

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)

Розробка апаратного модуля пошуку вибухонебезпечних предметів  
робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи КТРСМ-22-2  
Вирвихвост О.В.  
(прізвище, ініціали)

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

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютеризовані та  
робототехнічні системи  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. КІТАР Янушкевич Д.А  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024 р.

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та роботехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютеризовані та робототехнічні системи

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри Невлюдов І.Ш.

(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові	<u>Вирвихвосту Олегу Віталійовичу</u> (прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи	<u>Розробка апаратного модуля пошуку</u>
вибухонебезпечних предметів робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування	
Затверджена наказом по університету від	<u>03.11.2023р. № 1288Ст</u>
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії	<u>10.01.2024</u>
3. Вихідні дані до роботи	
3.1 Архітектура апаратного модуля для пошуку ВВП	
3.2 Модель апаратного модуля для пошуку ВВП	
3.3 Кінематична схема робототехнічної системи	
3.4 Конструкція робототехнічного комплексу	
3.5 Математична модель нелінійної радіолокації для виявлення ВВП	
4.1 Вступ	
4.2 Аналіз сучасного стану системи гуманітарного розмінування із застосуванням РКВП	
4.3 Порівняльний аналіз засобів пошуку та ідентифікації РКВП	
4.4 Реалізація моделювання процесу гуманітарного розмінування із застосуванням РКВП	
4.5 Охорона праці	
4.6 Висновки	
4.7 Додатки	
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)	
демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.pptx) – 12 с	

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

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до кваліфікаційної роботи	10.11.23	виконано
2	Вступ	11.11.23	виконано
3	Аналіз технічного завдання	14.11.23	виконано
4	Аналіз інструментів розробки та аналіз технічного завдання	15.11.23	виконано
5	Проектування системи	17.11.23	виконано
6	Розроблення програмного модуля маніпуляторів роботехнічних систем	21.11.23	виконано
7	Охорона праці	24.11.23	виконано
8	Висновки	24.11.23	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісомUnichesk	02.01.24	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	02.01.24	виконано
11	Подання роботи на рецензію	05.01.24	виконано
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри	06.01.24	виконано
13	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	10.01.24	виконано

Дата видачі завдання 10.11.23

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Вирвихвост О.В.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Янушкевич Д.А  
(посада, прізвище, ініціали)

Я, 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.

Дата: 25.01.2024

Підпис:



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 6 табл., 49 рис., 4 дод., 28 джерел.

РОБОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ВІЙСКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ,  
ГУМАНІТАРНЕ РОЗМІНУВАННЯ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ,  
КРОКУЮЧИЙ РОБОТ, МАНІПУЛЯТОР.

Об'єктом дослідження є робототехнічний комплекс військового призначення, призначений для пошуку вибухонебезпечних предметів.

Предметом дослідження – апаратний модуль робототехнічного комплексу військового призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів на платформі крокуючого робота (робота-собаки).

Мета роботи – підвищення ефективності пошуку вибухонебезпечних предметів із застосуванням робототехнічного комплексу на платформі крокуючого робота (робота-собаки) із застосуванням сенсорів, діючих на принципі методу нелінійної радіолокації.

Користуючись світовою статистикою та сучасними видами пошуку вибухонебезпечних предметів буде покращено вже існуючу та розроблено модель робототехнічного комплексу військового призначення на дистанційному керуванні для пошуку вибухонебезпечних предметів.

Дана робота направлена на дослідженні робототехнічних комплексів військового призначення, включаючи види маніпуляторів та сенсорів, які вони застосовують та надання пропозицій щодо їх застосування у сфері гуманітарного розмінування.

Результатом дослідження є розроблення апаратної частини моделі, яка може бути використана при створенні робототехнічних комплексів та систем військового призначення, котрі можуть застосовуватись у сфері гуманітарного розмінування.

## ABSTRACT

Explanatory note: 70 pp., 6 tabl., 49 fig., 4 adj., 28 sources.

ROBOTIC COMPLEX FOR MILITARY PURPOSES, HUMANITARIAN DEMINING, EXPLOSIVE OBJECTS, STEPPING ROBOT, MANIPULATOR.

The object of the research is a military robotics complex designed to search for explosive objects.

The subject of the research is the hardware module of the military robotics complex for searching for explosive objects on the platform of a walking robot (dog robot).

The purpose of the work is to increase the efficiency of the search for explosive objects with the use of a robotic complex on the platform of a walking robot (robot-dog) and the use of sensors operating on the principle of the nonlinear radar method.

Using world statistics and modern types of search for explosive objects, the already existing model of the remote-controlled robotic military complex for searching for explosive objects will be improved and developed.

This work is aimed at researching robotic complexes for military purposes, including the types of manipulators and sensors they use and providing suggestions for their use in the field of humanitarian demining.

The result of the research is the development of the hardware part of the model, which can be used in the creation of robotic complexes and military systems that can be used in the field of humanitarian demining.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБКИ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ.....	11
1.1 Проблема гуманітарного розмінування, її основні завдання та складові..	11
1.2 Актуальність розробки робототехнічних комплексів гуманітарного розмінування.....	16
1.3 Класифікація та основні види робототехнічних комплексів, призначення для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.....	18
1.4 Постановка задач досліджень.....	23
1.5 Висновки до першого розділу.....	24
2 МЕТОДИКА РОЗРОБКИ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ.....	25
2.1 Порівняльний аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів.....	25
2.2 Конструкція робототехнічних комплексів для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.....	41
2.2.1 Несуча платформа.....	43
2.2.2 Маніпулятори.....	48
2.2.3 Система управління.....	51
2.3 Висновки до другого розділу.....	55
3 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО МОДУЛЯ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ.....	56
3.1 Технології створення робототехнічного комплексу.....	56

3.2 Архітектура та модель побудови апаратного модуля пошуку вибухонебезпечних предметів робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування.....	60
3.3 Опис технічного результату робототехнічного комплексу військового призначення для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.....	61
3.4 Висновки до третього розділу.....	77
4 ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ.....	78
ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	82
ДОДАТОК А МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ВВП МЕТОДОМ НЕЛІНІЙНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ.....	81
ДОДАТОК Б ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ НА КОНФЕРЕНЦІЯХ.....	87
ДОДАТОК В ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ.....	97

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВНП – вибухонебезпечні предмети;

ДКП – дистанційно керований пристрій;

ДСНС – державна служба України з надзвичайних ситуацій;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

НДЦ – неконтактний датчик цілі;

НРЛ – нелінійна радіолокація;

НРЛС – нелінійна радіолокаційна станція;

НТО – нетехнічне обстеження;

НШС – надширокосмугова система;

РЕБ – радіоелектронна боротьба;

РКВП – робототехнічний комплекс військового призначення;

РТК – робототехнічний комплекс;

ШНМ – штучні нейронні мережі;

OLED – organic light-emitting diode;

PS2 – Play Station 2.

## ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що в наш час для Збройних сил України та працівників Державної служби України з надзвичайних ситуацій одна із важливих задач це мати роботизовану систему, функцією якої буде пошук та подальша нейтралізація вибухонебезпечних предметів різного походження. Для вирішення даної задачі буде проведено аналіз сучасної структури процесу гуманітарного розмінування, видів ВНП, методів їх пошуку та ідентифікації, а також удосконалено існуючу робототехнічну систему.

Об'єкт розробки – робототехнічний комплекс військового призначення, призначений для пошуку ВНП.

Предмет розробки – апаратний модуль робототехнічного комплексу військового призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів на платформі крокуючого робота (робота-собаки).

Мета роботи – підвищення ефективності пошуку вибухонебезпечних предметів із застосуванням робототехнічного комплексу на платформі крокуючого робота (робота-собаки) із застосуванням сенсорів, діючих на принципі методу нелінійної радіолокації.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно:

- проаналізувати сучасний стан розробки РКВП для гуманітарного розмінування;
- провести класифікацію основних видів РКВП;
- провести порівняльний аналіз методів виявлення ВНП;
- розробити математичну модель пошуку ВНП методом НРЛ;
- провести можливість застосування методу НРЛ для пошуку ВНП;
- проаналізувати склад спеціального обладнання, провести аналіз дизайну РКВП для пошуку ВНП;
- удосконалити апаратний модуль для пошуку вибухонебезпечних предметів.

Кваліфікаційна робота виконана в відповідності з вимогами [1-3].

Результати роботи пройшли апробацію на 5-му форумі «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології», а також на на 4-му форумі «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» [4-5].

