ефективність	Безпека для оператора
Інфрачервоне сканування	Виявлення об'єктів за рахунок інфрачервоного випромінювання.	Ефективний для ідентифікації ВВП на невеликій глибині.	Обмежена ефективність у вологих ґрунтах.	Змінна, залежно від умов середовища.	Висока, якщо використовується дистанційно.
Ультразвукове зондування	Використання ультразвуку для виявлення відмінностей у щільності ґрунту.	Ефективність у виявленні порожнин і твердих об'єктів.	Може бути обмеженим шумом навколишнього середовища.	Змінна, ефективність залежить від типу ґрунту.	Висока, якщо використовується дистанційно.

Як показав аналіз, проведений експертами з протимінної діяльності, в місцевостях де просувались ворожі війська, агресори не створювали мінні поля із певними визначеннями та повними картами, а проводили дистанційне мінування невеликих ділянок, що їм були потрібні – лісові масиви, польові дороги, сільськогосподарські землі [13].

Роботи з розмінування лісових масивів та пологої місцевості піротехнічними групами ДСНС України, проводити складніше. Це також має великий ризик для життя та здоров'я спеціалістів. Вибухонебезпечні предмети (ВВП) можуть бути замасковані під шаром лісової підстилки або трав'яної рослинності, що несе за собою небезпеку для сапера. Засоби захисту повністю не забезпечують належного захисту від усіх видів мін та снарядів.

На сьогодні немає точних даних про ступінь та масштаби забруднень, поки на території України йдуть бойові дії. Після війни спеціалізовані служби та організації спрямують свої дії на розробку ефективної системи аналізу та моніторингу стану довкілля, яка дозволить оцінити реальний об'єм завданої шкоди та розробити механізми відновлення довкілля від вибухонебезпечних

предметів.

Повинні створюватися регіональні ситуаційні центри, система яких побудована у вигляді спеціальної мережі, яка складається з динамічних оптичних мереж і повинна працювати по всій території для спостереження, виявлення та передачі даних про ВВП. Необхідність в провадженні системи буде сприяти появі великої кількості безпілотних летальних апаратів (БПЛА), які повинні працювати в єдиній комплексній мережі і нести ефективну допомогу для саперів в прискорюванні процесу розмінування місцевості [12].

В європейських країнах застосовують сучасний метод розмінування, який полягає у використанні контрольованого вогню та спеціальної техніки. Контрольоване випалювання лісової підстилки до мінерального шару ґрунту полегшує пошук боєприпасів та забезпечує безпеку для саперів. Однак цей метод не діє для ВВП, які знаходяться під шаром ґрунту глибше ніж 10 см.

На зміну цього методу, проводиться тестування нового способу розмінування за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). На літальних апаратах може бути встановлене спеціальне обладнання у вигляді камери з багатократним зумом та магнітометра, здатність яких виявляти як на поверхні землі так і під шаром ґрунту предмети з металу. Для обстеження території та пошуку феромагнітних матеріалів потрібно щонайменше два БПЛА, один з яких це – великовантажний квадрокоптер, в комплекті якого вмонтований металошукач, який повинен не створювати перешкоди для самого безпілотного літального апарату. Другий (меншого розміру) може фіксувати за допомогою камери місцезнаходження боєприпасів та передавати географічні координати на пульт управління. В комплексі ці два БПЛА можуть в десять разів прискорити процес розмінування.

На обстеження по визначеній траєкторії одного гектара землі БПЛА витрачають близько 15 хвилин, після чого залишають точні координати підозрілих металевих предметів. Після зняття показань, за допомогою

спеціального програмного забезпечення можна скласти карти зі схемами розташування вибухонебезпечних предметів та точними GPS-координатами в зоні обстеження. Після проведення робіт з ідентифікації підозрілих предметів та сканування території, на складання мінної картки знадобиться ще доба, після чого сапери зможуть безпечно розпочати процес розмінування.

На сьогодні в піротехнічних групах ДСНС України БПЛА керують операторами на етапі нетехнічного обстеження, для збору можливих доказів, на тих територіях, куди сапер фізично не зможе потрапити. Але ціллю даного проекту є автоматизація, оскільки в БПЛА потрібно буде лише в нести маршрут та інші параметри, зокрема висоту та швидкість. Результатом багаторазового сканування районів забруднення мають стати зразки новітніх ВМП, які зараз застосовуються в бойових діях на території України.

Вибір методу пошуку залежить від багатьох факторів, зокрема від специфіки місцевості, де проводиться розмінування [24]. Наприклад, використання методу металодетектування може бути високоефективним на сухих ґрунтах, але його ефективність значно знижується на вологих поверхнях, де електромагнітні сигнали можуть бути спотворені. Тому піротехніки повинні вибирати метод, який найкраще підходить до конкретних умов пошуку.

У сучасній Україні, на територіях Донецької та Луганської областей, приблизно на площі у 7000 квадратних кілометрів розміщено різні вибухонебезпечні предмети. Особливу небезпеку представляють наземні міни. Традиційно задачу розмінування виконують військові інженери, проте існує ідея створення спеціалізованого роботизованого обладнання для виявлення мін, яка виглядає дуже обнадійливо. Одним з найбільш обіцяючих пристроїв для сканування підземного простору є ультраширококутний підповерхневий радар. Цей пристрій використовує надкороткі наносекундні імпульси, що забезпечують високу роздільну здатність сканування. Застосування імпульсних електромагнітних хвиль має широкий спектр, включаючи виявлення людей за непрозорими перешкодами, аналіз ґрунту

для огляду метрополітенів та гуманітарне розмінування.

У дослідженні Думіна, для моделювання використовувались два типи мін, які є найбільш розповсюдженими та небезпечними у зонах збройних конфліктів у Донецькій та Луганській областях: ПМН-1 і ПМН-4. Міна ПМН-1 має висоту 53 мм і діаметр 110 мм, її корпус виконаний з бакеліту оранжевого кольору та має каучуковий ковпак сірого кольору на верхній частині. Внутрішня структура міни включає проміжний шар з повітрям, металевий механізм детонації та вибухівку з електричними характеристиками діелектричної проникності 3 та електропровідності 0,0044 См/м.

Міна ПМН-4, представлена на іншому зображенні, має висоту 42 мм і діаметр 95 мм. Її внутрішня конструкція схожа на ПМН-1, але має більш масивний металевий механізм детонації, що може забезпечити краще відображення електромагнітних імпульсів та стабільніше виявлення. Матеріали корпусу та електричні характеристики вибухової речовини у ПМН-4 такі ж, як і в ПМН-1.

Важливим аспектом при гуманітарному розмінуванні є точна класифікація об'єктів на основі відбитих хвиль, причому в режимі реального часу, та з мінімізацією помилкових спрацьовувань, які можуть визначати міни як безпечні об'єкти, такі як сміття або використані бляшанки. Враховуючи, що зона конфлікту часто містить подібні об'єкти, дослідження також включає в себе врахування присутності використаних металевих банок у якості потенційних хибних цілей.

Використання повнозв'язної штучної нейронної мережі з п'ятьма прихованими шарами нейронів для обробки сигналів в системах підповерхневого зондування дає успішні результати виявлення та класифікації об'єктів. Була продемонстрована задовільна стійкість до шуму на різних відстанях від системи опромінення. Виправдане використання різницевих сигналів у якості тренувальних даних для нейронної мережі. ШНМ забезпечує стабільні результати розпізнавання протипіхотних мін,

незважаючи на сильну зашумленість вхідних сигналів.

Методи та засоби пошуку вибухонебезпечних предметів (ВНП), що використовують електромагнітну спектроскопію та радіолокаційні технології, є невід'ємною частиною сучасних гуманітарних та оборонних заходів безпеки. Вони відіграють важливу роль у виявленні та локалізації потенційно небезпечних об'єктів, що дозволяє уникнути прямого фізичного контакту з ними та забезпечує безпеку персоналу та ефективність проведення операцій.

Радіолокаційні технології, такі як Ground Penetrating Radar (GPR), є ключовими в пошуку ВНП. GPR використовує ультрависокочастотні радіохвилі, які випромінюються і відбиваються від різних структур під землею. Аналіз відображення цих хвиль дозволяє визначити місцезнаходження, глибину та навіть можливу природу ВНП. Технічні засоби для радіолокації включають спеціалізовані GPR-системи з різними антенами для різних глибин пошуку, а також складне програмне забезпечення для обробки та візуалізації даних.

Радіолокаційна технологія надає унікальну можливість для комплексного пошуку ВНП, дозволяючи виявляти широкий спектр вибухових матеріалів в різних умовах. Цей метод не лише підвищує безпеку під час операцій розмінування, але й забезпечують більш точне та ефективне виявлення потенційних загроз. У сучасному світі, де зростає потреба в ефективних технологіях безпеки, розвиток та вдосконалення цих методів є важливими для забезпечення глобальної стабільності та безпеки [25].

Засоби пошуку вибухонебезпечних предметів, що використовують методи радіолокації, можуть виявляти характеристики матеріалів, їхню геометрію та інші параметри. Радіолокація базується на використанні радіосигналів для визначення місцезнаходження об'єктів.

Радіолокація є методом виявлення об'єктів та вимірювання їх відстані (дальності), кутового положення або радіальної швидкості за допомогою радіохвиль. Вона базується на принципі випромінювання радіохвиль та

аналізу відбитих від об'єкта сигналів. Основні характеристики та формули, що використовуються в радіолокації:

Частота радіохвиль (f): Це частота, на якій випромінюються радіохвилі. Вона впливає на проникаючу здатність і роздільну спроможність радіолокаційної системи. Високочастотні хвилі (наприклад, у діапазоні гігагерц) забезпечують кращу роздільну спроможність, але мають меншу проникаючу здатність порівняно з низькочастотними хвилями.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{R^4}$$

де P_r – потужність, що приймається;

P_t – потужність, що передається;

G_t та G_r – коефіцієнти посилення передавальної та приймальної антен відповідно;

λ – довжина хвилі радіосигналу;

σ – ефективна площа розсіювання об'єкта;

R – відстань до об'єкта.

Максимальна відстань, на якій радіолокаційна система може виявити об'єкт. Вона залежить від потужності передавача, чутливості приймача, розміру антени та властивостей об'єкта. Дальність може бути обмежена горизонтом радіовидимості, що визначається як:

$$d_{rop} \approx 3.57 \sqrt{h}$$

де d_{rop} – дальність до горизонту в кілометрах;

h – висота антени в метрах.

Здатність радіолокаційної системи розрізнити два близько розташовані об'єкти. Вона залежить від ширини смуги частот передаваного сигналу та

кутових характеристик антени. Чим вужча імпульсна характеристика, тим краща роздільна здатність.

Зміна частоти або довжини хвилі радіохвилі, сприйнятої приймачем, внаслідок відносного руху джерела хвилі та приймача. Це явище використовується для вимірювання швидкості об'єктів.

Застосування цих принципів та формул у радіолокаційних системах дозволяє ефективно виявляти, класифікувати та відстежувати різноманітні об'єкти, включаючи вибухонебезпечні предмети. Особливо це актуально для GPR систем, які використовуються у дослідженнях підземних структур, а також у пошуку та ідентифікації ВВП.

2.2 Конструктивні особливості робототехнічних комплексів

Робототехнічні комплекси (РТК) сьогодні є втіленням передових технологій у сфері автоматизації та мехатроніки, демонструючи вражаючий спектр можливостей, від базових маніпуляцій до виконання високоспеціалізованих завдань. Вони об'єднують різноманітні інженерні рішення та технології, що дозволяють їм адаптуватися до широкого спектру умов та вимог.

Мобільні. Це роботи, принцип дії яких нерозривно пов'язаний зпереміщенням у просторі, тобто із рухом. Переміщатися і рухатися можуть урізних фізичних середовищах. Можливе створення робототехнічних машин для переміщення по землі чи будь-якій твердій поверхні [7–9]. А можуть створюватись і роботи для польотів у повітряному просторі або плаваючі водному середовищі [10–12].

Наземні. 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. Вони можуть їздити за допомогою коліс, котитися на гусеницях, крокувати як тварини або люди, або навіть повзати як змії [13–15] (рис. 2.3)

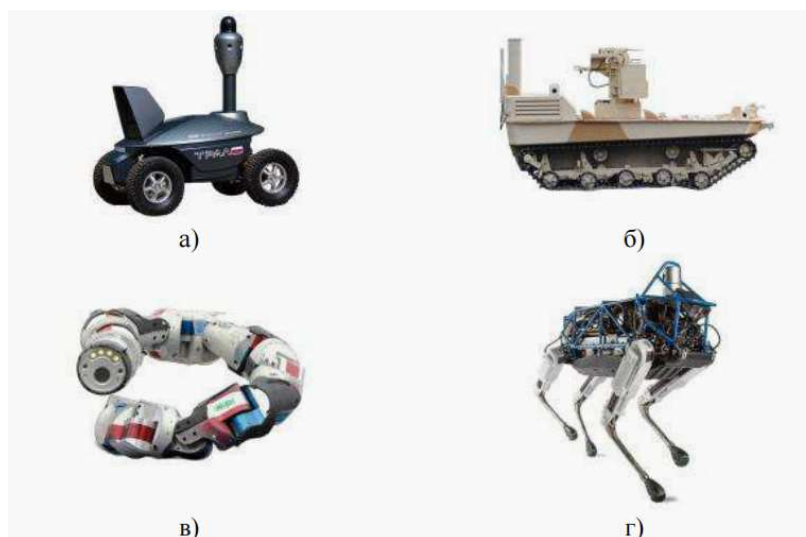


Рисунок 2.3 – Види наземних роботів

Мобільна платформа робототехнічних комплексів, яка може бути оснащена колесами або гусеницями, забезпечує необхідну мобільність для переміщення у різних середовищах. Гусеничні системи часто застосовуються у важких промислових чи військових умовах, де потрібна висока прохідність, тоді як колісні платформи ідеально підходять для рівних та твердих поверхонь, наприклад, у логістичних центрах або лабораторіях.

Двигуни та актуатори, які можуть бути електричними, гідравлічними або пневматичними, забезпечують не тільки переміщення самого робота, а й приводять у дію його маніпулятори та інші рухомі частини. Вибір типу двигуна залежить від потреби у точності, силі, швидкості руху та автономності.

Енергетичні системи РТК, включаючи акумулятори та сонячні панелі, є критично важливими для забезпечення тривалої роботи без постійного зовнішнього джерела живлення. Наприклад, у дослідницьких місіях на інші планети, де доступ до електричної мережі неможливий, сонячні панелі використовуються для забезпечення енергії роботам.

Сенсорна система, що включає в себе різноманітні датчики та камери, забезпечує робота інформацією про його навколишнє середовище. Це може включати датчики температури, відстані, швидкості, а також більш

спеціалізовані сенсори, такі як лідари або тепловізійні камери.

Керуюча електроніка робототехнічних комплексів відповідає за обробку даних, отриманих від сенсорів, та управління роботом. Вона може включати в себе складні комп'ютерні системи з великою обчислювальною потужністю для аналізу великих обсягів даних у реальному часі.

Маніпулятори та інструменти, які можуть бути модульними та адаптивними, дозволяють роботу виконувати специфічні завдання, такі як захоплення предметів, виконання точних маніпуляцій, або використання спеціалізованого інструментарію, наприклад, для зварювання або різання [23].

Робот представляє собою комплексний технічний апарат, сконструйований згідно з принципами мехатроніки. Він складається з маніпулятора та системи керування, призначених для переміщення різноманітних об'єктів у просторі. Серед об'єктів, з якими робот може працювати, є:

- у машинобудівній галузі: заготовки, деталі, інструменти, контейнери з розплавленим металом тощо;
- у сфері атомної енергетики: радіоактивні стрижні, кришки люків, прилади контролю та інше;
- у дослідницькій роботі: телекамери, відеокамери, бурове обладнання, космічні апарати тощо;
- для робіт в екстремальних умовах: спеціалізоване обладнання для обробки місцевості, прилади для обробки землі, поверхонь будівель і тому подібне.

В роботі для виконання рухових функцій використовується маніпулятор, що представляє собою ряд кінематичних ланок, з'єднаних між собою кінематичними парами (рис. 2.4).

Маніпулятор робота складається з послідовно з'єднаних кінематичних ланок, одна з яких є стаціонарною, в той час як інші можуть здійснювати контрольовані рухи за допомогою приводів.

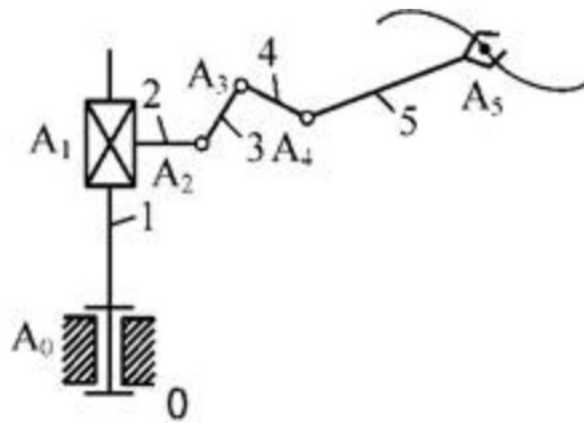


Рисунок 2.4 –Маніпулятор робота

В маніпуляторах використовуються одновісні обертові або поступальні кінематичні пари п'ятого класу, що дозволяють забезпечити рух ланок одна відносно одної за однією координатою, таким чином для переміщення однієї ланки відносно іншої достатньо одного приводу (рис. 2.5).

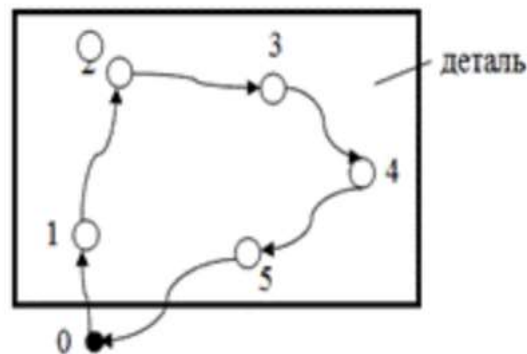


Рисунок 2.5 –Позиційне керування

Сила дії приводів на ланки маніпулятора визначається управляючими сигналами, що надходять від системи керування робота. Ці сигнали формуються на основі заданого руху захвату, а також з урахуванням поточного стану робота і його технологічного оточення. В результаті ланки маніпулятора та захват здійснюють точно задані переміщення у просторі.

Два основних типи завдань, які ставляться перед роботами, це:

1. Позиційне керування: переміщення від однієї точки до іншої за певний час. Задаються координати початкової, проміжних та кінцевих точок.

Тут важливо, що захват зупиняється в кожній точці, що дозволяє розглядати кожну пару сусідніх точок як окремий початковий та кінцевий пункт маршруту.