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБКИ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ГУМАНІТАРНОГО РЗМІНУВАННЯ

## 1.1 Проблема гуманітарного розмінування, її основні завдання та складові

Гуманітарне розмінування – це заходи, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із ВВП, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, забруднених ВВП, їх картографування, маркування, пошук, ідентифікація та знешкодження ВВП, здійснення оцінку у якості розмінування [5].

Під час проведення гуманітарного розмінування зростає увага до проблеми створення робототехнічних комплексів та систем для військового, спеціального та подвійного застосування (РКВП). Це пояснюється бажанням країн світу зберегти людські життя, оскільки використання РКВП має позитивний вплив. Крім того, ця тенденція обумовлена швидким розвитком нових інформаційних технологій, що призводить до «роботизації» різних сфер діяльності людини, зокрема, у сферу оборони. Це впливає на сучасне концептуальне бачення індустріального суспільства на основі концепції Industry 4.0.

Міни та боєприпаси, що не розірвалися, становлять велику небезпеку для мирного населення, перешкоджають поверненню українців до нормального життя, відновлення міст та інфраструктури, ведення сільського господарства. За оцінкою ДСНС України, розмінування сухопутної території країни може тривати понад 10 років, очищення акваторії Чорного моря від морських мін – до 7 років. На таблиці 1.1 наведено статистику по областях найбільш забруднені від ВВП після початку повномасштабної війни [6].

Зараз навіть важко точно говорити про розміри небезпечних зон, оскільки відбулася зміна військових, які проходили через ці області, наприклад, навколо блокпостів, і карти з маркуванням мін можуть бути загублені. По завершенню звільнення населених пунктів також немає інформації про те, де саме залишилися

мінні поля, які забруднені ВВП.

Таблиця 1.1 – Звіт з роботи ДСНС у різних областях України

Область	Обстежено територій		Знешкоджено ВВП		Кількість залучень	
	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт
Донецька	6.33	2942.42	37	50853	13	9876
Київська	9.86	29641.63	12	80819	5	9457
Харківська	2.85	4272.66	38	86727	21	26236
Черкаська	0	8819.84	0	40967	0	1390
Чернігівська	0	40224.58	0	52326	1	5155
Херсонська	50.52	11520.67	29	40408	21	10036
Сумська	21.42	4283.03	3	8917	4	2908
Запорізька	0	294.96	0	3785	0	1450

З 2014 року кількість вилучених на території України вибухонебезпечних предметів збільшується занадто швидко, через це виникла необхідність у збільшенні кількості професійних саперів або використання роботехнічного рішення, таблиця 1.2 відображає по роках кількість знешкодженого ВВП .

Основною метою розмінування є зниження ризику від мін до такого рівня, коли людина може жити у безпеці. Економічний, соціальний та фізіологічний розвиток повинні відбуватися без перешкод, не обмежуючись наземними ВВП [7].

Важливість проблеми: гуманітарного розмінування стає ключовим аспектом у сучасному світі з численними військовими конфліктами та ситуаціями збройного протистояння. Визволення території від мін та небезпечних об'єктів є передумовою для повернення людей на свою землю, встановлення інфраструктури та забезпечення безпеки громадян.

Таблиця 1.2 – Аналіз очищених територій України від ВНП за 2014 – 2021 роки

Період	Кількість залучень піротехнічних підрозділів	Знешкоджених ВНП, од.	Площа очищеної території, га
2014	7 090	151 100	3 030
2015	8 081	50 152	10 667
2016	10 327	80 011	8 153
2017	13 167	112 728	68 836
2018	10 917	168 812	86 720
2019	11 891	67 415	6 949
2020	14 166	73 375	4 939
2021	12 909	89 614	3 552

Розмінування – комплекс заходів, які проводяться операторами протимінної діяльності з метою ліквідації небезпек, пов’язаних із вибухонебезпечними предметами, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та (або) знищення вибухонебезпечних предметів, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [8].

Основні завдання гуманітарного розмінування:

- виявлення вибухонебезпечних предметів. Використання передових технологій, застосування сучасних сенсорів та радарної системи;
- ідентифікація вибухонебезпечних предметів. Аналіз характеристик: визначення особливостей небезпечних предметів для подальшої класифікації та

безпечного усунення. Безпечна ідентифікація: використання методик, які дозволяють розпізнати та класифікувати об'єкти без активації;

– безпечне вилучення вибухонебезпечних предметів. Роботизація та автоматизація: використання роботизованих систем для знешкодження мін та вибухонебезпечних предметів. Ефективні та екологічно чисті методи: забезпечення безпечного та ефективного вилучення вибухонебезпечних предметів з максимально невеликим негативним впливом на довкілля.

Проблеми гуманітарного розмінування:

– технологічна складність. Розмаїття типів мін, необхідно застосовувати різноманітні методи для їх виявлення й усунення через різноманіття типів вибухонебезпечних предметів. Засоби уникнення виявлення мін, активне застосування методів та матеріалів, які ускладнюють процес виявлення вибухонебезпечних предметів;

– людський фактор. Безпека піротехніків, використання робототехнічних комплексів може зменшити ризики для людей, забезпечуючи високий рівень автономії та безпеки;

– ефективність та швидкість. Швидкість усунення, розвиток та впровадження технологій, які забезпечують швидке й ефективно вилучення вибухонебезпечних об'єктів;

– інновації в робототехніці. Штучний інтелект та машинне навчання: використання передових технологій для аналізу даних та покращення приймання розумних рішень у системах роботизації.

Розглядаючи ці аспекти, очевидно, що гуманітарне розмінування вимагає комплексного та інноваційного підходу для забезпечення безпеки людей і відновлення нормального життя в постраждалих областях.

Важливими завданнями у сфері гуманітарного розмінування є виявлення та ідентифікація ВВП. Знаходження мін та ВВП включає їх пошук і розпізнавання на основі таких характеристик:

- наявність вибухової речовини;
- наявність масиву металу, який знаходиться локально;

- характерна геометрична форма мін та ВВП;
- нерегулярності в середовищі, де знаходиться ВВП (пошкодження ґрунту, дорожнього покриття, стіни будинку, зміни кольору рослинності).

Елементи систем гуманітарного розмінування зображено на рис. 1.1.

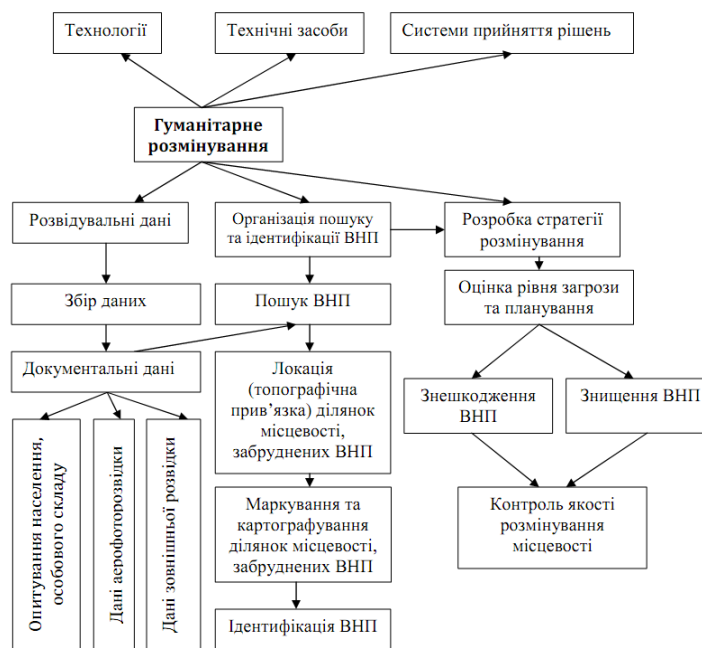


Рисунок 1.1 – Складові системи гуманітарного розмінування [7]

Класифікація робототехнічних комплексів військового 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.

Нижче представлена послідовність розмінування територій, яка визначення планом виконання заходів гуманітарного розмінування на звільнених територіях за умовними етапами (рис. 1.2).

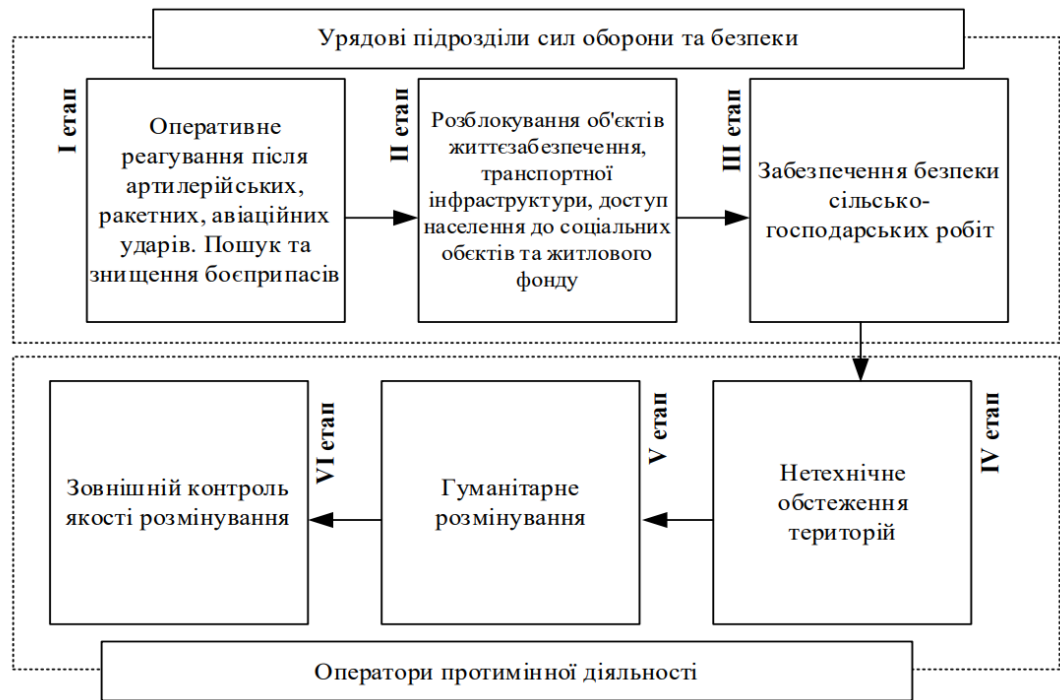


Рисунок 1.2 – Етапи виконання заходів гуманітарного розмінування [10]

## 1.2 Актуальність розробки робототехнічних комплексів гуманітарного розмінування

Чому робототехнічні комплекси є важливим рішенням для проблеми гуманітарного розмінування: розмінування – це небезпечна і складна задача, яка часто стикається з численними проблемами. Розминувальники покладають своє життя під загрозу через можливий вибух при неправильному виявленні або усуненні вибухонебезпечних предметів. Безпека розминувальників має велике значення, оскільки їх життя та здоров'я залежать від точності та ефективності їх роботи.

Роль робототехнологічних комплексів у полегшенні та покращенні безпеки: використання робототехнічних комплексів у гуманітарному розмінуванні обґрунтований потребою у мінімізації ризиків та покращенні ефективності

операцій. Ось кілька важливих аспектів, які демонструють актуальність робототехнологічних комплексів у цьому контексті:

- безпека операторів: робототехнічні комплекси дозволяють операторам працювати на безпечній відстані від потенційно небезпечних об'єктів, що зменшує ризик отримання травм або смертельних ушкоджень під час розмінування;

- точність та швидкість: робототехнічні системи оснащено передовими сенсорами та алгоритмами, які дозволяють їм швидко та точно виявляти вибухонебезпечні предмети, покращуючи ефективність проведення операцій;

- робототехніка за різних умов: робототехнічні комплекси можуть функціонувати у різних кліматичних умовах і на різномантних типах ґрунту, забезпечуючи всебічне застосування в різних районах;

- мінімальне людське втручання: застосування робототехнічних комплексів дозволяє мінімізувати фізичне втручання людини в потенційно небезпечний простір, що є важливим для безпеки операторів;

- інновації у технологіях: використання штучного інтелекту, машинного навчання та автономних систем дозволяє робототехнологічним комплексам пристосовуватися до нових сценарій і поступово покращувати свою продуктивність з часом.

Спільна робота операторів і робототехнічних систем: розуміння важливості співпраця між операторами та робототехнічними системами при роботі з вибухонебезпечними об'єктами акцентує увагу на необхідності розвитку та впровадження робототехнологічних комплексів у гуманітарних операціях з розмінування. Це не лише покращить безпеку операторів, але також значно прискорить процес виявлення, ідентифікації та усунення вибухонебезпечних об'єктів, що допоможе зменшити ризик для життя людей і вирішити глобальні завдання гуманітарного розмунування.

### 1.3 Класифікація та основні види робототехнічних комплексів, призначення для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Робототехнічний комплекс – це інтегрована система роботів, сенсорів, алгоритмів керування, програмного забезпечення та інших технічних засобів, яка працює взаємодіючи для виконання конкретних завдань або функцій. Робототехнічні комплекси можуть бути призначені для використання в різних областях, таких як виробництво, медицина, автомобільна промисловість, гуманітарне розмінування, наукові дослідження тощо.

Ці комплекси включають в себе різноманітні компоненти, такі як механічні конструкції, сенсори для збору інформації з оточуючого середовища, системи керування для керування рухами та взаємодії, а також інші технічні складові.



Рисунок 1.3 – Класифікація роботів по типу механічної частини [11]

Класифікація РТК представлена на рис. 1.3. Для кращого розуміння

відмінностей між наведеними на класифікаторі типами механічних частин роботів нижче наведено короткі описи кожного їх виду:

- мобільні. Це роботи, принцип дії яких нерозривно пов'язаний з переміщенням у просторі, тобто із рухом. Переміщатися і рухатися можуть у різних фізичних середовищах. Можливе створення робототехнічних машин для переміщення по землі чи будь-якій твердій поверхні. А можуть створюватись і роботи для польотів у повітряному просторі або плаваючі у водному середовищі;
- 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 (рис. 1.4);

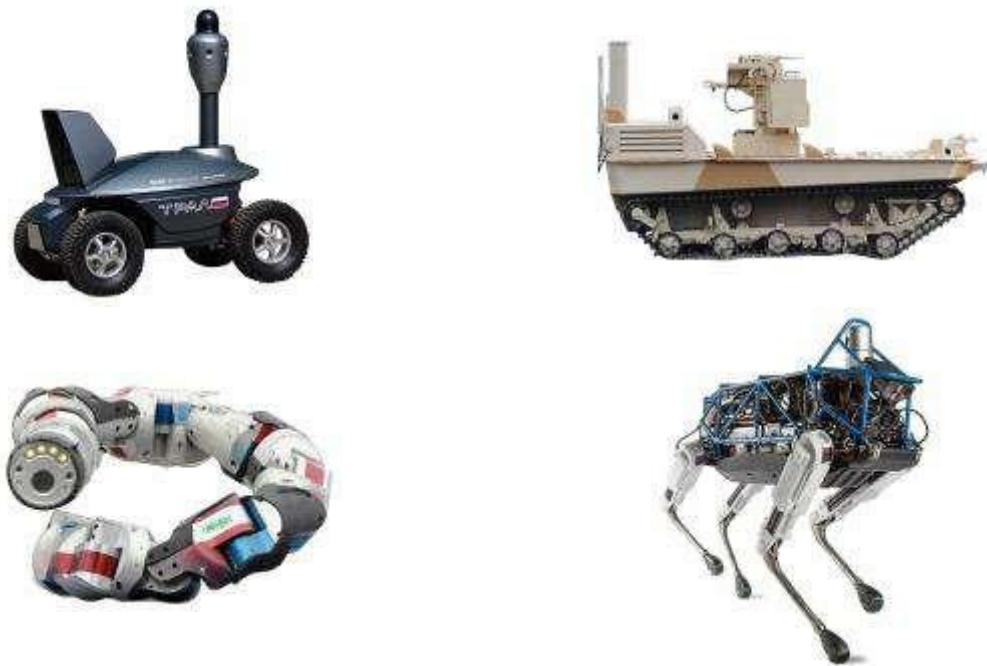


Рисунок 1.4 – Види наземних роботів

- повітряні (рис. 1.5). До цієї категорії відносяться всі літаючі роботи. Літати можуть по-різному: як літак чи як гелікоптер. Роботи гелікоптерного типу називають коптерами. Вони мають 4 або більше гвинтів, можуть злітати та приземлятись вертикально. Ця здатність робить їх застосування дуже

зручним, оскільки не потрібний великий майданчик для зльоту або посадки. Тому вони найпопулярніші;



Рисунок 1.5 – Повітряні роботи

– водні (рис. 1.6). Очевидно, що маються на увазі роботи, які призначені для плавання по воді або під водою. Перші представляють кораблі чи човни з автоматичним керуванням, а другі відносяться до класу підводних човнів чи батискафів. Дані машини є дуже спеціалізованими і досить рідкісними, порівняно з наземними чи навіть із повітряними роботами, так як покликані вирішувати дуже вузьке коло задач;