2. Контурне керування: переміщення захвата відповідно до заданої траєкторії та часового розкладу руху. Тут задається шлях руху захвата у часі та його орієнтація під час руху.

Лазерний робототехнічний комплекс, який включає маніпулятор із кінематичною схемою SCARA і твердотільний лазер, використовується для лазерної різки. Система керування таким комплексом включає в себе промисловий комп'ютер IBM PC, контролер руху та програмне забезпечення, розроблене у середовищі LabView. Система керування дозволяє варіювати використовувані датчики інформації, адаптувати параметри регуляторів в процесі руху та інтегрувати комплекс у складні виробничі системи через локальні мережі.

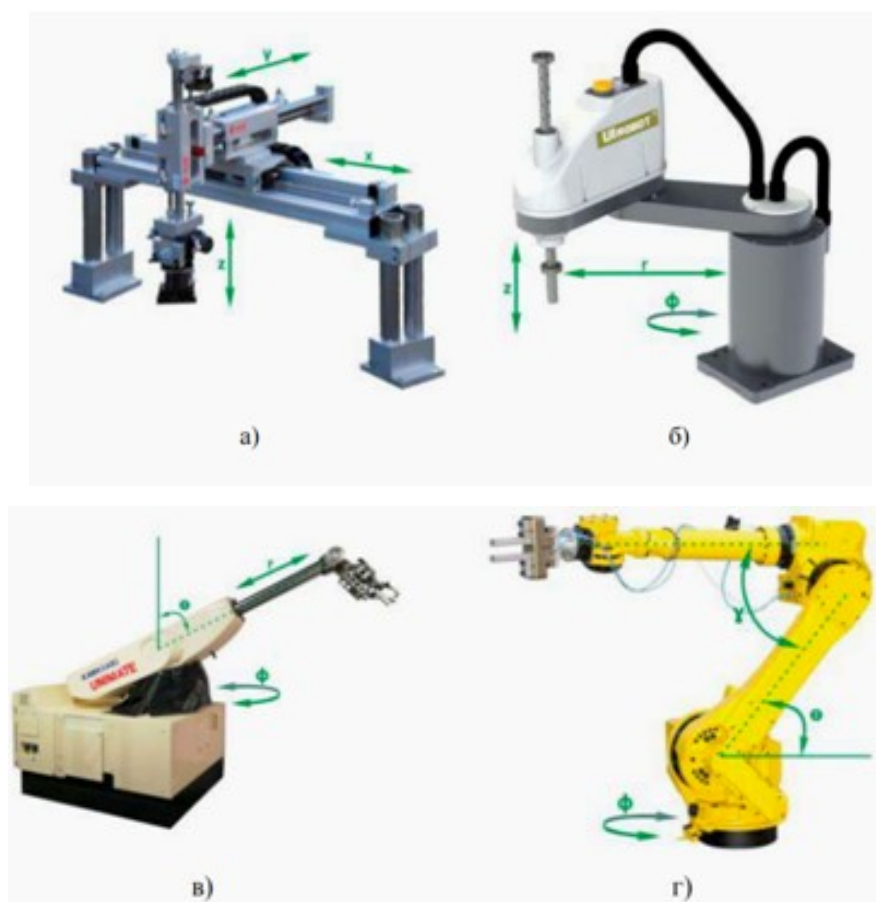
Робототехнічний комплекс для механообробки включає в себе промисловий робот, маніпулятор, систему керування, обладнання для механічної обробки, інструменти та пристрій для силового застосування. Система керування має дворівневу архітектуру з центральним процесором і шістьма процесорами приводів, а також здатна до вимірювання сил і моментів за допомогою спеціалізованих датчиків і блоків обробки інформації.

Інтерфейси та порти забезпечують гнучкість РТК, дозволяючи підключати додаткові пристрої або модулі, що розширюють функціональні можливості робота і дозволяють йому адаптуватися до нових завдань та умов.

Маніпулятори, які є поширеним видом робототехніки, почали застосовуватися в промисловості в 1960-х роках. Вони мають відмінності у принципах роботи та конструкції порівняно з мобільними роботами. Завдання маніпуляторів полягає у переміщенні об'єктів, наприклад інструментів чи компонентів машин, змінюючи їх просторове положення. Ці

роботи є стаціонарними та виконують маніпуляції з предметами у відносності до свого фіксованого місця розташування. Маніпулятори особливо затребувані в промисловому виробництві, де можна створити оптимальні умови для їх безпечної та продуктивної роботи, що призвело до виникнення їхньої альтернативної назви — «промислові роботи».

На рис. 2.6 показані основні види маніпуляційних роботів, які визначаються системами координат, що використовуються для керування положенням маніпулятора.



а) у прямокутній системі координат [33]; б) у циліндричній [34];
в) у сферичній [35]; г) у кутовій [36]

Рисунок 2.6 – Приклади конструкцій роботів-маніпуляторів, що працюють у різних системах координат

Мобільно-маніпуляційні роботи об'єднують в собі характеристики маніпуляційних та мобільних систем. Така конструкція надає роботу-маніпулятору перевагу у вигляді розширеного робочого простору завдяки

мобільній основі. Ця мобільність дозволяє системі отримати додаткові ступені волі, збільшуючи її функціональні можливості для користувача. Однак, керування такими складними системами є досить складним завданням через їх високу ступінь свободи та динамічність навколишнього середовища.

Наразі сфера мобільної маніпуляції перебуває у центрі уваги науковців та інженерів, і такі системи знаходять застосування в різноманітних доменах – від космічних досліджень до медичного обслуговування. Незважаючи на значні перспективи для гнучкої автоматизації, промислове впровадження мобільних маніпуляторів досі залишається обмеженим. Проте, потреба у впровадженні інтелектуальних та адаптивних систем у виробництво є очевидною. Сучасний розвиток технологій пропонує широкий вибір апаратних компонентів, таких як мобільні платформи, роботизовані маніпулятори, системи візуалізації та інструментарій, які можуть бути інтегровані для вирішення специфічних задач [37–40].

Приклад мобільно-маніпуляційних роботів наведено рис. 2.7.



а) Mobile manipulator RB-VULCANO; б) Mobile manipulator XL-GEN; в) Mobile manipulator FETCH; г) Mobile manipulator RB-EKEN

Рисунок 2.7 – Мобільно-маніпуляційні роботи

Робот, розроблений в рамках проекту DYLEMA, є шестиногим автономним роботом, призначеним для виявлення та локалізації протипіхотних мін. Основні конструктивні особливості цього робота включають:

1. Шестинога конфігурація: оптимізована для підвищення мобільності та стабільності на різноманітних поверхнях, дозволяючи роботу обходити перешкоди та нерівності терену.

2. Легка вага: робот спроектований так, щоб його могли переносити дві дорослі особи, що є важливим для виправлення технічних чи логістичних проблем на місцевості.

3. Автономність: робот оснащений системою живлення на основі DC акумуляторів для забезпечення енергонезалежності і уникнення використання кабелів.

4. Напівавтономне керування: робота можна контролювати дистанційно, з включенням оператора в процес управління через телекерування та колаборативні системи управління.

5. Оптимізація споживання енергії: при проектуванні робота враховувалася потреба в балансуванні між мобільністю, стабільністю та енергоефективністю.

6. Сканувальний маніпулятор: маніпулятор з п'ятьма ступенями вільності використовується для переміщення датчикової голови, адаптації до нерегулярностей рельєфу та оптимізації процесу сканування.

7. Датчикова голова: включає мінний детектор та додаткові сенсори для визначення висоти над поверхнею та виявлення перешкод.

8. Локатор: після виявлення підозрілого об'єкта система позначає його точне місцезнаходження в базі даних для подальшого аналізу та знешкодження.

9. Контролер: глобальна система управління розподілена між бортовим комп'ютером, що контролює маніпулятор та рух ніг, та операторською станцією, яка відповідає за основні завдання робота наведено рис. 2.8 [42].

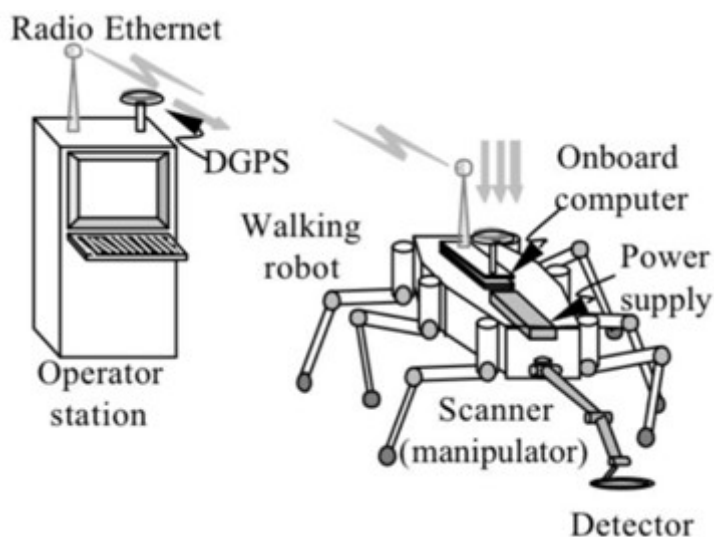


Рисунок 2.8 – DYLEMA Global system [42]

На рисунку представлена модель підключення робота-собаки та наведені принцип роботи із зазначенням підключення через радіозв'язок та DGPS

Конструкція робота складається із шести ніг для реалізації пересування. На спині робота встановлений бортовий комп'ютер, живлення, антена для можливості направлення сигналу для виконання, що надсилаються піротехніком. Детектор для знаходження ВПН закріплений на маніпуляторі. Цей робот є прикладом інтеграції робототехнічних, локаторних та контрольних систем для створення комплексного рішення, яке може виконувати складні завдання в гуманітарному розмінуванні.

Робототехнічні комплекси (РТК) становлять собою передові технічні системи, які знайшли своє застосування у широкому спектрі галузей, від промислового виробництва та медицини до військових застосувань та космічних досліджень. Ключовим фактором, що визначає ефективність та функціональність цих комплексів, є їх конструктивні особливості. Кожен компонент РТК відіграє важливу роль у загальній роботі системи, від мобільності та маневреності до точності виконання завдань та взаємодії з навколишнім середовищем.

Завдяки цим конструктивним особливостям, РТК здатні виконувати

широкий спектр завдань, адаптуючись до різноманітних умов та потреб, від промислового виробництва і медичних застосувань до досліджень в екстремальних умовах і військових діях.

У таблиці 2.3 представлено детальний опис основних компонентів робототехнічних комплексів, їх функцій та прикладів застосування.

Таблиця 2.3 – Конструктивні особливості робототехнічних комплексів

Компонент	Опис	Приклади
Мобільна платформа	База робота, забезпечує мобільність. Може мати колеса, гусениці для руху по різних поверхнях.	колісні роботи для рівних поверхонь; гусеничні роботи для нерівного рельєфу.
Двигуни та актуатори	Відповідають за рух робота та його частин. Можуть бути електричними, гідравлічними або пневматичними.	Електричні двигуни для малогабаритних роботів; гідравлічні системи для важких роботів.
Енергетичні системи	Джерела живлення робота. Часто використовуються акумулятори або сонячні панелі.	Літій-іонні акумулятори; сонячні панелі для додаткового живлення.
Сенсорна система	Включає камери, датчики для збору інформації про навколишнє середовище.	Інфрачервоні датчики для визначення перешкод; відеокамери для навігації.
Керуюча електроніка	Мікроконтролери та процесори для обробки даних і управління роботом.	Процесори для аналізу даних від сенсорів; мікроконтролери для управління двигунами.

Продовження таблиці 2.3

Маніпулятори та інструменти	Робочі частини робота для виконання специфічних завдань, як-от захоплення, різання.	Робочі руки для захоплення об'єктів; спеціалізовані інструменти для різання.
Інтерфейси та порти	Для підключення додаткових пристроїв або модулів.	Порти USB для підключення зовнішніх пристроїв; модульні інтерфейси для додаткових інструментів.

Таблиця 2.3 демонструє різноманітність компонентів, які використовуються у сучасних робототехнічних комплексах, і підкреслює їх взаємодію та важливість для функціонування робота. Від мобільної платформи, яка визначає рухливість робота, до керуючої електроніки та сенсорних систем, що забезпечують його взаємодію з навколишнім середовищем, кожен елемент відіграє ключову роль у загальній роботі системи.

2.3 Маніпулятори, які застосовуються робототехнічними комплексами у сфері гуманітарного розмінування

Траєкторія руху захвату і швидкість його руху між точками не регламентується.

Зрозуміло, що число таких точок може бути нескінченно великим. Істотним моментом являється те, що в кожній точці захват повинен зупинитись. Це означає, що кожен пару сусідніх точок можна розглядати, як початкову та кінцеву (рис. 2.6-2.7).

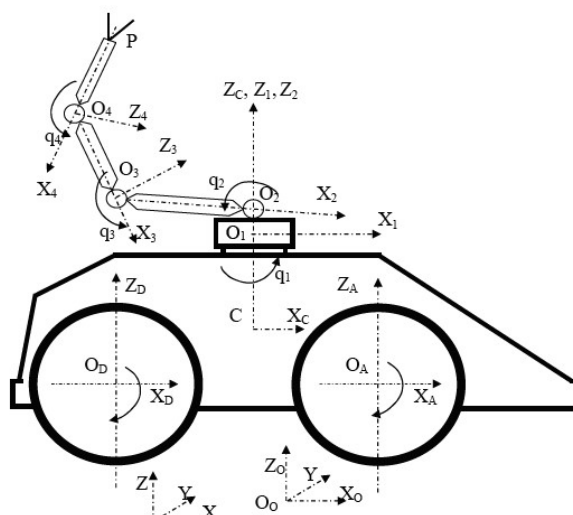


Рисунок 2.6 – Креслення автономного робота з маніпулятором [24]

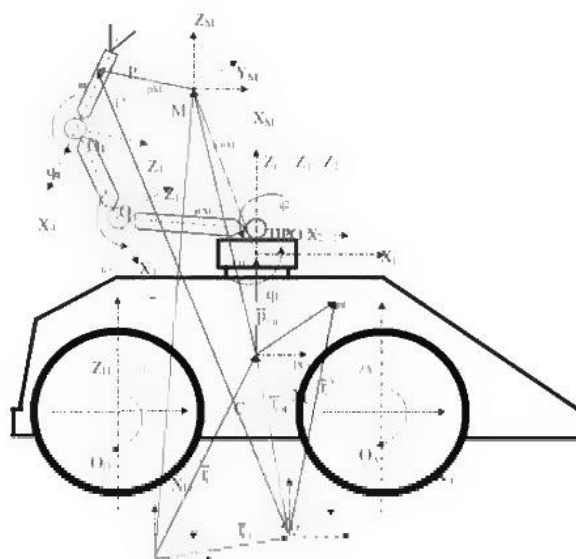


Рисунок 2.7 – Схема розрахунку автономного мобільного робота з маніпулятором [24]

Управління рухом маніпуляторів у галузі гуманітарного розмінування можуть бути позиційне та циклове керування. Перше вимагає, щоб швидкість та прискорення захвата були нульовими в початковій і кінцевій точках. Друге – переміщення захвата за заданою траєкторією та законом руху у часі.

Маніпулятори для гуманітарного розмінування повинні бути міцними,

точними та гнучкими для впорядкування завдань у складних умовах. Дистанційне керування та автоматизація допомагають забезпечити безпеку операторів. Елементи штучного інтелекту можуть підвищити ефективність.

Точність та контроль важливі для виявлення та обробки вибухонебезпечних предметів. Інтеграція з сенсорними системами, такими як відеокамери та радіолокаційні датчики, забезпечує отримання детальної інформації. Розробка таких систем допомагає захищати життя та здоров'я людей, що працюють у небезпечних умовах.

Здатність маніпуляторів у галузі гуманітарного розмінування виконувати завдання виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів визначається їхніми основними характеристиками. Маніпулятори повинні виявлятися міцними та надійними для роботи в екстремальних умовах, таких як нерівна поверхня чи вологе середовище.

Гнучкість та багатофункціональність мають ключове значення, оскільки вони дозволяють маніпуляторам виконувати різноманітні завдання ускладнених умовах. Їх можливість швидко змінювати захоплюючі пристрої чи інструменти робить їх адаптивними до різних викликів.

Дистанційне керування та автоматизація, зокрема використання алгоритмів штучного інтелекту, забезпечують безпеку операторів, дозволяючи їм працювати на безпечній відстані. Точність та контроль важливі для ефективного виконання операцій, таких як виявлення та видалення дрібних компонентів вибухових пристроїв.

Інтеграція різних сенсорних систем, таких як відеокамери та радіолокаційні датчики, грає ключову роль у забезпеченні детальної інформації про вибухонебезпечні предмети. Ці характеристики разом утворюють надійну та безпечну систему для гуманітарного розмінування, необхідну для захисту життя та здоров'я працівників у цій складній та небезпечній області.

Перш за все, маніпулятори для розмінування мають високу міцність та надійність, оскільки їх використовують в екстремальних умовах, таких як

нерівні поверхні чи вологі та пилові середовища. Вони повинні бути стійкими до фізичних пошкоджень та здатними оптимально функціонувати в умовах важкої експлуатації.

Гнучкість та багатофункціональність визначають успішність маніпуляторів. Здатність до руху в обмежених просторах та виконання складних завдань, таких як обережне переміщення вибухонебезпечних предметів, є важливою. Маніпулятори можуть бути модульними, що дозволяє швидко замінювати захоплюючі пристрої, інструменти або сенсорні системи в залежності від потреби.

Дистанційне керування та автоматизація є критично важливими аспектами для забезпечення безпеки операторів. Вони дозволяють операторам працювати на безпечній відстані від потенційно небезпечних предметів. Маніпулятори можуть включати елементи автоматичного управління, використовуючи алгоритми штучного інтелекту, для підвищення ефективності та точності виконання завдань.

Точність та контроль є невід'ємною частиною дизайну маніпуляторів для розмінування. Це забезпечує можливість виконувати складні операції, такі як виявлення та видалення дрібних компонентів вибухових пристроїв або обережне переміщення ВНП.

Нарешті, інтеграція з сенсорними системами відіграє ключову роль у підвищенні ефективності роботи маніпуляторів. Включаючи відеокамери, датчики проникаючої радіолокації, металодетектори та інші сенсорні системи, ці маніпулятори можуть отримувати детальну інформацію про ВНП, що дозволяє точно визначити їх розташування та властивості.