Рисунок 1.6 – Роботи що працюють у водній стихії

– маніпуляційні. Вперше вони стали використовуватися у промисловості ще у 60-х роках минулого століття. Вони суттєво відрізняються за принципом дії та конструкцією від мобільних роботів. Маніпуляційні роботи призначені для операцій по зміні просторового положення будь-яких предметів, таких як інструменти, деталі чи вузли інших машин. Вони стаціонарні, тобто встановлені в одному місці. Маніпуляції із предметами виконують щодо місця свого закріплення. Маніпуляційні роботи з'явилися і набули широкого поширення

саме на промислових виробництвах, оскільки там найпростіше створити умови для безпечної та ефективної роботи такого робота. В результаті за ними закріпилася назва «промисловий робот». На рис. 1.7 показані основні види маніпуляційних роботів, які визначаються системами координат, що використовуються для керування положенням маніпулятора;

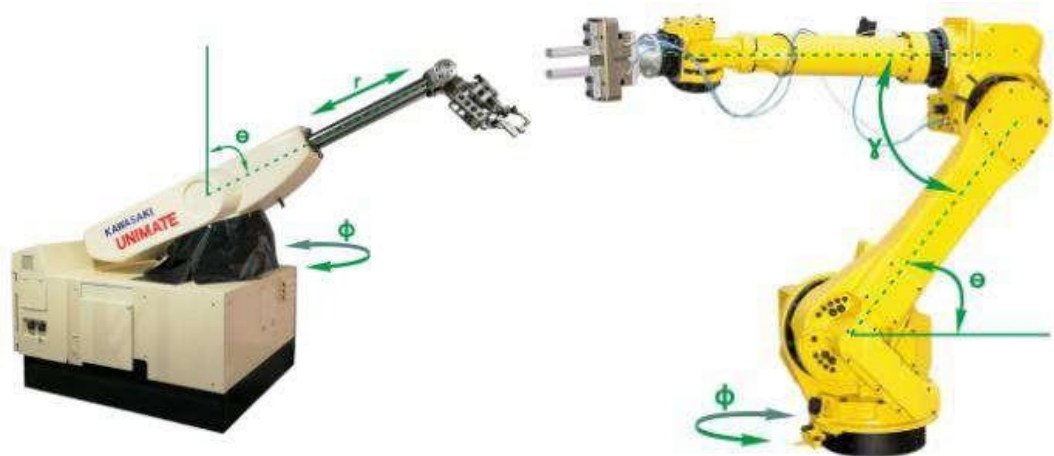


Рисунок 1.7 – Приклади конструкцій роботів-маніпуляторів, що працюють у різних системах координат

– мобільно-маніпуляційні. Ці роботи являють собою комбінацію маніпуляційних та мобільних роботів. Мобільна платформа пропонує необмежений робочий простір маніпулятора. Додаткові ступені свободи мобільної платформи надають користувачеві більше можливостей. Проте робота такої системи складна через багато ступенів свободи та неструктурованість середовища, в якому вона працює. На даний момент мобільна маніпуляція є предметом серйозної уваги в галузі розробки та досліджень, а мобільні маніпулятори, автономні або дистанційні, використовуються в багатьох галузях, таких як космічні дослідження, військові операції, догляд та медичне обслуговування. Однак у промисловості впровадження мобільних маніпуляторів було обмежено, хоча потреби в інтелектуальній та гнучкій автоматизації присутні. Крім того, необхідні апаратні рішення (мобільні платформи, маніпулятори роботів, зір та

інструменти) зараз доступні готовими компонентами для вирішення тих чи інших завдань. Приклад мобільно-маніпуляційних роботів наведено на рисунку 1.8 [11].



Рисунок 1.8 – Мобільно-маніпуляційні роботи  
Robotnik Automation [11]

Основні функції робототехнічних комплексів в гуманітарному розмінуванні:

- виявлення ВВП. Здатність, використання сучасних сенсорів для точного виявлення вибухонебезпечних предметів навіть в ускладнених умовах;
- ідентифікація ВВП. Здатність, аналіз характеристик виявлених об'єктів для правильної класифікації та ідентифікації;
- знешкодження ВВП. Здатність, застосування ручних маніпуляторів або автоматизованих систем для безпечного усунення вибухонебезпечних об'єктів;
- картографування територій. Здатність, використання даних від дронів для створення карт розташування вибухонебезпечних об'єктів;
- співпраця та управління. Здатність, взаємодія різних компонентів системи для ефективного та безпечного проведення операцій гуманітарного розмінування.

Ці види робототехнічних комплексів спільно вирішують проблему гуманітарного розмінування, забезпечуючи не лише безпеку для операторів, але й

ефективність виявлення, ідентифікації та усунення вибухонебезпечних об'єктів на постраждалих територіях.

#### 1.4 Постановка завдань досліджень для дипломної роботи

Завданням роботи є удосконалення апаратного модуля для пошуку вибухонебезпечних предметів в рамках робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування. Для досягнення цієї мети планується вирішити наступні конкретні завдання:

- розробка алгоритму виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП). Створення та реалізація ефективного алгоритму для виявлення ВНП, з урахуванням різних умов і характеристик території;
- аналіз побудови РКВП. Створення загального вигляду РКВП, та підбір функціонально пов'язаних елементів;
- оптимізація РКВП. Проведення досліджень та оптимізація робототехнічного комплексу з метою поліпшення мобільності та зручності;
- аналіз ефективності розробленого модуля. Провести комплексний аналіз ефективності розробленого апаратного модуля, включаючи визначення його точності виявлення та швидкості реакції.

Ці завдання складають основний план досліджень для цієї дипломної роботи, і їх мета – створення технологічного апаратного модуля високого рівня для робототехнічних комплексів гуманітарного розмінування. Метою цього проекту є покращення ефективності та безпеки операцій у даному напрямку.

#### 1.5 Висновки до першого розділу

В даному розділі роботи був проведений аналіз сучасного стану розробки робототехнічних комплексів для гуманітарного розмінування. Розглянута

проблематика гуманітарного розмінування, визначено актуальність використання робототехнічних комплексів. Також наведена класифікація та види робототехнічних комплексів.

Основні завдання цього розділу визначають напрямки дослідження, спрямовані на вдосконалення апаратного модуля для гуманітарного розмінування:

– необхідно застосувати робототехнічний комплекс, який включає такі вимоги:

- досить міцна конструкція, здатна витримати непередбачені умови;
- мобільність, за для маневрування між ВВП;
- простота управління;
- низька вартість;
- компактність, для зручності перевезення;
- середня потужність, для подолання перешкод;
- невелика вага.

## 2 МЕТОДИКА РОЗРОБКИ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ПОШУКУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

### 2.1 Порівняльний аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів

Робототехнічний комплекс – це інтегрована система, що включає в себе механічні, електронні, програмні та інші компоненти, спроектовані для автоматизації та виконання різноманітних завдань у робочому оточенні. Робототехнічний комплекс може бути оснащений роботами, сенсорами, системами управління та комунікації, які дозволяють йому взаємодіяти з оточенням та виконувати завдання в режимі автономності або за дистанційним керуванням.

Створення РТК потребує суттєвого опрацювання ядра найважливіших технологій, які необхідні для створення всієї номенклатури перспективних РТК. При цьому типовий зразок РТК може бути представлений у вигляді сукупності функціонально пов'язаних елементів. Зокрема:

- базовий носій – це може бути мобільна платформа, шасі чи корпус будь-якої конфігурації, призначені до застосування у різних середовищах;
- спеціалізоване навісне (вбудоване) обладнання у вигляді набору знімних модулів корисного (цільового) призначення;
- засоби забезпечення та обслуговування, що використовуються при підготовці до застосування та технічної експлуатації робота.

Склад спеціалізованого обладнання встановлюється, виходячи з функціонального призначення РТК і може включати [12]:

- засоби розвідки;
- засоби озброєння;
- навігаційні пристрої;
- спеціальне технологічне обладнання;
- засоби телекомунікації;

- спеціалізовані обчислювачі та контролери із програмно-алгоритмічним забезпеченням;
- засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ);
- захисні засоби.

Крім цього, РТК потребують забезпечення та обслуговування, тобто до складу комплексу додатково включаються [12]:

- пункт управління, контролю та обробки інформації;
- засоби доставки, транспортування та запуску;
- засоби спорядження, заправки та зарядки;
- засоби підготовки фахівців;
- комплект керівних документів;
- комплект запасного приладдя [13].