Конструктивні схеми основних вузлів маніпулятора. Під вузлом розуміють конструктивно закінчену складальну одиницю, що має порівняно вузьке функціональне призначення, наприклад, що забезпечує тільки поступальне або тільки обертальний переносний рух. Вузол може містити в собі, крім несучих і кінематичних елементів, також виконавчу частину силового привода (мотори, пневмо- і гідроциліндри), передавальні механізми

й різні додаткові пристрої - упори, амортизатори, датчики зворотного зв'язку й ін. Конструктивно до основних вузлам маніпулятора ставлять:

- робочий орган, що прикріплюється до руки маніпулятора, що й має - від 0 до 3 ступенів, що орієнтують, рухливості;

- рука, виконувана у вигляді одного або декількох ланок (багатоланкова рука), у першому випадку, що забезпечує робочому органу переносний прямолінійний рух за рахунок одному ступеня рухливості, у другому - переносне прямо - або криволінійний рух за рахунок двох або більш обертальних ступенів рухливості; при багатоланковій руці може окремо розглядатися кисть маніпулятора, що має від 1 до 3 ступенів, що орієнтують, рухливості;

- каретка, переміщувана у твердих напрямних, що й забезпечує лінійне (частіше - прямолінійне вертикальне) переносний рух;

- колона, що забезпечує обертальне щодо своєї поздовжньої осі переносний рух;

- підставка, що представляє собою опорну конструкцію, на якій монтують усі вищевказані вузли, а крім того, можуть установлюватися елементи силового привода й системи керування. Найчастіше підстава нерухлива, але в окремих випадках йому надають одну - два координатні ступені рухливості.

Сучасна тенденція – створення автономних уніфікованих вузлів, так званих модулів; компонуючи їх, можна утворювати різні необхідні варіанти маніпуляторів. Використання тих або інших вузлів або модулів у конструкції маніпулятора і їх взаємне розташування залежать від призначення й умов роботи, прийнятої базової системи координат, вимог до геометричних і кінематичних параметрів маніпулятора.

Робочий орган промислового робота – це складова частина маніпулятора ПР для безпосереднього виконання технологічних операцій або допоміжних переходів. Робочі органи є важливими елементами ПР, формують їхні технологічні можливості. До робочих органів відносять загарбні

пристрої й технологічні інструменти.

Залежно від призначення ПР і особливостей технологічного процесу маніпулятори постачають тими або іншими робочими органами.

Разом, ці характеристики формують основу для розробки високоефективних, надійних та безпечних систем для гуманітарного розмінування, забезпечуючи захист життя та здоров'я людей, які працюють у цій важливій та небезпечній сфері.

Робототехнічні комплекси з маніпуляторами, використовувані для гуманітарного розмінування, представляють собою високотехнологічні системи, спроектовані для безпечного та ефективного видалення вибухонебезпечних предметів з постконфліктних територій. З їхньою високою точністю та можливістю маніпулювати навіть найдрібнішими об'єктами, вони максимально знижують ризики для життів людей під час роботи.

Такі маніпулятори здатні швидко змінювати свої інструменти, що робить їх надзвичайно гнучкими та адаптивними до різних сценаріїв розмінування. Від захоплення та переміщення потенційно небезпечних предметів до їх знешкодження - маніпулятори можуть бути оснащені різними інструментами, включаючи захвати, ківші, ножиці або інші спеціалізовані прилади. Дистанційне керування маніпуляторами забезпечує додатковий рівень безпеки, дозволяючи операторам контролювати процес з безпечної відстані, значно знижуючи ризик для життя та здоров'я.

Прикладами робототехнічних систем з маніпуляторами для розмінування є Talon Robot від Northrop Grumman.

Talon Robot від Northrop Grumman є передовою робототехнічною системою, яка змінює парадигму гуманітарного розмінування. Talon, розроблений Northrop Grumman, є високомобільним, багатоцільовим роботом, який здатний виконувати різноманітні завдання від розмінування до надзвичайних ситуацій. Цей робот відрізняється своїми компактними розмірами, що робить його зручним для швидкого пересування та

транспортування. Оснащений маніпулятором з кількома ступенями свободи, Talon здатний виконувати складні маніпуляції, імітуючи рухи людської руки, що є критично важливим при роботі з вибуховими пристроями. Робот оснащений сенсорами та камерами, що забезпечують оператору високий рівень візуалізації та контролю (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Talon Robot від Northrop Grumman

Система відображає значні досягнення у технологіях розмінування. Вона пропонує рішення, що поєднують інноваційні підходи до безпеки, маневреності та ефективності, демонструючи, як передові технології можуть бути адаптовані для вирішення одних з найскладніших і небезпечних завдань. Такі системи роблять процес розмінування не тільки безпечнішим, але й значно швидшим та ефективнішим, вносячи важливий вклад у гуманітарні зусилля по всьому світу, сприяючи відновленню миру та безпеки у постконфліктних регіонах.

Завдяки таким маніпуляторам, процес розмінування стає не тільки більш безпечним, але й набагато ефективнішим. Вони дозволяють виконувати широкий спектр завдань, від простого переміщення об'єктів до складних операцій з розмінування, тим самим забезпечуючи швидке

відновлення безпеки та доступності територій, які були раніше забруднені вибухонебезпечними предметами.

2.4 Висновки до 2 розділу

Вибір методу розмінування та використання різних технологій в сучасних умовах є складним завданням, що вимагає уважного аналізу конкретних умов місцевості, наявності обладнання та кваліфікації персоналу. Застосування сучасних технологій, таких як штучні нейронні мережі, існуючі робототехнічні системи з маніпуляторами, та інші передові методи значно підвищують точність, безпеку та ефективність процесу розмінування. Однак, важливо враховувати, що ефективність цих методів може змінюватися в залежності від специфічних геологічних, кліматичних та електромагнітних умов на місцевості. Розробка та постійне навчання спеціалізованого персоналу, здатного ефективно використовувати ці складні технології, є ключовим для успішного застосування цих методів у реальних умовах.

Завдяки використанню інноваційних робототехнічних систем та передових методів, процес розмінування стає не тільки більш безпечним для персоналу, але й набагато ефективнішим, що сприяє швидкому відновленню безпеки та доступності територій, що постраждали від вибухонебезпечних предметів. Це не лише забезпечує захист життя та здоров'я людей, але й сприяє відновленню миру та стабільності у постконфліктних регіонах, демонструючи важливість постійного розвитку та інтеграції нових технологій у сфері гуманітарного розмінування.

У висновку, важко переоцінити значущість вибору ефективного методу розмінування та застосування сучасних технологій у цьому процесі. Штучні нейронні мережі, робототехнічні системи та інші передові методи дозволяють підвищити точність, безпеку та ефективність цього складного завдання. Однак варто пам'ятати, що успішність цих методів залежить від урахування специфічних умов на місцевості.

Розробка та постійне навчання кваліфікованого персоналу визначають успішне використання цих технологій в реальних умовах. Інноваційні робототехнічні системи сприяють не лише безпеці персоналу, а й швидкому відновленню безпеки на територіях, поранених вибухонебезпечними предметами.

Цей прогрес в гуманітарному розмінуванні відіграє важливу роль у відновленні миру та стабільності в постконфліктних регіонах, підкреслюючи необхідність постійного розвитку та інтеграції новітніх технологій у цю критично важливу сферу.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОШУКУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ

3.1 Розроблення комплексної моделі процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Робототехнічний комплекс для виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів представляє собою високотехнологічний агрегат, розроблений із використанням передових інженерних рішень, що дозволяє забезпечити високий рівень безпеки при проведенні демінування на різних типах місцевості.

Основою комплексу є мобільна платформа, яка служить основою для всіх встановлених на ній систем і механізмів. Платформа оснащена розгалуженою системою приводів, включаючи електромотори високої потужності, що живляться від вбудованих акумуляторів з можливістю швидкої заміни. Приводи розроблені таким чином, щоб забезпечити роботу максимальну маневреність і здатність до переміщення як по рівній, так і по нерівній місцевості, долаючи перешкоди та виїжджаючи із ям.

Для забезпечення стабільності платформи, особливу увагу було приділено системі амортизації та балансування. Амортизатори змінної жорсткості забезпечують поглинання вібрацій від нерівностей місцевості, в той час як система активного балансування допомагає підтримувати роботу у стабільному положенні під час руху та виконання операцій.

Конструкція робота включає кілька вузлів, кожен з яких має свої специфічні функції. Робоча рука з механізмом захоплення здатна до точного позиціонування із шістьма ступенями свободи, що дозволяє маніпулювати об'єктами різної форми та розмірів, включаючи вибухонебезпечні предмети. Робоча рука оснащена датчиками тиску та сили, які дозволяють

контролювати силу захоплення, тим самим запобігаючи пошкодженню об'єкта.

Сенсорна система комплексу є дуже різноманітною та багатофункціональною. Вона включає в себе візуальні та інфрачервоні камери, що дозволяють отримувати детальні зображення навколишньої місцевості у різних спектрах, лідари для 3D-картування об'єктів, радары для виявлення металів та інших матеріалів під землею, а також датчики для хімічного аналізу атмосфери, які можуть виявляти наявність вибухових газів або парів.

Для обробки великої кількості інформації від сенсорів робот оснащений багатоядерним процесором з високою частотою обробки даних. Програмне забезпечення комплексу включає алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, які здатні самостійно аналізувати отримані дані та визначати потенційну небезпеку.

Система зв'язку робота підтримує бездротові протоколи з високим ступенем захисту від перехоплення та збоїв, що забезпечує надійний зв'язок з оператором навіть у складних умовах.

Після всебічного огляду технологій, доступних на ринку, та вивчення вже існуючих робототехнічних систем, була складена комплексна оптимальна конфігурація, що об'єднує найбільш передові та ефективні сенсорні та комунікаційні рішення для виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів. Серед вирішальних компонентів, які були інтегровані в кінцевий дизайн, знайшли місце обертові камери, що надають розширений візуальний огляд навколишнього середовища, та радіолокатори, які забезпечують здатність проникати крізь перешкоди та виявляти об'єкти, які не видно неозброєним оком. Інфрачервоні тепловізійні камери відіграють ключову роль у виявленні теплових відмінностей, що можуть сигналізувати про наявність електронних пристроїв або інших джерел тепла, типових для вибухових механізмів. Датчики, що виявляють хімічні речовини, надають можливість відстежувати присутність певних сполук, що зазвичай

використовуються у виготовленні вибухівки, в той час як центральний блок обробки даних об'єднує та аналізує інформацію з усіх сенсорів, пропонуючи оператору чітке уявлення про потенційні загрози. Доповнює систему модуль аналізу атмосфери, який розглядає газовий склад та інші енвайронментальні параметри, забезпечуючи додатковий рівень діагностики, тоді як надійні антени зв'язку гарантують стабільне з'єднання між роботом та його оператором, асигнування команд та передачу критичних даних в реальному часі.

Кожен з цих елементів є частинами системи робота, надаючи йому функціональності для детекції, ідентифікації та нейтралізації потенційно небезпечних вибухових пристроїв.

Розробка серійного гусеничного робота для гуманітарного розмінування, відомого за патентом RO 132301 B1/2021, є значним досягненням у сфері військових та гуманітарних технологій (рис. 3.1). Цей робот є втіленням інноваційного підходу до проблеми гуманітарного розмінування, викликаній конфліктами та воєнними діями.

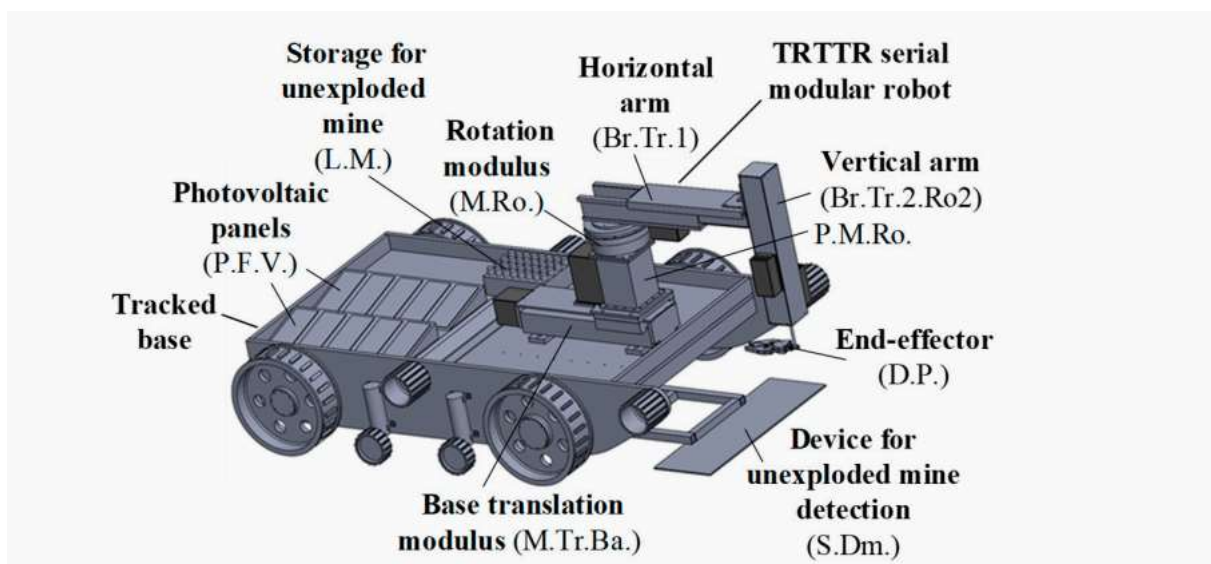


Рисунок 3.1 – Гусеничний мобільний робот - САД-модель

Робот був розроблений, враховуючи критерії, які повинні виконувати такі роботи для розмінування [25], зокрема, щоб усунути деякі недоліки,

виявлені в попередніх роботах, такі як:

- робот повинен автономно виконувати повний спектр дій, необхідних для процесу очищення поля: обстеження, сканування поля, маркування коридорів, зроблених у мінних полях, та знищення мін у різних погодних умовах та на різних поверхнях [25];

- робот повинен бути збудований за низьким бюджетом, мати зменшені загальні розміри, підвищену скануючу здатність та швидкість розмінування щонайменше 1,5 м/с на місцевості з невеликими нерівностями, щоб його можна було використовувати в гуманітарному розмінуванні;

- робот повинен позначати коридори на мінних полях протягом усієї місії розмінування;

- він повинен мати міцну конструкцію, щоб забезпечити гарну стійкість до вибухів та легкість у ремонті або заміні несправних частин. Для захисту відкритих механічних частин конструкції горизонтальної та вертикальної руки серійного робота передбачені гнучкі негорючі покриття;

- робот має працювати на сонячній енергії за допомогою енергозберігаючих фотоелектричних елементів, щоб забезпечити безперервну роботу при нормальних параметрах робота як вдень, так і вночі. Вибір приводних моторів із мінімальним споживанням енергії та зменшеними масами та розмірами;

- для безпеки людських операторів або спеціалістів з утилізації вибухових пристроїв він повинен керуватися дистанційно (бездротово).

У випадку гуманітарних операцій важливу роль у оптимізації процесу виявлення мін та розмінування відіграє модульна структура розробленого робота. Таким чином, введення модулів перекладу в конструкцію представленого робота дозволяє отримати великий робочий простір, зменшені вібрації під час процедури розмінування (наприклад, під час обробки нерозірваних мін), гнучкість у рухах та, відповідно, підвищену продуктивність операцій з розмінування [1].

Основною особливістю цього робота є його модульна конструкція. Це

означає, що робот може бути швидко адаптований для виконання різноманітних завдань, від розмінування до пошуку та порятунку. Така гнучкість важлива в ситуаціях, де швидка реакція та універсальність обладнання можуть врятувати життя.

Екологічність цього робота забезпечується за допомогою електричних двигунів та сонячних панелей. Використання відновлюваних джерел енергії знижує екологічний вплив та дозволяє роботу працювати у віддалених або важкодоступних районах без необхідності частого поповнення палива.

Особливу увагу в розробці було приділено безпеці. Завдяки системі дистанційного керування оператор може управляти роботом, перебуваючи на безпечній відстані. Це мінімізує ризик для людей під час виконання небезпечних завдань, як-от розмінування.

Для моделювання динаміки робота були використані рівняння Лагранжа, що дозволило точно розрахувати кінетичну енергію кожного модуля та отримати диференціальні рівняння руху. Це надає важливу інформацію про поведінку робота в реальних умовах, забезпечуючи його надійність та ефективність.

Для вибору приводних моторів було використано динамічно-органологічний підхід, який базується на розрахунках необхідних моментів сил. Це дозволило оптимізувати споживання енергії та вибрати двигуни відповідної потужності без надмірного збільшення розмірів або ваги робота.

Для динамічного моделювання робота використовувалася формалізація Лагранжа [30–34]. Цей динамічний підхід дозволяє визначити рівняння кінетичної енергії, що відповідають серійним модулям, а також диференціальні рівняння руху. З іншого боку, метод Лагранжа дозволяє отримати загальну кінетичну енергію всього робота, що тісно пов'язана з динаміко-органологічним підходом для отримання привідних моментів кожного модуля i , відповідно, для вибору привідних двигунів з мінімальним споживанням енергії, що детально представлено в наступному розділі.

Модулі в структурі робота мають один ступінь свободи, відповідно,

2 ступені свободи (вертикальна рука), і обертальний або поступальний рух уздовж певної осі виконується за допомогою незалежно керованого актуатора [35,36].

На рис. 3. 2 представлена кінематична схема модульного гусеничного робота

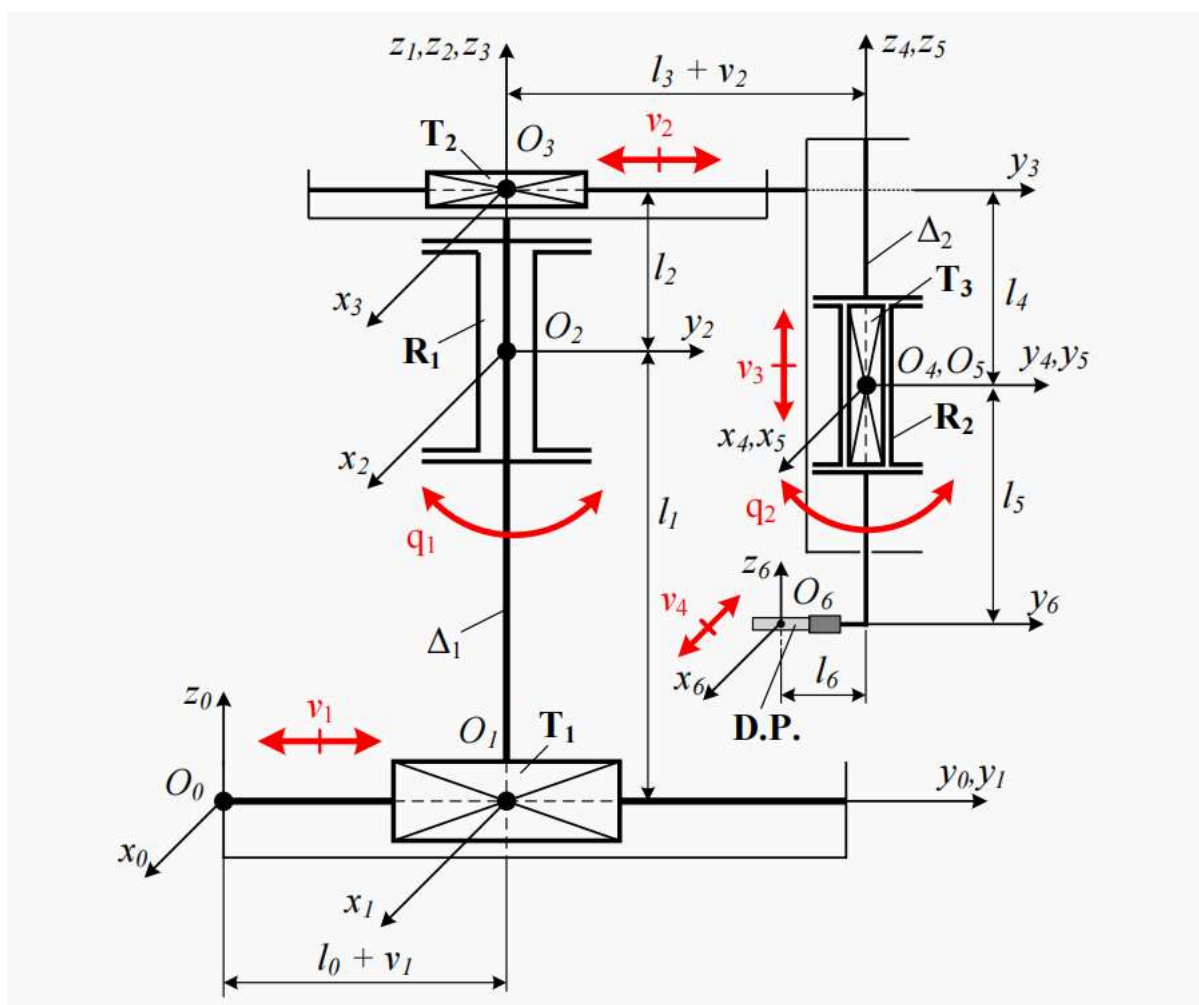


Рисунок 3.2 – Кінематична схема модульного серійного гусеничного робота

Валідація прямої кінематичної моделі. Спочатку розробляється допоміжна модель робота з використанням схеми моделювання, що базується на "фізичному" взаємозв'язку робота за допомогою схеми моделювання, заснованої на "фізичному" взаємозв'язку складових елементів робота.

Оскільки робот-фізична модель виконана в спеціалізованій програмі (Matlab/Simulink/Simscape) відповідно до конфігурації робота, можна вважати, що вважається, що отриманий результат (X_0^*) може бути оцінений як істинне значення переміщення кінцевого переміщення кінцевого ефектора.

Схема валідації прямої кінематичної моделі детально показана на рисунку 3.3.

Обидві моделі (пряма кінематична та фізична) отримують на вході переміщення шарнірів і видають переміщення та орієнтацію кінцевого ефекту (X_0, X_0^*) в робочому просторі на виході на виході отримують переміщення та орієнтацію кінцевого ефекту (X_0, X_0^*) в робочому просторі. Порівняння результатів дозволяє оцінити і підтвердити модель, що тестується (модель ДК).

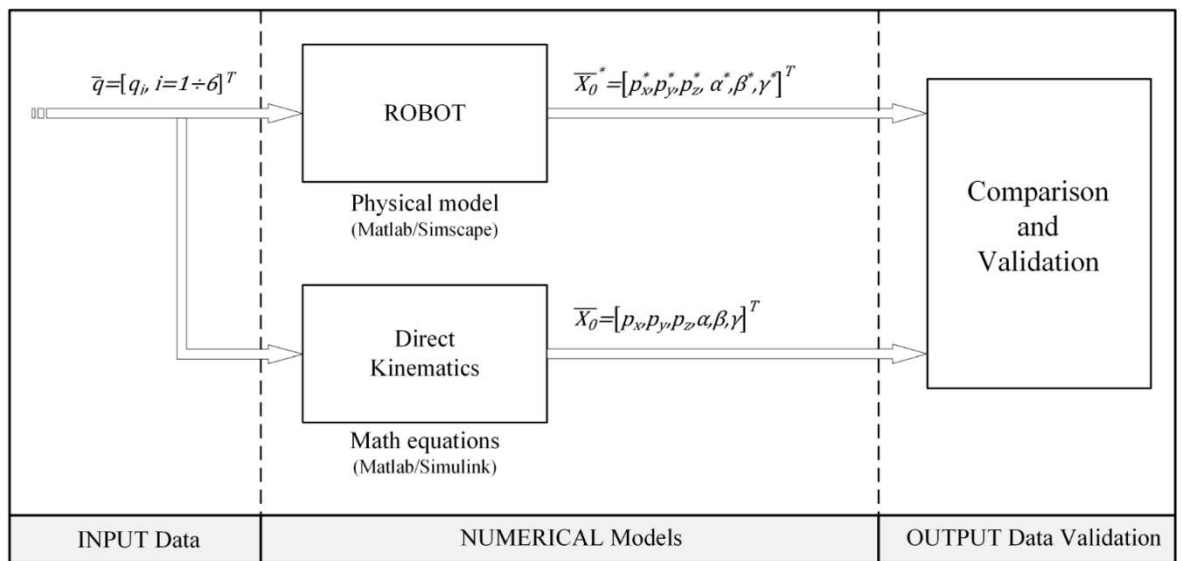


Рисунок 3.3 – Пряма кінематична перевірка моделі

На наступному етапі динамічна модель робота (описана рівняннями Лагранжа) наведена на рис. 3.4. Моменти спрацьовування (τ) прикладаються до з'єднань робота (як входні дані моделі), протестовано, рис. 3.4.

Моменти спрацьовування прикладені до з'єднань робота (як входні дані моделі), рис. 3. 4 протестована модель, рис.3.4. Моменти спрацьовування

прикладаються до з'єднань робота (як вхідні дані моделі) відповідно, динамічна модель задає переміщення суглобів (q) згідно з роботом (рис. 3.4) відповідно, динамічна модель надає переміщення суглобів згідно з відповідно, динамічна модель надає переміщення суглобів відповідно до динаміці. Потім отримані переміщення (q) застосовуються до прямої кінематичної моделі (перевірена на КРОЦІ 1), яка дає переміщення кінцевого ефекту

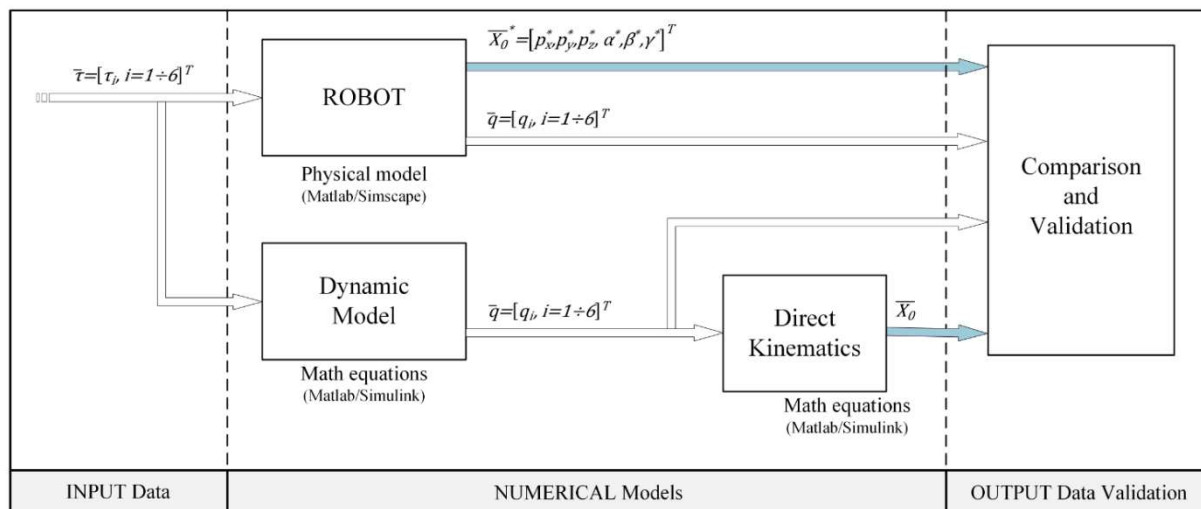


Рисунок 3.4 – Динамічна перевірка моделі

Для спрощення числових симуляцій, моделі, запропоновані для методу валідації, супроводжуються такими спрощеннями: вибір початку локальних координатних систем здійснюється в центрі мас елементів робота, а внесок центробіжних моментів інерції ігнорується. Ці припущення не змінюють динамічних рівнянь робота.

Для реалізації методу валідації використовувалось програмне забезпечення Matlab/Simulink, на базі якого були розроблені та реалізовані наступні моделі:

- фізична модель робота: фізичне моделювання компонентів робота з використанням елементів із бібліотек Matlab/Simulink/Simscape/MultiBody;
- модель прямої кінематики: математичні рівняння відповідно до [27];

– динамічна модель – рівняння Лагранжа: реалізація в Simulink рівнянь Лагранжа.

Запропонований робот був спроектований для виконання операцій гуманітарного розмінування, зокрема для знешкодження нерозірваних боєприпасів та саморобних вибухових пристроїв. Для виконання таких завдань необхідно було збудувати механічну структуру робота, головним чином, з модулів перекладу, що забезпечує точне та плавне вилучення вибухівки, закріпленої в землі, знижуючи вібрації всієї конструкції під час роботи та уникаючи випадкового спрацювання вибухового заряду. У цьому контексті представлений динаміко-органологічний підхід дозволяє розрахувати необхідні моменти сил двигунів та вибрати реальні двигуни для модулів перекладу. Цей підхід стосується лише модулів перекладу, оскільки розраховані крутні моменти двигунів повинні забезпечувати необхідну потужність для функціонування модулів для досягнення поставленої задачі, тим самим уникаючи надмірного розміру двигунів з точки зору енергії та розмірів.

Вибір характеристик двигунів (табл. 3.2) був зроблений з урахуванням вимоги зменшених габаритів та мінімального споживання енергії, що встановлені критеріями дизайну.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики приводних двигунів, отримані теоретичним розрахунком [25]

Module Type	Frictional Force F_f	Dwell Angle φ	Power Driving Motor and Angular Speed Ratio P_m/n_m	Theoretical Driving Moment $M_{m_theoretical}$
	[N]	[°]	[kW·min/rot]	[N·m]
MTB SIL	33.367	4.852	$1.65421 \cdot 10^{-3}$	1.93
MTV SIL	16.226	4.852	$0.1253 \cdot 10^{-3}$	0.10
MT SIL	7.626	4.852	$0.02385 \cdot 10^{-3}$	0.35

Таблиця 3.2 – Параметри обраних двигунів та тип серводвигунів [25]

Module Type	Selected Driving Motor Moment $M_{m_selected}$ [N·m]	Servo-Motor Type	Rotation Speed n_m [rpm]	Driving Power P [kW]	Mass m [kg]
MTB SIL	2.15	QBL17E40-01D-05RO	5000	1.2	3.3
MTV SIL	0.18	QBL4208-81-04-019	4000	0.07	1.5
MT SIL	0.56	QBL4208-81-04-019	4000	0.08	1.8

Для теоретичних обчислень були взяті до уваги такі конструктивні та функціональні параметри серійного гусеничного робота [40]:

- маса першого модуля m_1 – 41 кг;
 - маса другого модуля m_2 – 44,75 кг;
 - маса третього модуля m_3 – 43 кг;
 - маса четвертого модуля m_4 – 30,41 кг;
 - маса п'ятого модуля m_5 – 7,72 кг;
 - довжина третього з'єднання l_3 – 0,04 м;
 - маса об'єкту – 3 кг;
 - крок гвинта p_h – 0,008 м;
 - діаметр основи d_0 – 0,03 м;
 - коефіцієнт кочення k – 0,00001 м;
 - діаметр кульки d_b – 0,0055 м;
 - кут θ – 45°;
 - коефіцієнт корисної дії η_r – 0,995;
 - кут повороту першого модуля q_1 – $\pi/4$ рад;
 - швидкість другого з'єднання v_2 – 0,25 м;
 - прискорення другого з'єднання \ddot{v}_2 – 1,5 м/с²;
 - кутова швидкість першого модуля \dot{q}_1 – 0,75 рад/с;
 - кутове прискорення першого модуля \ddot{q}_1 – 0,25 рад/ м/с²;
 - швидкість першого з'єднання v_1 – 0,30 м/с;
 - прискорення першого з'єднання \ddot{v}_1 – 1 м/с²;
 - швидкість другого з'єднання v_2 – 0,4 м/с; сила P_4 - 421,47 Н;
- сила P_5 – 438,5 Н.

Зазначено, що масові значення модулів робота включають масу кінцевого ефектора.

Також, розробка робототехнічного комплексу з включеним металошукачем відкриває нові можливості для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів. Металошукач, як важлива складова системи, використовує змінні електромагнітні поля для локалізації металевих об'єктів. Сучасний металошукач можна удосконалити, інтегрувавши більш чутливі датчики та розширений алгоритмічний блок для розрізнення металів за типами, вимірювання глибини та оцінки розмірів об'єкта.

Вдосконалення може також стосуватися фізичного дизайну металошукача, додавання модульності для легкої адаптації до різних типів місцевості та умов роботи. Наприклад, змінні пошукові головки можуть бути корисними для різних сценаріїв: від плоских поверхонь до складних теренів. Подальші удосконалення можуть включати розвиток власних алгоритмів для оптимізації швидкості пошуку та точності ідентифікації об'єктів.

Що стосується системи обробки даних, то застосування передових технологій обробки сигналів та машинного навчання дозволить системі не лише знаходити металеві предмети, але й класифікувати їх згідно із властивостями, що є особливо важливим для розрізнення небезпечних предметів від нешкідливих металевих відходів. Розвиток інтегрованого програмного забезпечення дозволить операторам робототехнічної системи отримати детальний аналіз оточення, відтак забезпечивши більш ефективну реакцію на потенційні загрози.

Металошукач встановлений на передній частині робота, як показано на рисунку 3.1.

На рис. 3.5 є наступні елементи : 1 – металошукач, 2 – кріплення робота , 3 – вузол опори, 4 – елемент для регулювання висоти, 5 – підпулятор, 6 – вибухонебезпечний предмет , 7 – металева частина, що показана на рисунку , 8 – передавальне поле, 9 – приймальне поле.

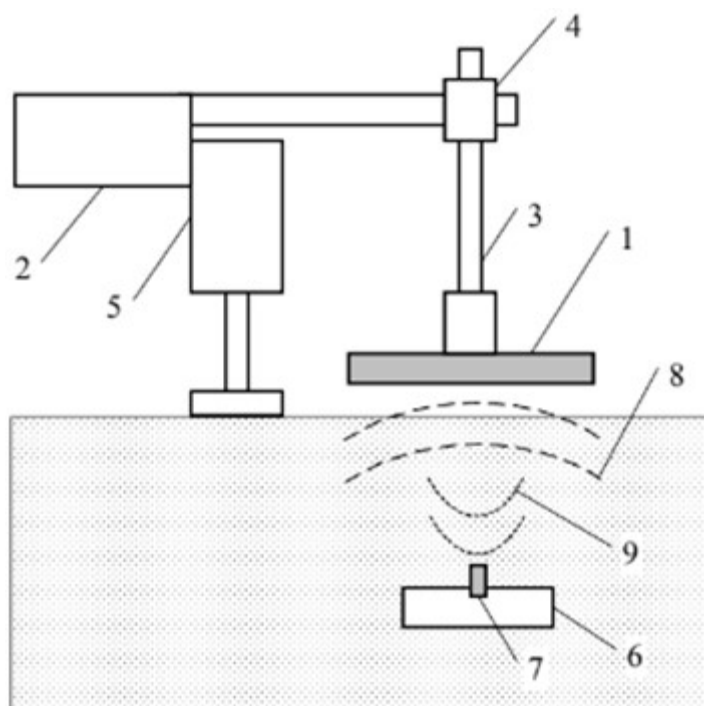


Рисунок 3.5 – Розташування металодетектора на маніпуляторі РТК

Металодетектор функціонує на основі принципу генерування електромагнітного поля через котушку, яка живиться електричним струмом. Ефективність цього процесу досягається шляхом швидкої зміни напрямку струму, зазвичай більше ніж 1000 разів на секунду, що дозволяє створювати потужне електромагнітне поле. Частота, на якій працює металодетектор, визначає, як часто за секунду відбувається ця зміна струму.

Щодо системи бездротового зв'язку, для цього проекту було обрано протокол ExpressLRS, який відомий своєю надійністю та високою продуктивністю. Використовувані S900TX та ES900RX модулі представляють собою передове обладнання для далекого радіозв'язку на частотах 915MHz/868MHz, розроблене на базі відкритого програмного забезпечення LRS. Ці модулі забезпечують широкий діапазон покриття, стабільність передачі сигналу та мінімальну затримку, що робить їх ідеальними для застосування в робототехнічних системах. Модуль ES900TX, який останнім часом був оновлений моделлю з 2006 Fan, забезпечує автоматичне функціонування при потужності в 250 мВт, що додатково підвищує його ефективність та надійність у використанні (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Пульти керування Jumper T12

Після аналізу сучасних технологічних можливостей було розроблено вдосконалений алгоритм для ефективного пошуку вибухонебезпечних предметів (ВПН) за допомогою робототехнічної системи. Цей алгоритм базується на комплексній інтеграції різних сенсорів і передових методик обробки даних, описаних на графі в рисунку 3.8.

Давайте розглянемо рієнтовний граф:

S1: Старт – роботична система ініціалізується.

S2: Інтеграція сенсорів – металошукач, магнітометр, радар проникаючий у землю (GPR) і спектроскопія працюють разом.

S3: Просторове усвідомлення – алгоритми SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) створюють динамічну карту.

S4: Адаптивна локомоція – робот коригує свій рух залежно від рельєфу за допомогою артикульованих кінцівок чи спеціалізованих коліс.

S5: Комунікація в реальному часі – модуль для передачі даних, що з'єднує робота з дистанційними операторами людьми.

S6: Виявлення об'єктів – металеві об'єкти ініціюють процес аналізу.

S7: Прийняття рішень – розширені алгоритми оцінюють ймовірність об'єкту, терміновість і потенційний рівень загрози.

S8: Реакція – система вживає відповідні заходи, такі як маркування для

подальшого розслідування або ініціювання контрольованого знешкодження.

S9: Динамічна адаптація – алгоритми машинного навчання коригують стратегії сканування на основі змінних умов та умов довкілля.

S10: Петля – система ітеративно просувається, повторюючи весь процес, доки вся територія не буде систематично охоплена, це наведено на рис. 3.7- 3.8.