Прикладом для розгляду може бути робототехнічний комплекс спеціального призначення для розмінування сучасний робот DIGITAL VANGUARD-S (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Сучасний робототехнічний комплекс спеціального призначення для розмінування DIGITAL VANGUARD-S

Проведемо порівняльний аналіз систем виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних об'єктів. Сучасні методи та детектори виявлення вибухонебезпечних предметів наведені у таблиці 2.1. Проблеми, які виникають при

застосуванні цих методів – це питання безпеки та зниження часових та матеріальних витрат на розмінування. Інші вимоги: кліматичні, ефективність роботи в темний час доби та у несприятливих погодних умовах, стійкість до механічних впливів, електромагнітна сумісність тощо.

Таблиця 2.1 – Існуючі методи виявлення ВНП в наш час [19]

Метод	Детектори та обладнання для виявлення ВНП
Електромагнітний	Металошукач
	Радіолокатор
	Електричний імпедансний томограф
	Радіометр на міліметрових хвилях
	Мікрохвильовий радіометр
	Інфрачервоний спектроскоп
Оптичний метод	Лідар – детектор отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем
Ядерно-фізичний	Детектори нейтронного випромінювання
	Ядерний квадрупольний резонанс
Акустичний	Детектори акустичних та сейсмічних хвиль
	Детектори звукових та ультразвукових хвиль
Механічний	Інженерні машини для виявлення та підриву мін і вибухових пристроїв
	Щупи
Газоаналітичний	Газоаналізатори та детектори парів вибухових речовин
Теплофізичний	Тепловізори

Нижче у табл. 2.2 зображено властивості методів виявлення ВНП, такі як: проникна здатність, темп пошуку, та тип вибухонебезпечних предметів для пошуку.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики методів виявлення ВНП

Метод виявлення ВНП	Тип системи	Проникна здатність	Темп пошуку	Тип ВНП
Механічне зондування ґрунту	активні системи	поверхня ґрунту	100-150 м/ч	Всі типи ВНП
Оптичний метод виявлення	активні системи	поверхня ґрунту	300-350 м/ч	Всі типи ВНП
Теплолокаційне метод виявлення	активні системи	поверхня ґрунту	100 м/ч	Всі типи ВНП
Електромагнітні методи виявлення	активні системи	поверхня ґрунту	300 м/ч	Всі типи ВНП
Контактний електричний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	200 м/ч	Всі типи ВНП
Магнітометричний метод виявлення	пасивні системи	до 1 м	100-150 м/ч	Феромагнітні ВНП
Індукційний метод виявлення	пасивні системи	до 0.1 м	100-150 м/ч	Металеві ВНП
Радіохвильовий метод виявлення	активні системи	до 0.1 м	400 м/ч	Всі типи ВНП
Радіолокаційне зондування середовищ	пасивні системи	до 1 м	300 м/ч	Всі типи ВНП
Газоаналітичний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	200 м/ч	Всі типи ВНП
Біофізичний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	200 м/ч	Всі типи ВНП
Ядерно-фізичний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	250 м/ч	Всі типи ВНП

Електромагнітний метод виявлення вибухонебезпечних предметів використовує властивості електромагнітного випромінювання та взаємодії електромагнітних полів з об'єктами для їхнього визначення та ідентифікації. Цей метод може бути застосований для виявлення різноманітних матеріалів, включаючи металеві та неметалеві об'єкти, які можуть бути вибухонебезпечними.

Прикладом найпоширеніших засобів для цього методу є металошукач (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Металошукач Garrett ACE 300i

Оптичний метод пошуку. Оптичне видиме випромінювання у більшості випадків (крім чистої річної або морської води) не проникає в покривне середовище. Однак виявлення прихованого об'єкта може відбуватися за явними ознаками – порушенням структури природного фону навколишнього середовища в місці розташування цього об'єкта (кольору рослинності або ґрунту, мікрорельєфу тощо). Фізично тут реалізується, як правило, контраст у коефіцієнтах відображення окремих хвиль оптичного випромінювання сонця або штучної підсвітки (елементами фонограми). Можливі методи пошуку при цьому: візуальний (у т.ч. з використанням мисливських засобів), багатоспектральний, фотографічний

(аерофотографічний), телевізійний, лазерний [13].

Приклад засобу оптичного метода використовують спеціальний детектор лідар (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Лідар

Акустичний метод виявлення вибухонебезпечних предметів базується на виявленні звукових хвиль, які виникають внаслідок різкого зміщення повітря або інших середовищ в результаті вибуху.

Основні принципи акустичного методу виявлення вибухонебезпечних предметів включають:

- захоплення звукових сигналів;
- аналіз звукових характеристик;
- використання алгоритмів визначення вибухів;
- мережеве підключення.

Засобами акустичного методу є такі детектори, як:

– детектори акустичних хвиль, які призначені для реєстрації та аналізу звукових хвиль у різних частотних діапазонах. Наприклад сучасна інтелектуальна система виявлення пострілів Gunshot Detection System (рис. 2.4);

– сейсмічні детектори котрі використовуються для виявлення та реєстрації коливань, що передаються через Землю. Наприклад сейсмічний детектор руйнівних заходів Louroe Electronics.



Рисунок 2.4 – Акустичний детектор вибухів та пострілів Gunshot Detection System

Механічний метод виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів базується на фізичних властивостях об'єктів та їхнього взаємодії з механічними системами.

Цей метод включає в себе такі засоби, як використання інженерних машини для виявлення та підриву мін і вибухових пристроїв (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – K600 Rhino, найсучасніша машина для розмінування

Теплофізичний метод виявлення. При встановленні будь-якого об'єкта в

ізолююче середовище неминує з'являється порушення його структури, перш за все в щільності, навіть при самому ретельному маскуванні. Виникає різниця в ступені теплового випромінювання маскувального шару, що покриває середовища, розташованого над об'єктом пошуку та рештою природного фону. Основними недоліками теплового методу, що ускладнюють його широке використання для виявлення малорозмірних об'єктів художнього процесу в покривних середовищах, є:

- значна кількість перешкод через неоднорідність верхнього шару ґрунту та рослинності;
- наявність порівняно більшого проміжку часу протягом доби (до 6...8 годин), в якому тепловий контакт між місцем установки заглибленого об'єкта та фоном відсутній;
- дорога вартість тепловізійної апаратури. Вартість "чуттєвих" зразків становить десятки тисяч доларів США і більше.

Для виявлення ВВП за допомогою теплофізичного методу використовують такі засоби, як тепловізори (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Двоканальний тепловізійно-телевізійний прилад

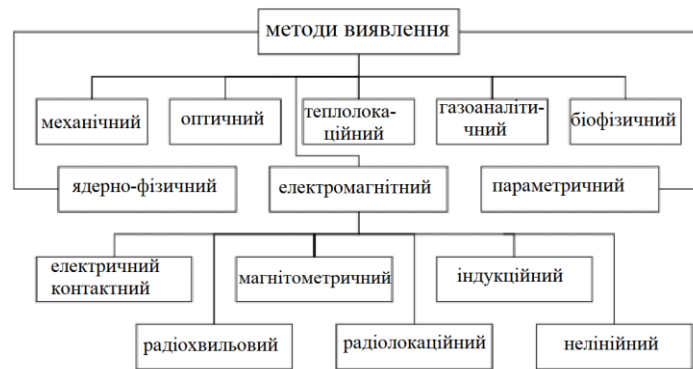


Рисунок 2.7 – Основні методи пошуку мін у середовищах, що вкривають вибухонебезпечні предмети

Нині у розробках найбільшого застосування знайшли такі методи: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплолокаційний та механічне зондування (рис. 2.7). Саме вони дозволяють створити польові технічні засоби мін та ВНП, придатні для гуманітарного розмінування. Тут головне – це питання безпеки та зниження витрат на розмінування. Інші вимоги: кліматичні, ефективності роботи у темний час доби, стійкості до ударних впливів, електромагнітної сумісності тощо – менш жорсткі, ніж для армійських міношукачів.

Таблиця 2.3 – Глибини розміщення у ґрунті ВНП та методи пошуку ВНП, які можуть бути застосовані

Глибина пошуку	Методи пошуку ВНП	Тип ВНП
Поверхня ґрунту	Електромагнітний, оптичний, газоаналітичний, механічний, теплофізичний, біологічний	Всі типи ВНП
До 0,1 м	Радіохвильовий	Всі типи ВНП
	Індукційний	Металеві ВНП
До 1 м	Короткоімпульсна радіолокація	Всі типи ВНП
	Магнітометричний	Феромагнітні ВНП

Табл. 2.3 характеризує глибини розміщення у ґрунті ВНП та безконтактні

методи пошуку та ідентифікації ВНП, які можуть бути застосовані. Виходячи із вищезазначеного, сформульовано наступні рекомендації щодо використання сучасних робото-технічних комплексів у гуманітарному розмінуванні.

Оскільки процеси, які реалізуються в ході гуманітарного розмінування об'єктів та місцевості, уявляють собою багатоетапну операцію, при цьому будь-який з етапів повинен бути максимально безпечним для персоналу та оточуючого середовища, слід реалізувати комплексний підхід щодо використання РТК для вирішення широкого переліку завдань, які передбачають використання різних за призначенням та принципами функціонування РТК та можуть включати наступні варіанти:

– РТК для проведення НТО та ТО територій, забруднених ВНП – робото-технічні комплекси наземного, надводного або повітряного тощо базування для отримання розвідувальних даних з використанням фотометричних, відеометричних, магнітометричних, термометричних, лідарних та інших методів і засобів обстеження без фізичного втручання в структуру об'єкту (території), що обстежується;

– РТК для проведення пошуку, ідентифікації, знешкодження та знищення ВНП, а також оцінювання якості розмінування – робото-технічні комплекси наземного, надводного, підводного або повітряного тощо базування для виконання комплексу робіт щодо пошуку і розпізнання ВНП з використання доступних або знову створених електронних баз даних та програмного забезпечення до них; знешкодження шляхом дистанційного відділення основного заряду ВНП та засобів його ініціювання або переведення ВНП в безпечний стан (у разі можливості); часткового або повного знищення ВНП шляхом доставки та дистанційного підриву зарядів вибухових речовин або засобів випалювання цих речовин тощо;

– РТК для фіксації місця знаходження потенційної небезпеки, наприклад, міни або ВНП, картографування та маркування територій, забруднених ВНП – робото-технічні засоби або навісне обладнання до них, спроможні здійснювати автоматичний або керований процес позиціонування знайдених, знешкоджених

або знищених ВВП, обстежених або очищених територій шляхом використання доступних або знову створених геоінформаційних технологій та засобів їх реалізації.

Враховуючи специфіку та конструктивні особливості окремих типів ВВП, їх призначення, порядок використання та просторове розташування після їх бойового застосування, що може характеризуватися наявністю різних демаскуючих ознак слід мати в наявності та обґрунтовано обирати для подальшого застосування засоби пошуку, знешкодження та знищення ВВП, побудовані на різних фізичних принципах, які наведені в таблиці 2.3. Як вже відмічалось, найбільшого застосування знайшли такі методи пошуку ВВП: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно- фізичні, теплофізичний та механічний (механічного зондування) [14].

Проаналізувавши всі методи для пошуку та виявлення ВВП було обрано метод нелінійної радіолокації для виявлення вибухонебезпечних предметів. Нижче запропонована математична модель пошуку та виявлення ВВП з методом нелінійної радіолокації носить імовірнісний характер, ґрунтується на показниках та критеріях сукупність яких представлена у вигляді структурно-логічної схеми (рис. 2.8).

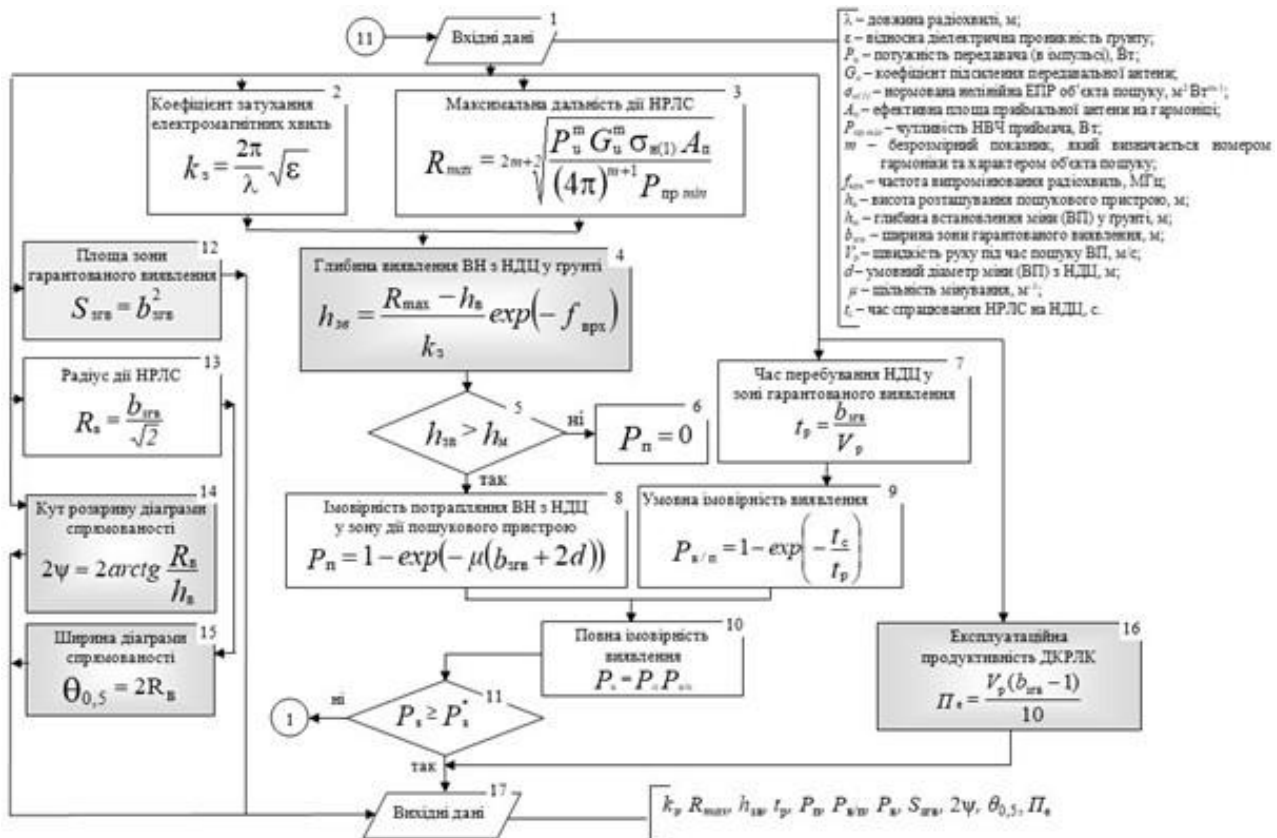


Рисунок 2.8 – Структурно-логічна схема математичної моделі виявлення ВВП з методом НРЛ [23]

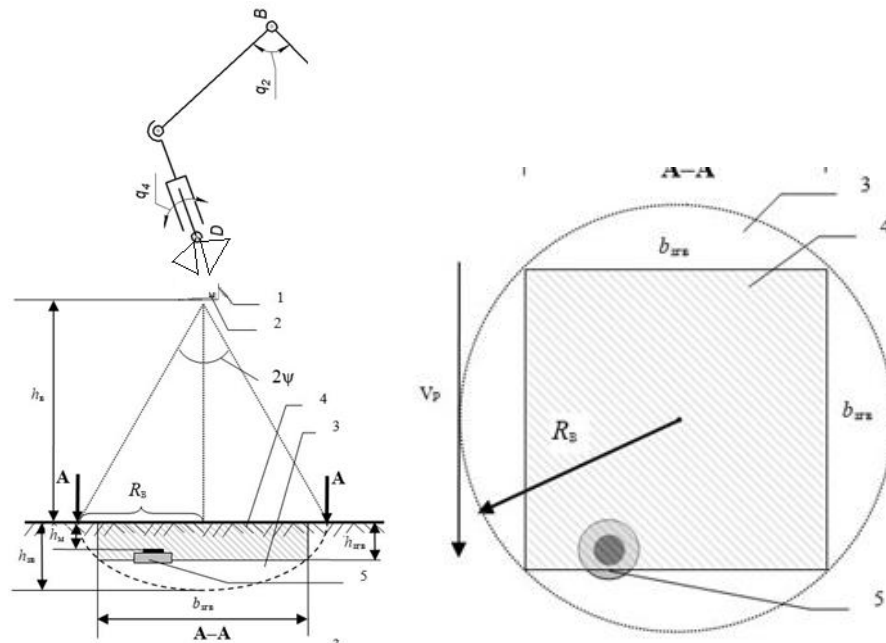
Математична модель методу НРЛ для виявлення та ідентифікації ВВП наведена у додатку А.

Для здійснення моделювання процесу пошуку та виявлення ВВП методом НРЛ дистанційно- керованим радіолокаційним комплексом представлено у вигляді розрахункової схеми пошуку та виявлення ВВП на основі методу НРЛ з використанням РКВП з антенною системою на кінці маніпулятора (рис. 2.9).