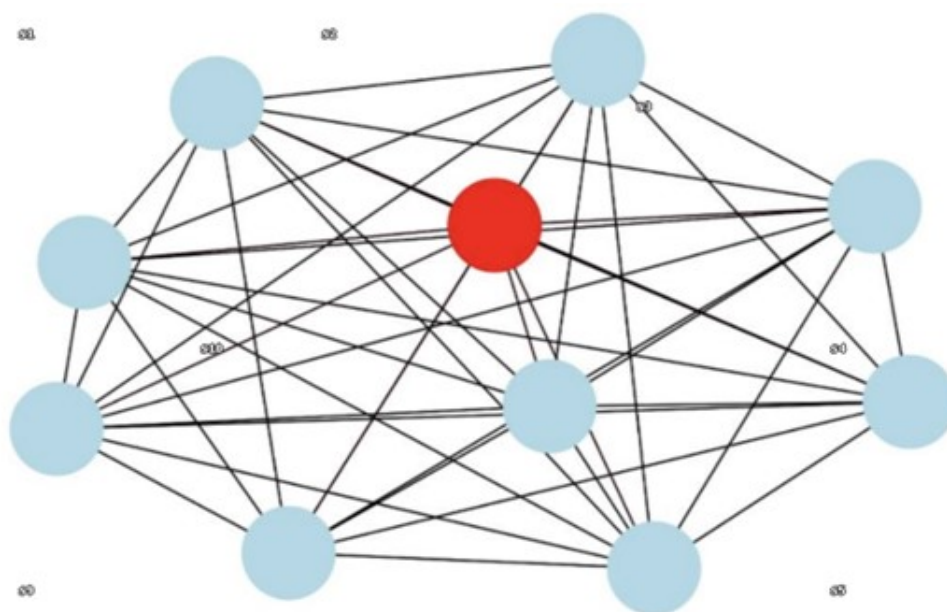


Рисунок 3.7 – Граф алгоритму прийняття рішень з пошуку та ідентифікації

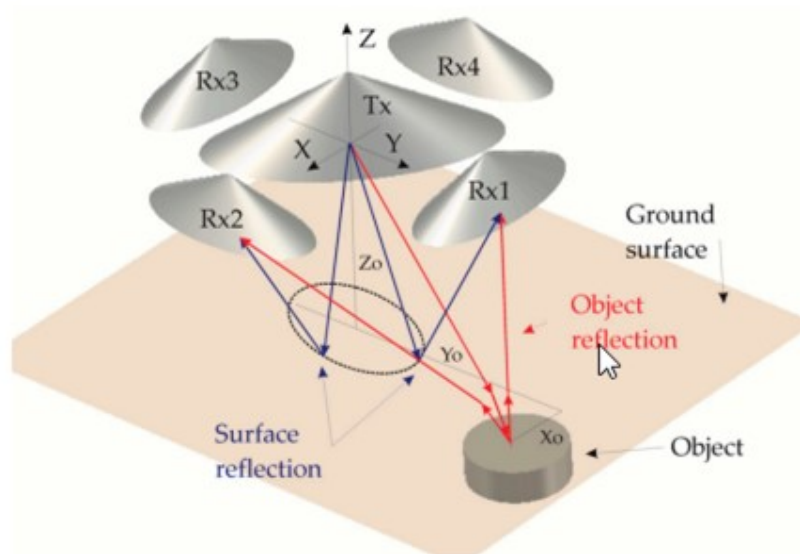


Рисунок 3.8– Модель передачі сигналу за допомогою 4 бокових антен та 1 центральної антени

На рисунку 3.8 можна побачити результат дії центральної антени, що виконує дію випромінювача електромагнітних полів, а 4 бокові антени позначені на рисунку як Rx1-Rx4 виконують ролі приймачів відбитого сигналу [27]. Для реалізації проекту потрібно враховувати фактор передачі сигналу. Для цього треба підібрати комплексну систему з антен.

Чотири приймаючі антени (4Rx) отримують електромагнітні хвилі, що надходять на них поверхні землі (показано на малюнку 1), і відбиття від надводного об'єкта (показано на рисунку 3.12).

Як комбінації прямих хвиль зв'язку, відбиття від інших антен).

Поверхня землі (показана на рисунку 3. 13) і відбиття від субповерхневого об'єкта (показані роздуми для Rx1 і Rx2 приховані).

Один перспективний підхід до цього використовує UWB (НШС) GPR [7], який випромінює ультракороткі електричні імпульси для забезпечення високої просторової роздільної здатності досліджуваної області [8]. Існує широкий спектр застосувань для цієї технології, таких як виявлення людей, включаючи людей, прихованих за непрозорими перешкодами [9], аналіз ґрунту для будівництва метро [10] та гуманітарні заходи з розмінування, згадані вище [11]. Монтаж систем GPR на роботизованих платформах [2,12] і на безпілотниках [13] забезпечує додаткову безпеку.

Однією з важливих проблем будь-якого пристрою, що працює на замінованій території, є хибнопозитивний коефіцієнт розпізнавання мін. Це впливає з наявності інших видів похованих об'єктів в околицях, крім шахт.

Успішне впровадження техніки GPR вимагає спеціальної обробки сигналів методів. Серед них вейвлет-перетворення [14], напіваналітичний режим, що відповідає альго-ритму [15], узагальнене перетворення Хафа [16] та метод кореляції [17,18]. Як показано на практиці, голографічні радары є найбільш надійними пристроями для подолання помилкових спрацьовувань при виявленні мін. Вони використовуються для ідентифікації мін різних класів за допомогою обробки сигналів [19,20].

Представлено підхід штучного інтелекту до проблеми, зокрема, з

використанням нейронних мереж [21]. Вони використовуються для різних застосувань [22-24], а їх швидкість та ефективність можуть бути збільшені за допомогою нейропроцесорів [25].

Запропоновано ефективне використання штучних нейронних мереж для автоматичної ідентифікації дефектів даного типу [26]. Щоб зменшити інформаційне навантаження на мережу і прискорити процес навчання, важливо попередньо обробити зображення, отримані в ході експерименту. Оператор виявлення кромки Canny хороший для цієї мети. Це дає можливість виділити тріщини і дефекти на всьому зображенні і перетворює зображення до бінарного формату, що значно полегшує подальшу роботу штучної нейронної мережі. Такий підхід добре проявив себе при обробці фотографій в різній якості освітлення, що характеризує його стабільну роботу в реальних умовах.

Для завдань візуальної оцінки стану інфраструктурних об'єктів запропоновано також цікавий та ефективний підхід [27], який включає використання штучного інтелекту. Його особливістю є пропозиція використовувати широку систему навчання на основі функцій синтезу. Це дозволило прискорити процес навчання порівняно зі звичайними глибокими нейронними мережами. Важливо також відзначити можливість масштабування такої системи, адже також спрощено процес додаткового навчання.

Для задачі прогнозування несправностей на газопроводах добре продемонстрували корисні особливості нейронної мережі зворотного поширення та опорних векторних машин. В результаті в 850 випадках вдалося ефективно проаналізувати можливі поломки і знайти ключові причини, що призвели до несправностей [28].

Нейронні мережі вимагають тренувального процесу перед їх використанням. Це може бути забезпечено за допомогою навчального набору даних, який може бути досить важко отримати через обмежений доступ до інформації, високу вартість отримання даних або складність комп'ютерних

обчислень. У нашому випадку навчальний набір даних може бути зібраний з відбитих імпульсних сигналів [29]. Чим складнішим є досліджуваний об'єкт, тим більше навчальних даних нам потрібно для ідентифікації [30]. На щастя, багато досліджень показали стабільність ANN у роботі з шумними сигналами [31-34].

Застосування звитків нейронних мереж [35] може підвищити ефективність системи в порівнянні з єдиною реалізацією мережі. Колективне голосування за найкращу відповідь вже довело, що є обґрунтованим підходом до проблем класифікації гіперспектральних зображень [36], сумісної роздільної здатності [37], комп'ютерного зору та НЛП [38] та охорони здоров'я [39]. Отже, варто розгорнути цю ідею для вирішення проблеми виявлення мін.

Мета цієї роботи – продемонструвати переваги застосування ANN для аналізу сигналів GPR для виявлення та позиціонування мін. Далі йде опис конструкції антенної системи 1Tx + 4Rx, особливий спосіб організації сигналів для аналізу з ANN і моделі об'єктів, обраних для дослідження. Розглянуто вплив адитивного шуму в отриманих сигналах на якість класифікації об'єкта.

Комплексна модель пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів включає інтеграцію передових сенсорів, алгоритмів обробки даних та штучного інтелекту. Вона охоплює етапи виявлення, аналізу та класифікації об'єктів, дозволяючи точно та ефективно реагувати на потенційні загрози безпеки.

У роботі [35] було застосовано підхід до експериментальних даних, отриманих з реального радіолокаційного пристрою (GPR). Антенна система 1Tx + 4Rx була встановлена на роботизованій платформі, при цьому розміри передавальної антени збільшено в 1,5 рази для підвищення потужності випромінюваного сигналу. GPR працює в діапазоні частот 0.8-1.6 ГГц з центральною частотою 1.2 ГГц. Висота антенної системи над поверхнею землі становила 32 см.

Об'єкти були закопані в землю на глибину близько 3 см. Час зразкування становив 10 пс, загальна кількість зразків в А-скані – 512, що відповідає загальному часовому вікву 5.11 нс.

Довжина тестового шляху становила 2.6 м, включаючи 513 А-сканів, розміщених з інтервалом приблизно 0.50 см. відстань між об'єктами складала 60 см.

У роботі [41] єдена математична модель пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації (НРЛ).

Дана математична модель, на відміну від існуючих, враховує імовірнісний характер процесу пошуку та площині показники зони гарантованого виявлення ВВП методом НРЛ, функціональні показники розповсюдження електромагнітних хвиль у вільному просторі та укриваючому середовищі. Запропонована математична модель, серед інших технічних характеристик, дозволяє встановити параметри експлуатаційної продуктивності РТК пошуку та виявлення ВВП з методом НРЛ.

Математична модель виявлення ВВП даним методом наведена на рис. 3.9.

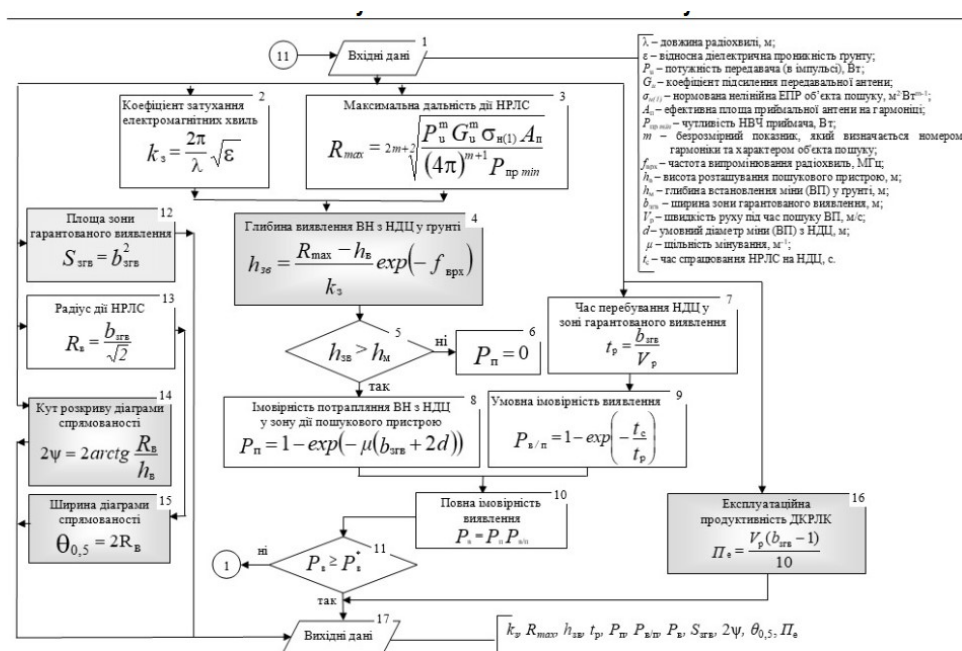


Рисунок 3.9 – Математична модель виявлення ВВП

Формули , які описують дану модель наведені нижче.

$$R_{max} = 2m + 2 \sqrt{\frac{P_u^m G_u^m \sigma_{H(1)} A_n}{(4\pi)^{m+1} P_{nprmin}}}$$

Послідовність проведення розрахунків наступна:

На початковому етапі (блок 1) здійснюється збір вхідних даних до яких відноситься:

λ – довжина радіохвилі, м;

ε – відносна діелектрична проникність ґрунту;

P_U – потужність передавача (в імпульсі), Вт;

G_u – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$-\sigma_{H(1)}$ – нормована нелінійна ЕПР об'єкта пошуку, $m^2 \text{Вт}^{m-1}$;

A_{Π} – ефективна площа приймальної антени на гармоніці;

P_{nprmin} – чутливість НВЧ приймача;

m – безрозмірний показник, який визначається номером гармоніки та характером об'єкта пошуку.

Результати дозволяють провести розрахунок глибини виявлення ВВП з НДЦ під землею.

$$h_{зв} = \frac{R_{max} - h_{в}}{k_3} \exp(-f_{врх})$$

де R_{max} – максимальна дальність дії пошукового пристрою на базі одночастотної НРЛС, м;

$f_{врх}$ – частота випромінювання радіохвиль, МГц;

$h_{в}$ – висота розташування пошукового пристрою,

У блоці 2 визначають коефіцієнт затухання електромагнітних хвиль [4-7] з урахуванням характеристик середовища, у якому здійснюється пошук ВП з НДЦ, с.

$$k_3 = \frac{2\pi}{\gamma} \sqrt{\varepsilon}$$

де γ – довжина радіохвилі, м; ε – відносна діелектрична проникність ґрунту.

Одночасно, у блоці 3, виконується розрахунок максимальної дальності дії пошукового пристрою на базі одночастотної НРЛС [4-7]

$$R_{max} = 2m + 2 \sqrt{\frac{P_u^m G_u^m \sigma_{H(1)A_n}}{(4\pi)^{m+1} P_{nmin}}}$$

де P_u – потужність передавача (в імпульсі), Вт;

G_u – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$\sigma_{H(1)}$ – нормована нелійна ЕПР об'єкта пошуку, $m^2 \text{Вт}^{m-1}$;

A_n – ефективна площа приймальної антени на гармоніці;

P_{nmin} – чутливість НВЧ приймача, Вт;

m - номер гармоніки частоти приймання радіохвиль.

Отриманні результати дозволяють провести розрахунок глибини виявлення ВП з НДЦ в укриваючих середовищах (блок 4)

$$h_{зв} = \exp(-f_{врх})$$

де R_{max} – максимальна дальність дії пошукового пристрою на базі одночасної пошукового пристрою на базі одначастотної НРЛС, м;

$f_{врх}$ – частота випромінювання радіохвиль, МГц;

h_0 – висота розташування пошукового пристрою, м;

k_3 – коефіцієнт затухання електромагнітних хвиль

На наступному кроці (блок 5) здійснюється порівняння умов розміщення

$$h_{зв} > h_m$$

де h_m – глибина встановлення міни у ґрунті, м.

Якщо нерівність не виконується, і глибина встановлення міни (ВП) з НДЦ більше глибини виявлення міни (ВП), то імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ в укриваючому середовищі міни (ВП) з НДЦ у зоні дії пошукового пристрою (крок 6) дорівнює

$$P_{\Pi} = 0$$

де P_{Π} – імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ у зону дії пошукової пристрою.

При виконанні умови $h_{зв} > h_m$ розрахунки переходять до виконання виконання блоку 8.

У блоці 7 здійснюється розрахунок часу перебування НДЦ міни (ВП) у зоні виявлення згідно із залежністю

$$\square_{\Pi\Pi} = \frac{\square_{згв}}{\square_p}$$

де $\square_{згв}$ – ширина зони гарантовим виявленням, м;

\square_{Π} – швидкість руху під час пошуку ВП, м/с.

Ймовірність потрапляння P_{Π} ВП з НДЦ в зону дії НРЛС визначається у блоці 8 за експоненційний законом розподілу [12, 13]

$$P_{В/\Pi} = 1 - \square_{\Pi\Pi} \left(-\frac{\square_c}{\square_p} \right)$$

де \square_c – час спрацювання НРЛС на НДЦ, с;

\square_{Π} – час перебування НДЦ міни (ВП) у зоні гарантованого виявлення, с;

Результати розрахунів блоків 8 та 9 застосовуються для визначення повної ймовірності виявлення міни (ВП) з НДЦ [12, 13] у блоці 10.

$$P_B = P_{\Pi} P_{B/\Pi}$$

де P_{Π} – ймовірно потрапляння міни (ВП) з НДЦ у зону дії пошукового пристрою;

$$P_{B/\Pi} = P_{\Pi} P_{B/\square}$$

де P_{Π} – ймовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ у зоні дії пошукового пристрою;

$P_{B/\Pi}$ – умовна ймовірність виявлення міни (ВП) з НДЦ за умови її потрапляння в зону дії НРЛС. У блоці 11 здійснюється перевірка згідно з узгодженням прийнятим правилом прийняття рішення за придатністю

$$\square_B \geq P_B^*$$

де P_B^* – мінімально необхідний рівень (в роботі згідно [14] прийнято $P_B^* > 0,996$).

При виконанні умови $\square_B \geq P_B^*$ результати переходять до вихідні даних.

Якщо умова $P_B \geq P_B^*$ не виконується, розрахунки повертаються, розрахунки повертаються до блоку 1.

Блоки 12-15 є розрахунковими для визначення функціональних показників розповсюдження електромагнітного поля та визначення параметрів зони гарантованого виявлення мін (ВП) з НДЦ.

У блоці 12 визначається площа зони гарантованого виявлення міни (ВП) з НДЦ в залежності від встановленої ширини зони гарантованого виявленнями

$$\square_{згв} = \square_{згв}^2$$

де $\square_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м.

Радіус зони дії НРЛС розраховуються у блоці 13

$$2\alpha = 2\alpha_0 \frac{r_B}{h_B}$$

де r_B – радіус зони дії НРЛС, м;

h_B – висота розташування пошукового пристрою, м.

Ширина діаграми спрямованості антенної системи пошукового пристрою розраховують у блоці 15

$$\alpha_{0,5} = 2\alpha_B$$

де r_B – радіус зони дії НРЛС, м; У блоці 16 визначають експлуатаційну продуктивність ДКРЛК пошуку та виявлення ДП з НДЦ методом НРЛ за формулою

$$P_c = \frac{r_p(r_{згв} - 1)}{10}$$

де r_p – швидкість руху під час пошуку ВП, км/год;

$r_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м.