Для підвищення точності результатів моделювання досліджуваного процесу на основі аналізу розрахункової схеми введено нове поняття «зона гарантованого виявлення ВВП НРЛ» (рис. 2.9), під якою будемо розуміти прямокутну ділянку місцевості з площею

$$S_{зв} = b_{рл}^2, \tag{2.1}$$

яка повністю входить до площі  $S_{рл}$  сліду електромагнітного поля на поверхні укриваючого середовища під час її зондування [23].



- 1 – антенна система яка розміщена на маніпуляторі РКВП;
- 2 – пошуковий пристрій нелінійного радіолокатора;
- 3 – зона пошуку ВНП;
- 4 – зона гарантованого виявлення ВНП;
- 5 – вибухонебезпечний предмет

Рисунок 2.9 – Схема пошуку та виявлення ВНП на основі методу НРЛ [23]

На рис. 2.10 зображено удосконалену структурно-логічну модель перспективного пристрою НРЛ на дистанційному керованому пристрою.

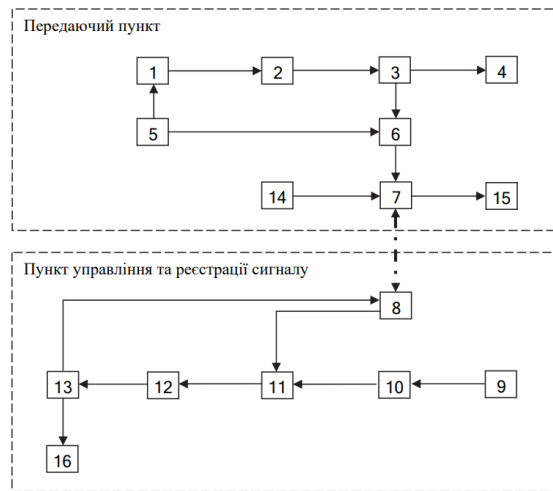


Рисунок 2.10 – Структурно-логічна модель пристрою НРЛ на ДКП [23]

Пристрій НРЛ на ДКП включає передаючий пункт, пункт управління і реєстрації сигналу, причому передаючий пункт містить передавач 1, блок фільтрації 2, спрямовуючий відгалужувач 3, випромінюючу антену 4, синхронізатор 5, формувач опорної напруги 6, блок передачі опорного сигналу 7, пункт управління і реєстрації сигналу містить блок прийому опорного сигналу 8, антену прийому гармонічних сигналів 9, фільтр гармонічних сигналів 10, приймач 11, блок обробки сигналу 12, блок відображення сигналу 13, передаючий пункт додатково містить блок навігації 14, пристрій маркування 15, пункт управління і реєстрації сигналу додатково містить блок відображення мінної обстановки 16 [22].

## 2.2 Конструкція робототехнічних комплексів для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Виявлення та знешкодження ВВП на територіях забруднених ВВП полях є важливою світовою проблемою у всьому світі. Наземні міни, касетні боєприпаси, вибухонебезпечні предмети (ВВП), саморобні вибухонебезпечні залишки війни та саморобні вибухові пристрої є довготривалою спадщиною конфлікту. Ці пристрої можуть залишатися активними протягом десятиліттями, вони не знають про переговори чи мирні договори і не розрізняють солдатів і цивільних осіб. Високої ефективності розмінування можна досягти лише завдяки

використанню нових технологій, таких як вдосконалені датчики, ефективні маніпулятори і мобільні роботи. Мобільні системи, оснащені маніпуляторами для виявлення і локалізації [15].

Як приклад для розглядання та покращення буде описано наземний роботизований комплекс з автономним живленням і системою дистанційного керування, призначений для роботи на закритих від прямого візуального спостереження позиціях на безпечному для людини віддаленні від місця проведення робіт. Комплекс може бути використано для:

- ліквідації або запобігання техногенних аварій;
- роботи з вибухонебезпечними предметами та речовинами;
- проведення хімічних, радіологічних та інших розвідок [15].

Комплекс у складеному стані розміщено на гусеничній платформі (рис. 2.11).

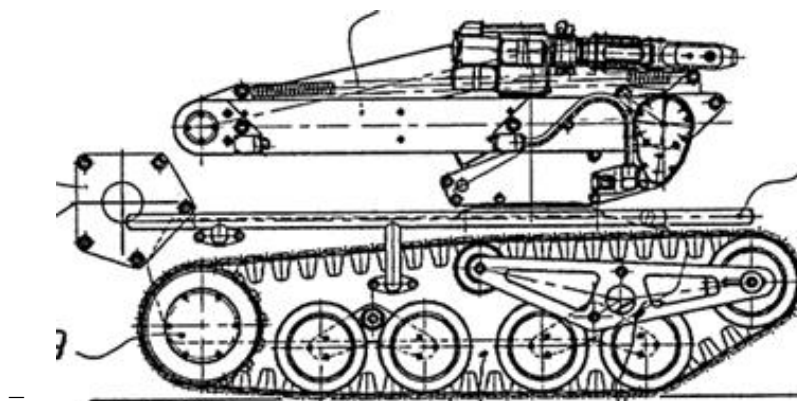


Рисунок 2.12 – Модель наземного робототехнічного комплексу у складеному стані

Так як, в цій роботі розглядаються робототехнічні комплекси для розмінування, то цей приклад ідеально підходить для розробки та покращення апаратного модуля пошуку вибухонебезпечних предметів робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування.

Комплекс, котрий розглядається в цій роботі призначений для роботи в екстремальних ситуаціях. Він включає гусеничне шасі з маніпулятором, з блоками управління і енергетичною установкою і пост дистанційного керування.

### 2.2.1 Несуча платформа

Несуча платформа в робототехнічному комплексі – це основна структурна частина, яка надає роботу стабільність, підтримує всі необхідні компоненти та обладнання, і служить підставою для рухливих частин робота. Несуча платформа є фундаментом, на якому встановлюється решта модулів та систем.

Несуча платформа є ключовим компонентом робототехнічних комплексів і визначає їхні характеристики, такі як маневреність, прохідність, швидкість, та стійкість на різних типах терену. Розглянемо декілька прикладів несучих платформ.

Гусеничний рушій має диференціальний механізм синхронної зміни величини кліренсу і геометрії гусеничних обводів, що включає в себе два бортових синхронізатора, які встановлені вздовж бортів корпусу гусеничного шасі всередині гусеничних обводів. Бортові синхронізатори закріплені шарнірно з можливістю поперечно-кутових переміщень у вертикальній площині з'єднані з корпусом гусеничного шасі. Також комплекс має поперечну траверсу з гумово-металевими шарнірами на кінцях, за допомогою яких бортові синхронізатори з'єднані між собою. В комплексі наявний центральний привід поступального руху, шток якого через проміжний важіль з'єднаний з поперечною траверсою, а сам привід з можливістю руху у вертикальній площині шарнірно з'єднаний з корпусом гусеничного шасі. Кожен бортовий синхронізатор складається з жорсткої просторової рами, що включає в себе паралельні рами, які з'єднані поперечними стяжками, і встановлені в головній частині просторової рами. На задньому кінці просторової рами знаходиться лінивець, який являє собою блок підтримувальних роликів. Рама в своїй нижній частині має нерухомо встановлені несе вал і асиметрично щодо осі несучого вала опорну вісь. Консольний кінець валу шарнірно з'єднаний з корпусом гусеничного шасі, а на опорній вісі шарнірно з можливістю поперечно-кутових переміщень у вертикальній площині встановлений кронштейн гусеничної рушія з опорними катками (рис. 2.13) [16].

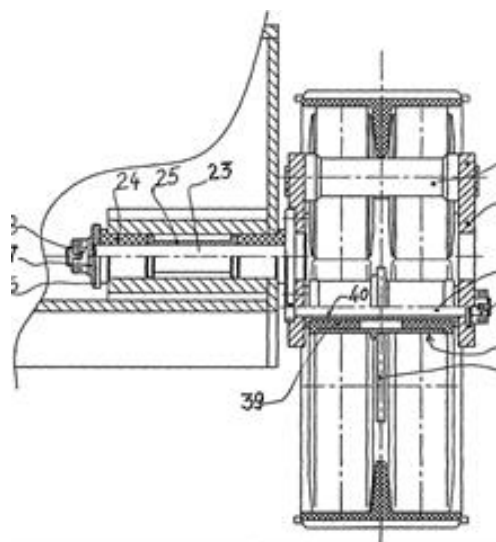


Рисунок 2.13 – Встановлення опорної вісі в корпусі гусеничного рушія [17]

Нижче представлені всі типи платформ та їх приклади, які можуть використовуватися в побудові робототехнічного комплексу.

Гусеничні платформи складаються з гусениць, що навколо коліс або барабанів, і дозволяють роботам подолати різноманітні перешкоди, такі як нерівності, пісок, сніг та багато інших.