Формування вихідних даних, до значень яких обґрунтовуються вимоги, дійснюється у блоці 17.

А саме: r_{max} – максимальна дальність дії пошукового пристрою одночастотної нелінійної радіолокації, м; $h_{зв}$ – глибина зони виявлення ВП з НДЦ, м; r_p – час перебування НДЦ міни (ВП) у зоні гарантованого виявлення, с; $P_{п}$ – імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ в зону дії пошукового пристрою нелінійної радіолокації; α_B – повна ймовірність виявлення міни (ВП) з НДЦ пошуковим пристроєм нелійної радіолокації, $r_{згв}$ – площа зони гарантованого виявлення виявлення міни (ВП) з НДЦ, м²; 2α – кут розриву діаграми

Перше та дуже важливе завдання, яке виникає в ході очищення від ВВП імовірно небезпечних територій (ІНТ), площею СИНТ – це нетехнічне та технічне обстеження цих територій, що, за результатами отримання непрямих та прямих доказів, дає можливість розподілити (класифікувати) загальну площу на дві категорії – підтверджено небезпечні території (ПНТ) площею СПНТ, забруднені ВВП, та виключені або зменшені території (ВТ та ЗТ, відповідно) площею SB(З)Т, на яких гарантовано відсутні ВВП ()

З огляду на це запропонована функціональна модель, яка уявляє собою керуючий алгоритм, що описує процеси очищення території України, які знаходилися в зоні безпосередніх бойових дій, піддавались артилерійським, мінометним, ракетним та іншим обстрілам або можуть бути заміновані, чи мати ВВП, які не вибухнули з тієї чи іншої причини та підлягають очищенню (розмінуванню) від ВВП. Другим завданням для вирішення проблеми забезпечення безпеки життєдіяльності на територіях, забруднених ВВП – є проведення очищення (розмінування) місцевості від ВВП. Для виконання цих завдань у визначені (або задані) терміни необхідно визначити кількість персоналу, а також техніки для оснащення підрозділів, які проводитимуть обстеження та очищення (розмінування) забруднених територій. Всі процеси у запропонованій функціональній моделі, заплановані у вигляді багатоетапної операції, є динамічними та взаємопов'язаними, що дозволяє оперативно реагувати на зміни ситуації. Модель дозволяє враховувати можливість втручання керівником робіт, виконавцями робіт, наприклад, людиною-оператором РКСП, на будь-якому з етапів операції з очищення (розмінування) територій з урахуванням усіх майбутніх наслідків втручання для наступних етапів, а результат, що досягається при реалізації плану операції з гуманітарного розмінування, якість реалізації якої повинна бути максимально можливою. За результатами проведених досліджень та відповідних розрахунків було запропоновано математичну модель щодо очищення від вибухонебезпечних предметів територій бойових дій та забезпечення безпеки життєдіяльності населення на них, яка дозволяє

оцінити термін вирішення цієї проблеми та загальну кількість особового складу і необхідну загальну кількість технічного оснащення для виконання поставлених (визначених) завдань.

Керування рухом робота та виявленням мін здійснюється за допомогою роботизованої системи розподіленого керування. Ця система забезпечує дистанційне керування з безпечної відстані в автоматичному режимі або оператором.

Параметри мінного поля визначають навігаційний алгоритм сканування поверхні та налаштування блоку мінного датчика на конкретний тип ґрунту. Внутрішні датчики робота дозволяють реалізовувати управління транспортом і технікою зі зворотним зв'язком.

Розробку робота-розмінувальника слід починати з дослідження характеристик мін і параметрів мінного поля. Характеристики міни визначають тип сенсорного блоку міни та деякі параметри керування роботом, наприклад швидкість пошуку та крок сканування (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Схема роботизованої системи розмінування

Архітектура роботизованої системи розподіленого керування показано на рис. 3.11.



Рисунок 3.11– Структура розподіленої керуючої роботизованої системи

Об'єкти управління – робот та манипулятор для пошуку ВВП. Система приводу манипулятора розмінування призначена для вилучення, ізоляції або маркування мін. Центральний комп'ютер виконує основні алгоритми навігації та мінопошук, траєкторій руху робота. Бортовий комп'ютер здійснює керування системою приводу транспортного робота та системою приводу манипулятора для розмінування. Він передає всі дані від датчиків на центральний комп'ютер. Управління бортовим комп'ютером здійснюється за допомогою центрального комп'ютера, який знаходиться поза небезпечною зоною. Центральний комп'ютер аналізує інформацію про рух і датчики. Оператор може змінювати режим руху відповідно до ситуації.

Датчик розташування вимірює положення робота відповідно до перешкод та інших зовнішніх об'єктів. Ця інформація служить для гнучкої навігації робота. Для контролю за зміною траєкторій робота використовується електронний компас [26].

Лінійний сенсорний блок дозволяє мати інформацію про величину кроків робота та організувати контур управління зворотним зв'язком для позиціонування елементів приводу робота в заданих точках. Блок виявлення складається з датчиків виявлення, які дають інформацію про різні параметри мін. Програма об'єднання даних для дистанційного виявлення підземних мін дозволяє зменшити кількість помилкових тривог і підвищити надійність і точність операцій з розмінування. Він використовує синергію інформації, що надходить із різних джерел. Об'єднання даних дозволяє формалізувати комбінацію цих вимірювань, а також контролювати якість інформації в процесі об'єднання.

3.2 Модель системи управління маніпулятором робототизованого комплексу

При виборі мікроконтролеру для керування роботом для знешкодження ВНП необхідно враховувати такі фактори:

- вимоги до продуктивності: робота повинна бути здатна виконувати складні алгоритми керування, такі як навігація, розпізнавання об'єктів, знешкодження ВНП;

- вимоги до пам'яті: робота повинна мати достатньо пам'яті для зберігання програмного забезпечення, даних та інших ресурсів.

- вимоги до інтерфейсів: робота повинна мати необхідні інтерфейси для підключення до датчиків, виконавчих механізмів та інших пристроїв.

Серед мікроконтролерів сімейства Ардуіно для керування роботом для знешкодження ВНП можна виділити такі:

Arduino Uno: цей мікроконтролер має достатню продуктивність для виконання основних завдань керування роботом (рис. 3.12). Він має 32 Кбайт оперативної пам'яті та 32 Кбайт флеш-пам'яті. Він має також широкий спектр інтерфейсів, включаючи аналогові вхідні, цифрові вхідні, цифрові вихідні, інтерфейс UART та інтерфейс SPI.

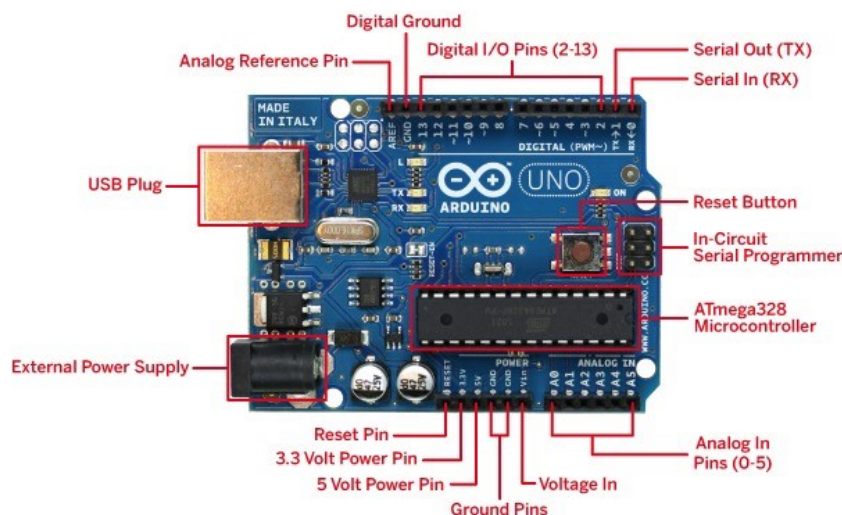


Рисунок 3.12 – Схема з розташуванням елементів та виходів Arduino Uno

Arduino Mega 2560: цей мікроконтролер має більшу продуктивність і пам'ять, ніж Arduino Uno (рис. 3.13). Він має 512 Кбайт оперативної пам'яті та 2 Мбайт флеш-пам'яті. Він також має більш широкий спектр інтерфейсів, включаючи аналогові вхідні, цифрові вхідні, цифрові вихідні, інтерфейс UART, інтерфейс SPI, інтерфейс I2C та інтерфейс CAN.

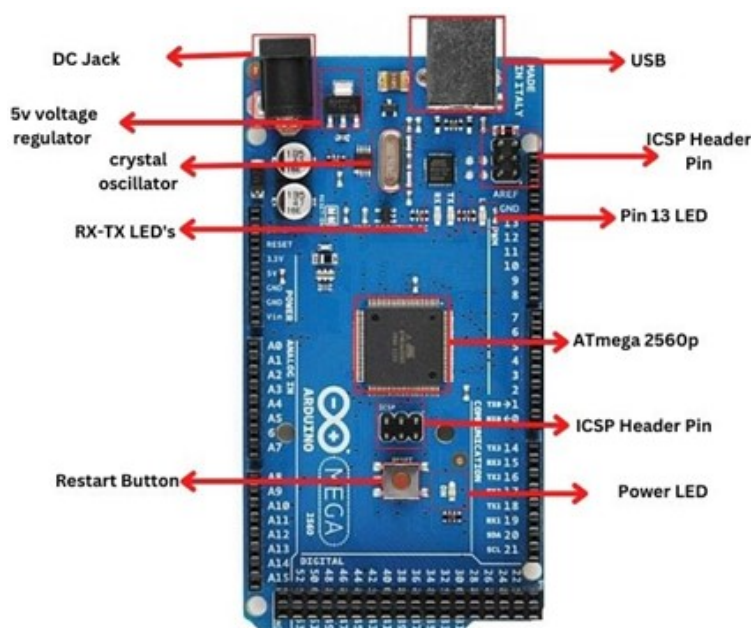


Рисунок 3.13 – Схема з розташуванням елементів та виходів Arduino Nano

Arduino Nano: цей мікроконтролер має меншу продуктивність і пам'ять, ніж Arduino Uno (рис. 3.14). Він має 32 Кбайт оперативної пам'яті та 32 Кбайт флеш-пам'яті. Він також має менш широкий спектр інтерфейсів, включаючи аналогові вхідні, цифрові вхідні та цифрові вихідні.

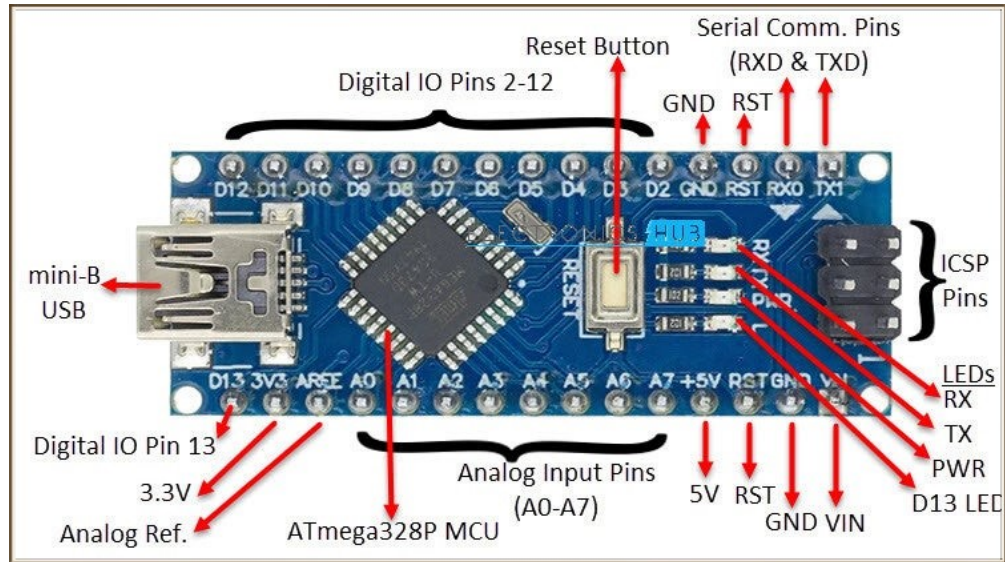


Рисунок 3.14 – Схема з розташуванням елементів та виходів Arduino Nano

Вибір конкретного мікроконтролеру залежить від конкретних вимог до роботи. Якщо робота повинна виконувати складні алгоритми керування, то необхідно використовувати мікроконтролер з більшою продуктивністю і пам'яттю, наприклад Arduino Mega 2560. Якщо робота повинна мати невеликі розміри, то можна використовувати мікроконтролер з меншою продуктивністю і пам'яттю, наприклад Arduino Nano.

Ось кілька додаткових факторів, які можна враховувати при виборі мікроконтролеру для керування роботом для знешкодження ВНП:

- вартість: мікроконтролери сімейства Ардуіно є відносно недорогими;
- доступність: мікроконтролери сімейства Ардуіно широко доступні в магазинах електронних компонентів;
- підтримка: мікроконтролери сімейства Ардуіно мають велику спільноту користувачів, які надають підтримку та розробляють програмне

забезпечення для цих мікроконтролерів.

Код описує програму для робота, який використовує ROS (Robot Operating System) для управління різними компонентами. Короткий опис його функцій:

- ROS NodeHandle: Ініціалізує вузол ROS для зв'язку з іншими вузлами.
- Servo: Керує двома сервоприводами, прикріпленими до пінів 2 та 3.
- датчик металу (рис. 3.15): використовується для виявлення металу за допомогою аналогового входу A0.
- пневматичний циліндр: Управляється через пін 8 для активації/деактивації.
- колісні мотори: Чотири мотори прикріплені до пінів 9-12 для руху робота.

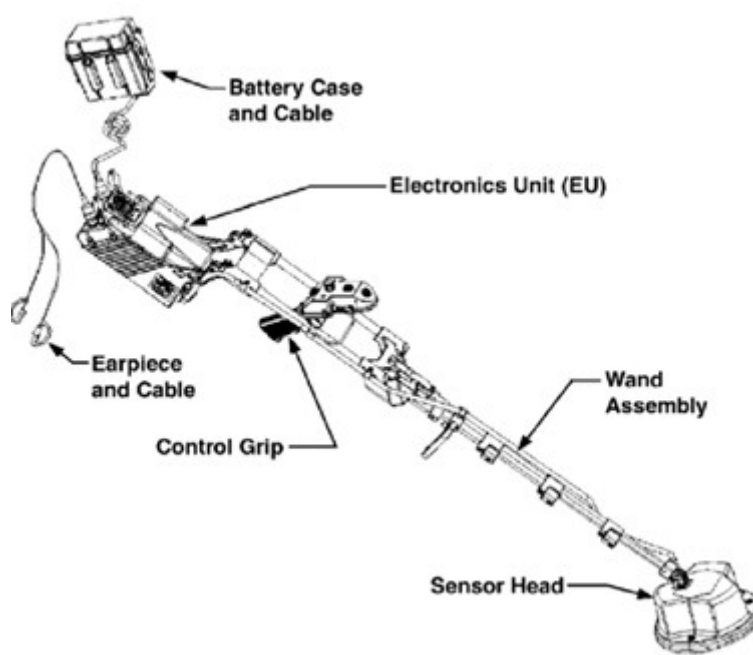


Рисунок 3.15 – Металодетектор

Програма також включає функції для (рис. 3.16-3.19):

- запису: початок та зупинка запису за допомогою повідомлень ROS.
- руху робота: керування швидкістю коліс на основі лінійної та кутової швидкостей.

Коли датчик металу виявляє метал, пневматичний циліндр активується

на 1 секунду. Це може використовуватися для сортування або виявлення металевих об'єктів.

Затримка в 1 мілісекунду в кінці основного циклу забезпечує стабільність системи.

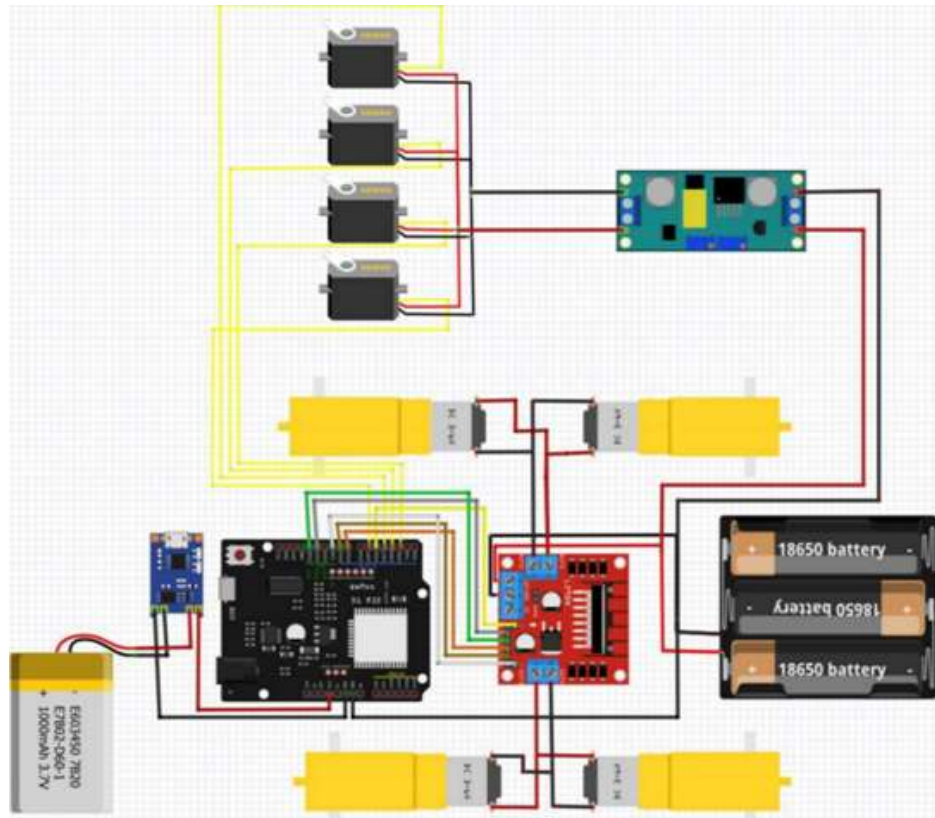


Рисунок 3.16 – Кінцева схема системи

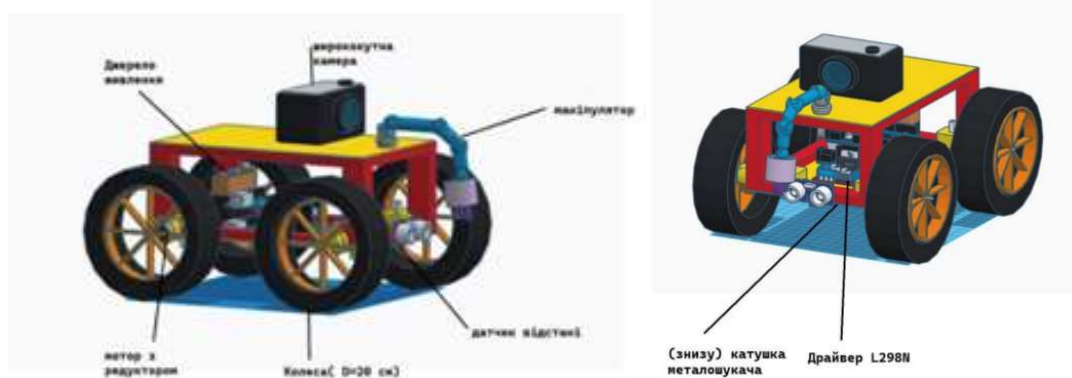


Рисунок 3.19 – Приклад роботизованої системи

В комплект металодетктора входить навушники і кабель, в нашому випадку ручка для тримання, прокладання кабелів на маніпуляторі, датчик.

На рисунку 3.20 представлений CAD модель робота

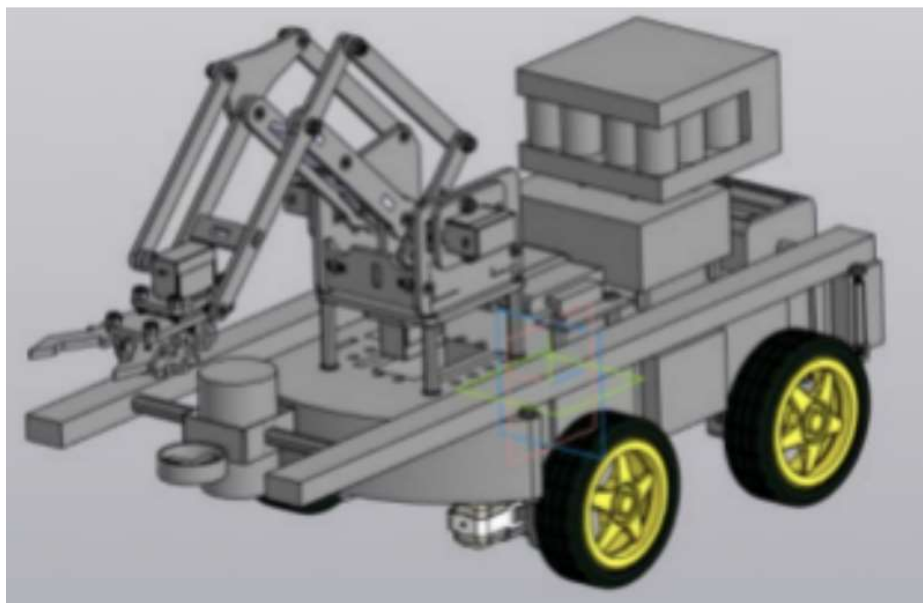


Рисунок 3.20 – Роботизована система

Розробка роботизованого комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів (ВНП) є важливою задачею, що спрямована на підвищення безпеки та ефективності гуманітарного розмінування. Сучасні робототехнічні комплекси забезпечуються високотехнологічними сенсорами та маніпуляторами, які дозволяють виконувати розвідку та ідентифікацію ВНП з мінімальним залученням людських ресурсів.

Спочатку визначається безпечна зона для операторів та мирного населення, що дозволить відокремити зону роботи від вільного доступу, забезпечуючи таким чином безпеку процедури розмінування. Мобільна платформа на колесах, оснащена шарнірно-зчленованим маніпулятором, надає роботу необхідну гнучкість та маневреність, дозволяючи виконувати складні завдання в неструктурованих середовищах.

Маніпулятор забезпечений захватом, на який можливе встановлення різних сенсорів, включаючи металодетектори та тепловізори. Використання магнітометра дозволяє виявити металеві об'єкти, а тепловізори виявляють аномалії у температурі поверхні, що можуть вказувати на наявність ВНП.

Корпус робота, оснащений вбудованими сенсорами, забезпечує захист від зовнішніх впливів та служить основою для монтажу обладнання.

Управління роботом та обробка даних здійснюються за допомогою вбудованих блоків, які дозволяють реалізувати навігацію в реальному часі та адаптацію до змінних умов. Колеса забезпечують не лише мобільність, але й стабільність на різних поверхнях, дозволяючи роботу переміщуватися по складних теренах.

Процес пошуку ВВП починається з розвідки території на забруднення, після чого робот починає послідовно-паралельний пошук, скануючи зону та маркуючи виявлені предмети. Всі дані вносяться в топографічну карту, яка створюється за допомогою GPS-трекінгу, що забезпечує високу точність визначення координат виявлених об'єктів.

У разі ідентифікації об'єкта як ВВП, оператор повідомляє про знахідку, а сапери вживають заходів для її нейтралізації або вилучення. У разі невизначеності предмета як ВВП, застосовуються додаткові заходи обережності, залучаючи саперний загін для ретельної перевірки.

Завершальною стадією є повторний огляд території, перевірка маркування та підготовка робота до транспортування або наступної місії. Таким чином, використання роботизованих комплексів сприяє підвищенню безпеки та ефективності процедур розмінування.

Схема робота для пошуку ВВП (рисунок 3.22).

Процес пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів (ВВП) на поверхні землі за допомогою робототехнічного комплексу включає ретельне планування та виконання, яке можна розглянути через призму інтеграції сенсорних систем, автоматизації та навігаційного обладнання.

Початковий етап включає встановлення безпечної зони, яка гарантуватиме безпеку оператора та мирного населення під час виконання роботи роботом. Визначаються параметри робочої зони, яка становитиме, наприклад, 100 на 100 метрів. На цьому етапі також враховуються можливі маршрути для вільного пересування робота, щоб забезпечити систематичне

покриття території.

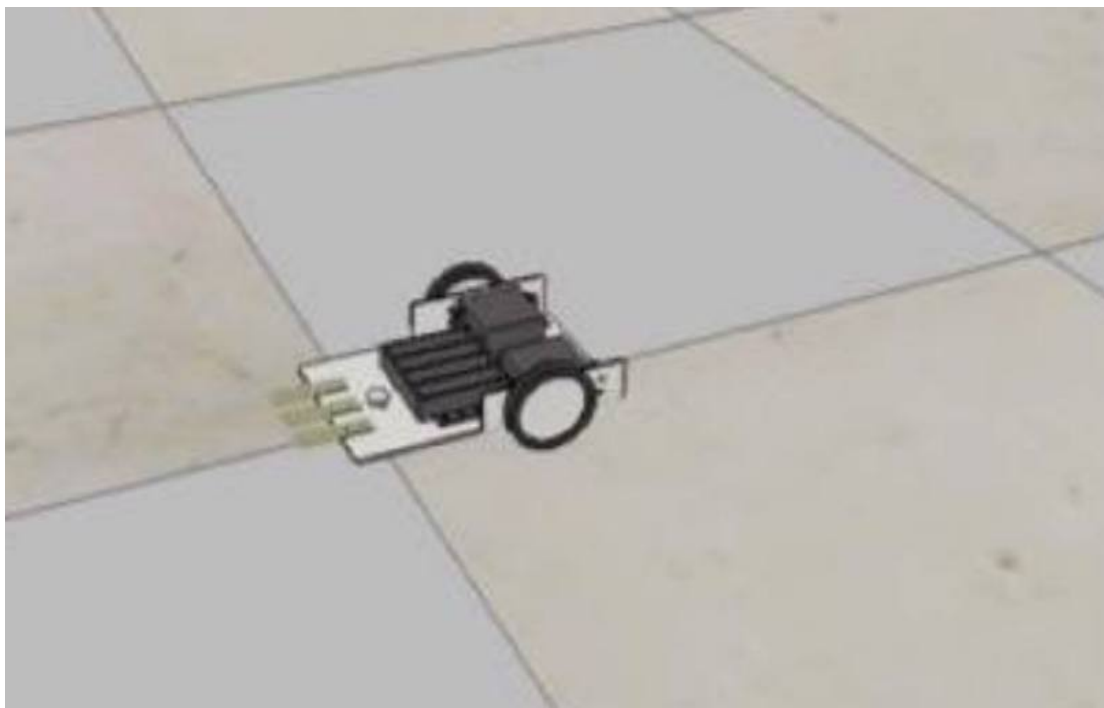


Рисунок 3.21 – Робот для розмінування

За допомогою GPS-трекера та інших навігаційних інструментів, які можуть забезпечити точність визначення координат до 15 см, робот розпочинає пошук по периметру заданої зони. Сенсори, такі як металодетектори та радіолокаційні системи, інтегровані в робота, сканують землю на предмет ВНП. Ці сенсори працюють у координації, поєднуючи дані для точного виявлення та класифікації об'єктів. Відеокамери забезпечують візуальний контроль та допомагають у валідації сенсорних даних.

Схема перешкоди робота при пошуку та маркуванні наведено на рис. 3.23.

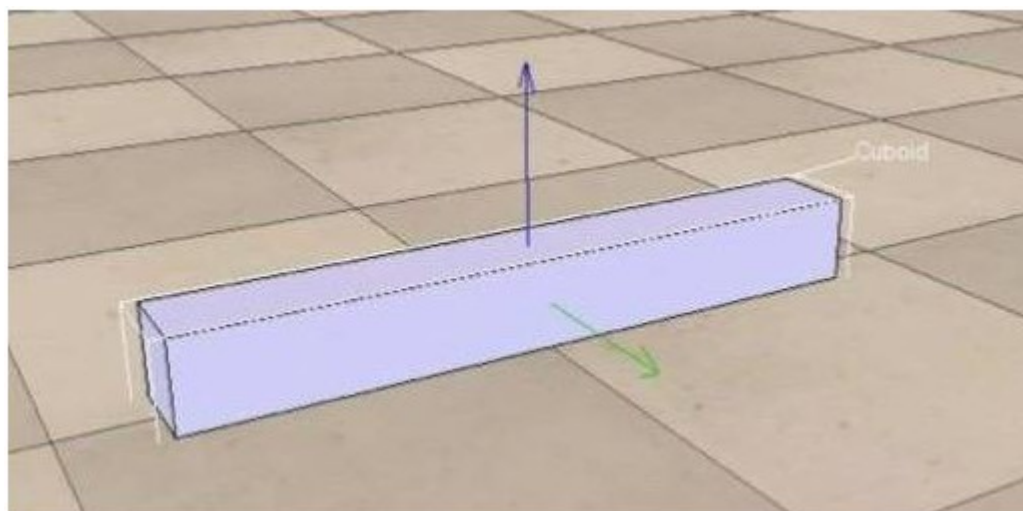


Рисунок 3.22 – Модель перешкоди

Якщо виявляється предмет, що відповідає характеристикам ВНП, робот зупиняється для детального аналізу. Оператор, керуючи роботом, оцінює ситуацію та може викликати саперний загін для видалення об'єкта, якщо він не представляє небезпеки, або для проведення контрольованого знешкодження, якщо об'єкт класифікований як ВНП (рисунок 3.23).

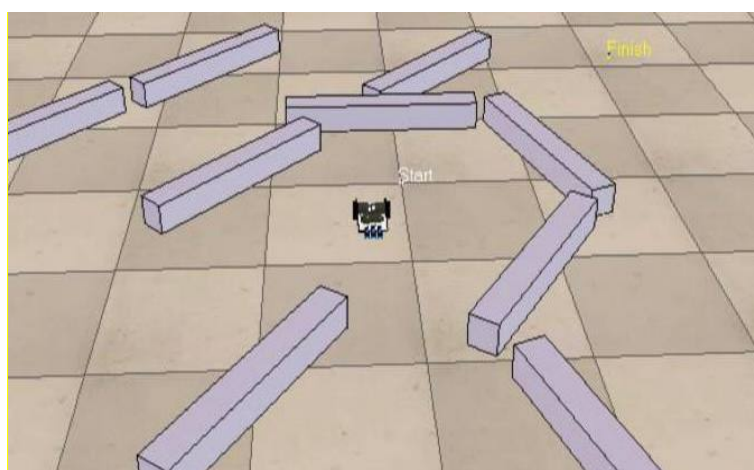


Рисунок 3.23– Топографічна карта перешкоди

Після маркування або видалення ВНП, робот продовжує сканування, доки вся зона не буде охоплена. Усі виявлені дані наносяться на топографічну карту для створення повного звіту про стан розмінування

території. По завершенні, робот може бути перепрограмований для роботи на новій ділянці або зібраний для транспортування.

Для візуалізації описаного процесу роботи робота з виявленням вибухонебезпечних предметів (ВПН) у вигляді блок-схеми 3.24.

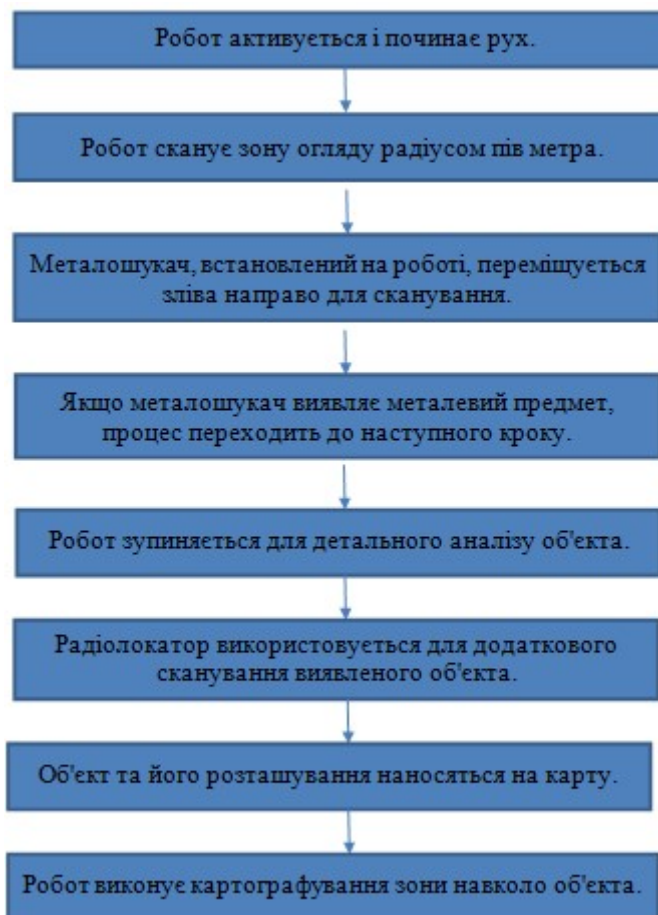


Рисунок 3.24 – Блок-схема процесу роботи робота з виявленням вибухонебезпечних предметів

Роботизований механізм:

- керування: використання робототехнічного механізму для точного керування та орієнтації в зоні пошуку;
- автономність – можливість автономної роботи згідно з заздалегідь заданим маршрутом чи з використанням алгоритмів обходження перешкод.

Взаємодія із піротехіноком:

- телеметрія та передача даних: Забезпечення зв'язку між роботом та

оператором для надання інформації, управління та отримання даних.

Система використовує ультразвуковий сенсор hc-sr04 (рисунок 3.24) для вимірювання відстаней, тепловізор mlx90640 (рисунок 3.25) для ідентифікації об'єктів за тепловим випромінюванням, та металодетектор для виявлення металевих компонентів.



Рисунок 3.24 – Ультразвуковий сенсор hc-sr04

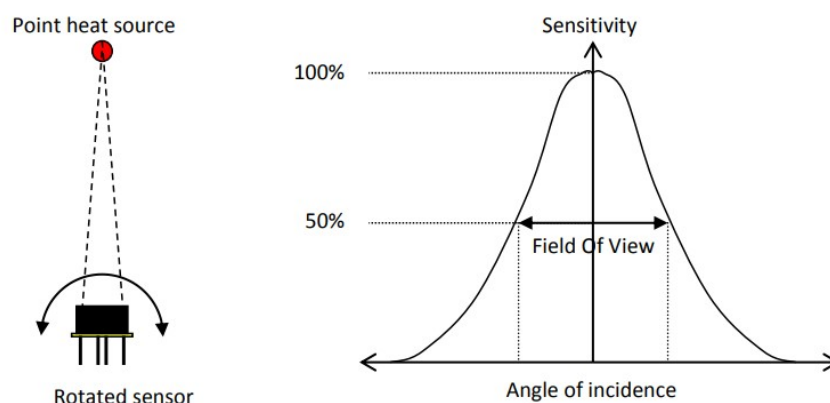


Рисунок 3.25 – Ефективність тепловізора відповідно до куту нахилу

Аудіо-візуальні індикатори відіграють роль у сповіщенні операторів про виявлені загрози. Технічні параметри включають регульовану швидкість, максимальний безпечний кут нахилу та маніпулятор для взаємодії з

об'єктами. Загальна вага системи не перевищує 50 кг, забезпечуючи оптимальну стабільність та маневреність.

Алгоритм побудови програмного модуля робототизованого комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів використовує методи обробки даних, аналітики та машинного навчання. Цей алгоритм спроектований для автономного виявлення та класифікації потенційно небезпечних об'єктів, забезпечуючи безпечне середовище для суспільства.

Алгоритм функціонування РТК представлений на рисунку 3.26.

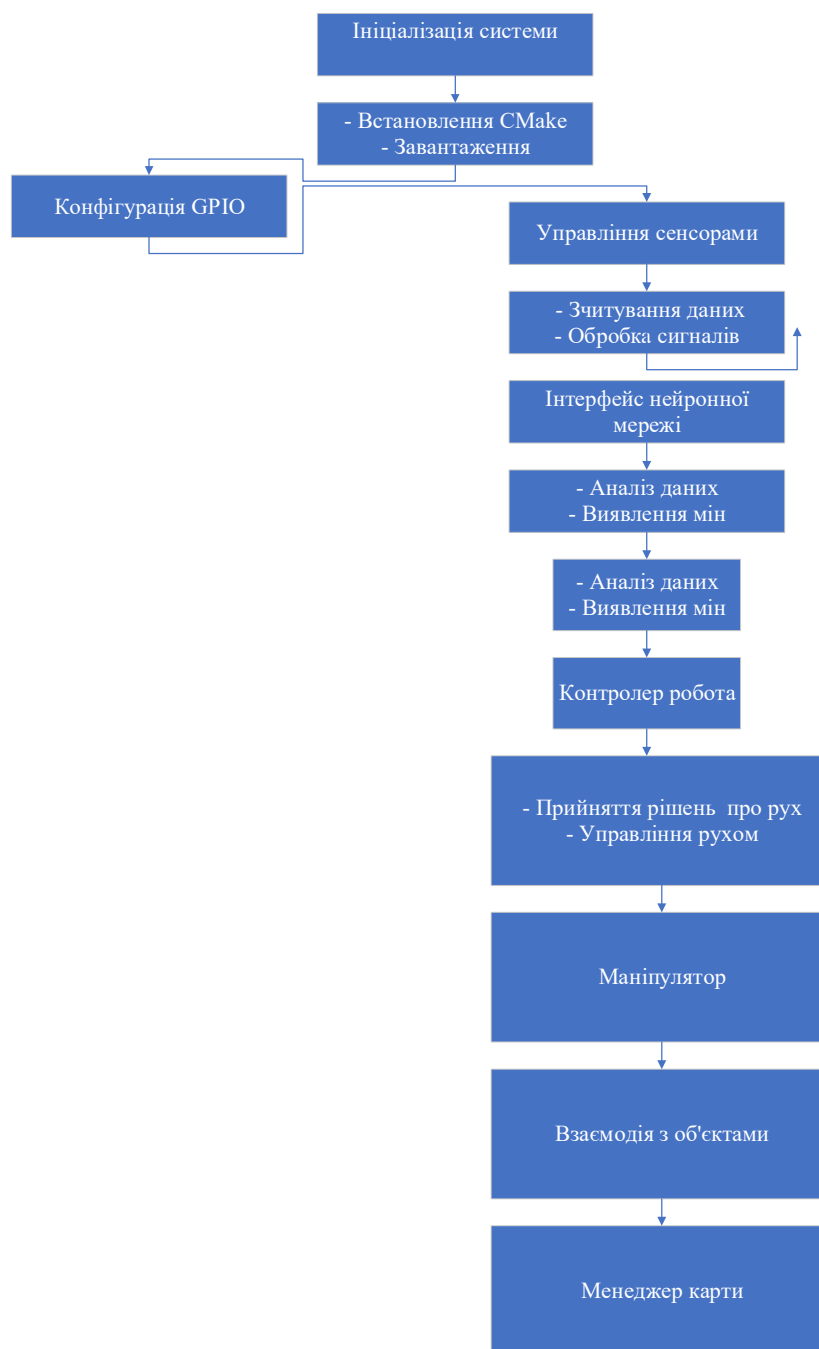


Рисунок 3.26 – Алгоритм функціонування РТК

Лістинг програмного коду наведено у додатку А.

3.3 Висновки до 3 розділу

Керуючись наявними технологіями металодетектора, магнітометра було складено роботехнічну модель для пошуку вибухонебезпечних предметів. За допомогою програми SolidWorks було побудовано CAD модель робототехнічного комплексу для можливості реалізації в майбутньому фізичної моделі. Був обраний протокол ExpressLRS як один із найкращих наявних через свою відносну дешевизну реалізації та надійність.

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

Забезпечення здорових і безпечних умов праці значною мірою залежить від правильної оцінки шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Організм людини може зазнавати важких змін з різних причин. Це можуть бути такі чинники, як виробниче середовище, надмірне психічне та фізичне напруження, нервово-емоційне напруження або різні комбінації перерахованих вище. У цьому розділі питання охорони праці програміста розглядаються на етапі розробки ним моделі робототехнічної системи для пошуку та ідентифікації ВВП. Аналіз умов праці показав, що такі фізичні та психофізіологічні фактори можуть негативно впливати на програмістів у лабораторіях:

- охайність та зручність місця для роботи;
- завеликий рівень шуму та пилу на місці для роботи;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

4.2 Організація робочого місця

Приміщення, для роботи програміста, з загальною площею 30 м^2 , а висотою стелі – 2 м вміщує 3 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочим столом з площею $1,3 \text{ м}^2$, персональним комп'ютером або ноутбуком та м'яким кріслом.

Персональний комп'ютер складається з монітора, системного блоку, клавіатури та графічного планшета. Допустим площа для одного робочого місця становить за 10 м^2 , а об'єм за 20 м^3 , що відповідає стандартам.

Пропозиції, щодо поліпшення організації робочого місця програміста:

- за можливістю, обрати робочий стіл, з регулятором висоти;

– збільшити розмір робочої поверхні, він повинен складати не менш ніж 1500 мм 1100 мм.

Під столом повинен бути простір для комфортної роботи. Стіл робітник повинен бути з підставкою для ніг, розташованою під кутом 20° до поверхні столу. Відстань від краю стола до клавіатури повинен бути більш ніж 30 см, але не далі за 70 см. При далекому розташуванні клавіатури у робітника можуть виникнути проблеми зі спиною та шиєю. Правильно підібрана відстань забезпечить для програміста зручну опору для передпліччя. Відстань до екраном монітору та очима повинна складати від 50 см до 70 см;

Робочий стілець, за яким працює програміст, повинен бути оснащений м'якою підстількою. Висота стільця повинна мати висоту 46 см до 56 см. Висота спинки становитиме не менше ніж 30 см, ширина – не менше 38 см. Виходячи з результатів важкості та напруги на тіло, пропонується скоротити робочий час за монітором. Пропонується робити перерви для відпочинку очей на 50 хв при загальній зміні в 8 год.

4.3 Вплив шуму на роботу програміста

При роботі в приміщенні з великою кількістю робочих місць може виникнути проблема у великій кількості шуму, оскільки, вінчестер в системному блоці, та 4 вентилятор для системи охолодження персонального комп'ютера видають перевищення допустимого шуму. Поряд працює різна периферійна техніка: клавіатура, графічні планшети, колонки, принтери, телефони. У приміщенні створюються механічні і аеродинамічні шуми, широкосмугові із аперіодичним підсиленням, наприклад, робота принтера. Орієнтовно еквівалентний рівень шуму, які діють на робітника представлені в табл. 4.1. При цьому допустимий рівень шуму при роботі програміста має складати приблизно 55 дБ. Загальний рівень шуму для комфортної роботи програміста в приміщенні з більш ніж 5 працівниками має становити від 50

дБ до 65 дБ.

Для зниження рівня шуму можна використати (рис. 4.1):

- обробка стелі і стін звукопоглинальним матеріалом, це знизить шум на 6 дБ;
- встановлення перегородок або діафрагм біля кожного робочого місця;
- установка в приміщеннях з комп'ютерами устаткування з меншою генерацією шуму;
- правильно розпланувати приміщення.

Заходи для зниження рівня шуму в приміщенні	
Захід	Зниження рівня шуму
Обробка стелі і стін звукопоглинальним матеріалом до 6 дБ	
Встановлення перегородок або діафрагм біля кожного робочого місця від розташування та конструкції перегородок	
Установка у приміщеннях з комп'ютерами залежить від обладнання устаткування з меншою генерацією шуму	
Правильне розпланування приміщення залежить від конфігурації простору	

Рисунок 4.1 результат атестації з охорони праці

4.4 Електробезпека. Статична електрика

Небезпека ураження електричним струмом в робочих приміщеннях відносяться до 1 класу підвищеної безпеки (сухість, відсутність пилу, нормальна температура повітря, ізольована підлога, досить мала кількість заземлених приладів).

Робоче місце програміста містить тільки металевий корпус системного блоку ПК, системні блоки використовуються з відповідним стандартом. В них є робоча ізоляція, передбачено елемент для заземлення та дроти з жилою, що заземлює, для живлення.

Три основні причини ураження людини електричним струмом при роботі в закритому приміщенні:

- дотик до металевих корпусів або периферії під напругою через пошкоджену ізоляцію;
- неправильне використання електричних приладів;
- відсутність відповідної за інструктаж людини, яка проводить засідання з охорони праці.

Протягом робочого дня корпус комп'ютера накопичує статичну електрику. При відстані від 6 см до 11 см від екрана, напруга електростатичного поля може складати від 60500 В/м до 280500 В/м, в 10 разів перевищивши норму в 20000 В/м.

Забезпечити безпеку у робочому приміщенні пропонується використовуючи технічні способи і засоби захисту:

- зменшити накопичення статичної електрики застосовавши зволожуючі та нейтралізуючі покриття підлоги;
- з'єднання металевого корпусу устаткування з жилою заземлення. Заземлення корпусу комп'ютера забезпечити підведенням заземлюючої жили, до розеток.

Опір заземлення складає до 4 Ом для електроустановки з напругою до 1000 В. Або використовуючи деякі організаційні заходи:

- постійне проведення інструктажу з техніки безпеки;
- заборона використання на робочому місці непередбаченого для нього електричного обладнання.

4.5 Проведення атестації робочих місць

Атестація робочих місць проводиться на підприємстві, коли на здоров'я людей негативно впливають: частина технологічного процесу, обладнання, сировина або матеріали. Атестація проводиться спеціальними комісіями, персонал і повноваження яких визначаються наказом по підприємству у визначені терміни, передбачені договором, загалом не рідше одного разу на 4-5 років.

4.6 Проведення медичних оглядів

Згідно до статті 169 КЗпП роботодавець за власні або кошти підприємства організовує проведення постійного медогляду працівників. Також він зобов'язаний проводити щорічний обов'язковий медогляд осіб у віці до 21 року. Результати медоглядів працівників як висновок фахівця про можливість допуску працівника до роботи заносяться до їх персональної медичні книжки, які зберігаються у роботодавця.

Кожен роботодавець та робітник повинен бути зацікавлений в проведенні щорічного медогляду. При взятті на роботу співробітника роботодавцю необхідна об'єктивна оцінка стану здоров'я, це дозволить визначити попередній медичний огляд. Надалі буде необхідність у періодичному медичному огляди за для своєчасного діагностування профзахворювань, визначення впливу негативних факторів на здоров'я і забезпечення працездатності персоналу.

4.7 Висновки до четвертого розділу

В цьому розділі проведено дослідження з охорони праці на стадії розробки ним програмного модуля. Зроблено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які можуть впливати на роботу.

Серед основних можна виділити наступні:

- питання організації робочого місця;
- підвищення рівню шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

В підрозділах проаналізовано значення параметрів та наведено, як удосконалити умови при роботі під час розробки програмного продукту.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи було підвищення ефективності пошуку та ідентифікації ВНП за рахунок комбінованого методу пошуку та вдосконалення модуля конструкції РТК, який застосовується у системі гуманітарного розмінування.

Для досягнення поставленої мети у роботі було:

- проведено аналіз сучасних методів та систем пошуку та ідентифікації ВНП;
- проведено аналіз сучасних методів процесу пошуку та ідентифікації ВНП та РТК, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування;
- була розроблена модель процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів комбінованим методом;
- була розроблена САД модель РТК;
- алгоритм побудови програмного модуля робототизованого комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів;
- розглянути питання охорони праці.

Пошук та ідентифікація ВНП для гуманітарного розмінування є комплексним завданням. У зв'язку з цим, для проведення гуманітарного розмінування РКВП повинні бути оснащені відповідними маніпуляторами та детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень та застосовуватись на етапах розвідки, пошуку, локації, маркування, ідентифікації, знешкодження та знищення ВНП, та відповідати встановленим вимогам.

Результати досліджень можуть бути застосовані при створенні робототехнічних комплексів та систем військового, спеціального та подвійного призначення, які застосовуються у сфері гуманітарного розмінування.

Серед засобів пошуку було обрано магнітометричний метод виявлення, з використанням міношукача, та радіолокаційний метод пошуку, завдяки якому оператор може розпізнати ВВП під поверхнею землі .

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП “УкрНДНЦ”. 2016. 30 с.
2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп’ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. 65 с.
3. Заїкін В. Моделювання пошуку вибухонебезпечних предметів методом електромагнітної спектроскопії та радіолокації / VII-а Міжнародна конференція «Виробництво & Мехатронні Системи 2023», м. Харків, 19-20 жовтня 2023 р. Х. : ХНУРЕ, 2023. С. 23 -29
4. Шафоростов Д. Д. Робототехнічні системи та їх застосування для пошуку вибухонебезпечних предметів / Д. Д. Шафоростов // Виробництво & Мехатронні Системи («Manufacturing & Mechatronic System 2022» M&MS2022): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв]. Харків: ХНУРЕ, 2022. Вип. 1. С. 92–94.
5. Янушкевич Д. А., Шафоростов Д. Д. Технології виявлення та класифікації вибухонебезпечних предметів / Д. А. Янушкевич, Д. Д. Шафоростов // Збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка». Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2022. Харків, ХНУРЕ, 2022. С. 62-65.
6. Янушкевич Д. А., Кирпота Ф. В. (2021). Роботизовані системи та їх застосування у гуманітарному розмінуванні. Матеріали всеукраїнської

науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві», Харків, ХНАДУ, С. 104-109.

7. Щодо розмінування підрозділами ДСНС території України URL: <https://dsns.gov.ua/map-demining> (дата звернення: 18.11.2022).

8. Аналіз виконання робіт щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів по роках. URL: <https://dsns.gov.ua> (дата звернення: 18.11.2022).

9. Розмінування. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Розмінування> (дата звернення: 20.11.2022).

10. Струтинський В. Б. Розвиток основних положень проектування маніпуляторів мобільних роботів спеціального призначення адаптованих для роботи з небезпечними об'єктами / В. Б. Струтинський, О. Я. Юрчишин, О. М. Кравець // Матеріали XXII міжнародної НТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. С. 129 - 131.

11. TALON Tracked Military Robot. // Army Technology. URL: <https://www.army-technology.com/projects/talon-tracked-military-robot/> (дата звернення: 22.11.2022).

12. MarkV-A1. // Army Guide. URL: <http://www.army-guide.com/ua/product.php?prodID=5960&printmode=1> (дата звернення: 09.12.2022).

13. Дрон для розмінування. URL: <https://euromag.biz/ua/p1651722039-dron-dlya-razminirovaniya.html> (дата звернення: 09.12.2022).

14. Д. Санс-Меродіо, Е. Гарсія, П. Гонсалес-де-Сантос. Аналіз енергоефективних конфігурацій шестиногих роботів для розмінування. Промисловий робот: міжнародний журнал, 2012, вип. 39. С. 20.

15. Сервіс протимінної діяльності ДСНС. URL: <https://mine.dsns.gov.ua/> (дата звернення: 09.12.2022).

16. Борщ П. А. Семенов В. Ю. Локаційний металошукач // Радіоаматор. Київ, 1999. Вип. 10, С. 36 – 39.
17. Garrett. URL: <https://garrett.com/pd-6500i-walk-through-metal-detector> (дата звернення: 09.12.2022).
18. RE2, VideoRay robot hits underwater depth milestone. URL: <https://www.therobotreport.com/re2-videoray-robot-hits-underwater-depth-milestone/> (дата звернення: 09.12.2022).
19. Operating instructions: grand master hunter CX III. URL: <https://garrett.com/sites/default/files/2019-11/Grand-Master-Hunter-CX-III.pdf> (дата звернення: 09.12.2022).
20. Пошукові засоби (металошукачі). Митна енциклопедія: у 2 т. / І. Г. Бережнюк (відп. ред.) та ін. Хм.: ПП Мельник А. А., 2013. Т. 2: М – Я. С. 283 – 536.
21. Струтинський В. Б. Розвиток основних положень проектування маніпуляторів мобільних роботів спеціального призначення адаптованих для роботи з небезпечними об'єктами / В. Б. Струтинський, О. Я. Юрчишин, О. М. Кравець // Матеріали XXII міжнародної НТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. С. 129-131.
22. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси. – Житомир: ПП «Рута», 2023. – 524 с.
23. Nevliudov, I., Yanushkevych, D., Ivanov, L. Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. / I. Nevliudov, D. Yanushkevych, L. Ivanov // Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62). 2021. P. 47-52.
24. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В.В., Новоселов С.П., Демська Н.П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів
25. Основи радіолокації. URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQybaD8cmDAxUuYPEDHU4_CQQQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.radartutori

al.eu%2F01.basics%2Frb06.uk.html&usg=AOvVaw37wr2AEGS9qK6UNDotkaLu&ori=89978449 (дата звернення: 29.12.2022).

26. Янушкевич Д. А., Іванов Л. С. Сучасні тенденції застосування роботизованих систем для гуманітарного розмінування / Д. А. Янушкевич, Л. С. Іванов // Збірник матеріалів III форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2021. URL: <https://mts.nure.ua/conferences-ua/forum/aert-2021> (дата звернення: 10.12.2022).

27. Kasban H. A Comparative Study of Landmine Detection Techniques (2010) / H. Kasban, O. Zahran, Sayed M. Elaraby, M. El-Kordy, F. E. Abd El-Samie. Sensing and Imaging: An International Journal volume 11, P. 89 –112.

28. Корендяєв А. І. Теоретичні засади робототехніки. У 2 кн. Київ.: Наука, 2006. 383 с.

29. Міжнародні стандарти протимінної діяльності IMAS. URL: <https://www.mil.gov.ua/ministry/normativno-pravova-baza/standarti.html> (дата звернення: 17.11.2022).

30. Lino Marques, Aníbal T. de Almeida, M. Rachkov, «Control System of a Demining Robot», Portugal, 11 p.

31. Code Bullet. A. I. Learns to FLY. // YouTube. 2020. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=D5xX6nRWDko> (дата звернення: 09.12.2022).

32. Mostafa Ghoniema, Taher Awadb, Ossama Mokhiamar. Control of a new lowcost semi-active vehicle suspension system using artificial neural networks. // ScienceDirect. Alexandria Engineering Journal. 2020. Жовтень. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820303380> (дата звернення: 10.12.2022).

33. M. Rachkov, L. Marques, A.T. de Almeida, «Automation of Demining», Textbook, University of Coimbra, 282 p.

34. Як створити робота: огляд сучасних технологій. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/how-to-create-robots.html> (дата звернення: 10.12.2022).

35. Симулятор роботів. URL: <https://unity.com/ua/solutions/automotive-transportation-manufacturing/robotics> (дата звернення: 10.12.2022).

36. Dumin, O.; Prishchenko, O.; Pochanin, G.; Plakhtii, V.; Shyrokograd, D. Subsurface Object Identification by Artificial Neural Networks and Impulse Radiolocation. In Proceedings of the IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 21–25 August 2018; pp. 434–437.

37. Dumin, O.; Prishchenko, O.; Plakhtii, V.; Shyrokograd, D. Application of UWB Electromagnetic Waves for Subsurface Object Location Classification by Artificial Neural Networks. In Proceedings of the 9th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Odessa, Ukraine, 4–7 September 2018; pp. 290–293.

38. ДСТУ-П 8820:2018. Інформація та документація. Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту очищення (розмінування) району ведення бойових дій. Київ, 2020. 76 с.

39. Охорона праці при роботі з комп'ютерною технікою. Охорона праці та пожежна безпека. URL: <https://bit.ly/3cATg86> (дата звернення: 11.12.2022).

40. Охорона праці при роботі з ПК. URL: <https://lektsii.org/3-115998.htm> (дата звернення: 11.12.2022).

41. Смольков Ю. Ю., Коцюруба В. І., Гунбін К. Ю. Математична модель пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації / Ю. Ю. Смольков, В. І. Коцюруба, К. Ю. Гунбін // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence № 2(38)/2020. С. 113-118.