До переваг таких платформ можна віднести високу прохідність у складних умовах, стійкість та надійність.

В наш час є декілька прикладів РКВП таких, як:

– Superdroid Robots «Mastif» (рис. 2.14), який зараз використовують в Україні. Робот-сапер проводить дистанційну розвідку місцевості на наявність певних видів боєприпасів. Його використовують для того, аби одразу не відправляти саперів на небезпечні ділянки [18];

– РКВП TALON (рис. 2.15), які були розроблені маленькою компанією з Массачусетса під назвою Foster-Miller, яка була заснована в США спеціально для виробництва військової робототехніки [19].



Рисунок 2.14 – Superdroid Robots "Mastiff" [18]



Рисунок 2.15 – Робот TALON [19]

Колісні платформи використовують колеса для руху та навігації. Це може бути вигідно в умовах рівної поверхні.

До переваг відносять велику швидкість на рівному ґрунті, менше енергоспоживання. До сучасного прикладу такої системи можна віднести робот Gladiator (рис. 2.16), гібридні, дизель-електричні 6-колісні транспортні засоби, що використовуються для проведення розвідки та надання вогневої допомоги [18].



Рисунок 2.16 – Робот Gladiator [18]

Гібридні платформи можуть використовувати комбінацію гусеничних та колісних, колісних та систем на кінцівках для оптимального руху в різних умовах.

Перевагою є поєднання властивостей гусеничних та колісних систем для більшої універсальності.

У окрему категорію можна виділити крокуючі роботи (роботи-собаки). Згідно ISO 8373:2012 «Robots and robotic devices – Vocabulary», крокуючий робот це робот, який здатний переміщуватися під власним управлінням на ногах, механізм яких, що складається з ланок, оснащених приводами для підтримки та його переміщення за рахунок зворотно-поступального руху і переривчастого контакту з поверхнею переміщення [16].

Сучасним прикладом може бути робот, який отримав назву ANYmal C (рис. 2.17), оптимізований для промислових інспекційних завдань, де він може забезпечити високу доступність, безпеку та надійність для автоматизованих рутинних перевірок за допомогою широкого спектру датчиків [17].



Рисунок 2.17 – Робот ANYmal C

Деякі роботи можуть мати ноги або кінцівки, що дозволяє їм подолати перешкоди, такі як сходи, або пристосуватися до нерівностей на землі.

Перевагами є можливість рухатися в обмежених просторах та подолання перепадів висоти.

Прикладом в наш час може слугувати робот Ghost Robotics Vision 60 Q-UGV (рис. 2.18), Q-UGV спроектовані таким чином, щоб забезпечити швидку адаптацію до нових умов за допомогою запатентованого ядра управління в сліпому режимі, яке імітує роботу ссавців у різних міських і природних умовах. Навіть якщо середовище абсолютно невідоме, датчики зору погіршуються або виходять з ладу, можна бути впевненим, що коли робот зазнає невдачі, послизнеться або впаде, він одразу ж підніметься і продовжить рух [18].



Рисунок 2.18 – Робот Ghost Robotics Vision 60 Q-UGV

Деякі роботи можуть бути обладнані плавучими пристроями для руху по воді чи інших вологих середовищах.

Перевагами є можливість використання в операціях на воді чи в умовах повені.

Сучасний приклад це підводний робот-змія Eelume (рис. 2.19), унікальний пристрій може працювати автономно під водою на глибині до 500 метрів тривалий час, а саме – 6 місяців. Довжина робота Eelume становить 6 метрів. Він оснащений високоякісними камерами й сенсорами. Крім того, робот-змія здатний проходити до 20 кілометрів на одному заряді [20].



Рисунок 2.19 – Підводний робот-змія Eelume

Аналіз вибору несучої платформи включає оцінку вимог до терену, маси робота, ефективності руху та інших факторів. Гнучкість у виборі несучої платформи дозволяє адаптувати робототехнічний комплекс до конкретних умов завдань гуманітарного розмінування.

### 2.2.2 Маніпулятори

Маніпулятор в робототехнічному комплексі – це механічна система або робочий орган, який призначений для виконання різноманітних завдань за допомогою рухомих частин та засобів керування. Маніпулятор може бути встановлений на несучій платформі робота і використовується для взаємодії з

навколишнім середовищем, обробки об'єктів, переміщення предметів або виконання інших завдань згідно з програмою або командами оператора.

Комплекс має в своєму складі маніпулятор, який в процесі роботи постійно змінює момент перекидання, зміщує центр мас, в залежності від вантажу, що піднімається змінює питомий тиск на опорну поверхню, що особливо проявляється при роботі в екстремальних ситуаціях.

При роботі комплексу його виконавчий орган розташовується в різних областях робочого простору (рис. 2.20).

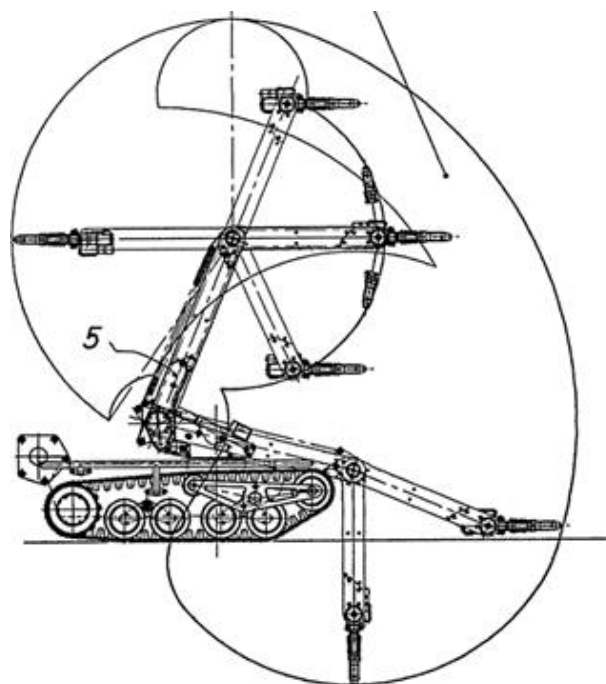


Рисунок 2.20 – Маніпулятор робототехнічного комплексу

На даний час існують такі види маніпуляторів для робототехнічних систем:

– ручні маніпулятори. Людина керує рухом маніпулятора за допомогою спеціального керування. Вони можуть бути використані для точного ручного розміщення сенсорів чи інших інструментів. Прикладом може бути звичайний джойстик від консолі Xbox (рис. 2.21) яким може керуватися робототехнічний комплекс;



Рисунок 2.21 – Ручний маніпулятор-джойстик Xbox

– механічні маніпулятори. Автоматизовані механічні пристрої, що використовуються для захоплення, піднімання та переміщення об'єктів. Вони можуть бути обладнані додатковими інструментами для взаємодії з вибухонебезпечними предметами, зразок див. рис. 2.22;



Рисунок 2.22 – Механічний маніпулятор Gripper Robotic Arm

– роботизовані кінцівки. Гнучкі роботизовані або маніпуляційні пристрої, які можуть здійснювати рухи, схожі на людські руки. Вони можуть використовуватися для взаємодії з різними об'єктами, включаючи вибухонебезпечні, наприклад кінцівка GripShape (рис. 2.23);



Рисунок 2.23 – Роботизована кінцівка GripShape

- гребінчасті маніпулятори. Маніпулятори з гребінчастою структурою, які можуть захоплювати та утримувати об'єкти різних форм і розмірів;
- спеціалізовані маніпулятори. Маніпулятори, розроблені спеціально для виявлення та усунення вибухонебезпечних об'єктів, можуть мати додаткові сенсори, камери або інші засоби для аналізу та маніпуляції.

Можливості цих маніпуляторів можуть варіювати від простих захоплювальних рухів до більш складних функцій, таких як взаємодія з вибухонебезпечними предметами, виявлення їхнього положення та відчуття ступеня небезпеки.

### 2.2.3 Система управління робототехнічних комплексів

Системи управління – це комплексні механізми та програми, які дозволяють керувати рухами та функціями робота. Ці системи можуть використовувати різноманітні підходи та методи, в залежності від типу робота та конкретних завдань.

РТК котрий ми розглядаємо має дистанційну систему керування, а саме систему командного керування, відноситься до роботів першого покоління, а також відноситься до класифікації «Людина в системі управління», що означає, що комплекс може самостійно виявляти цілі та здійснювати їх селекцію, проте рішення про їх знищення приймає тільки людина-оператор

Нижче на рис. 2.24 зображено основні типи управління роботами та їх класифікації.

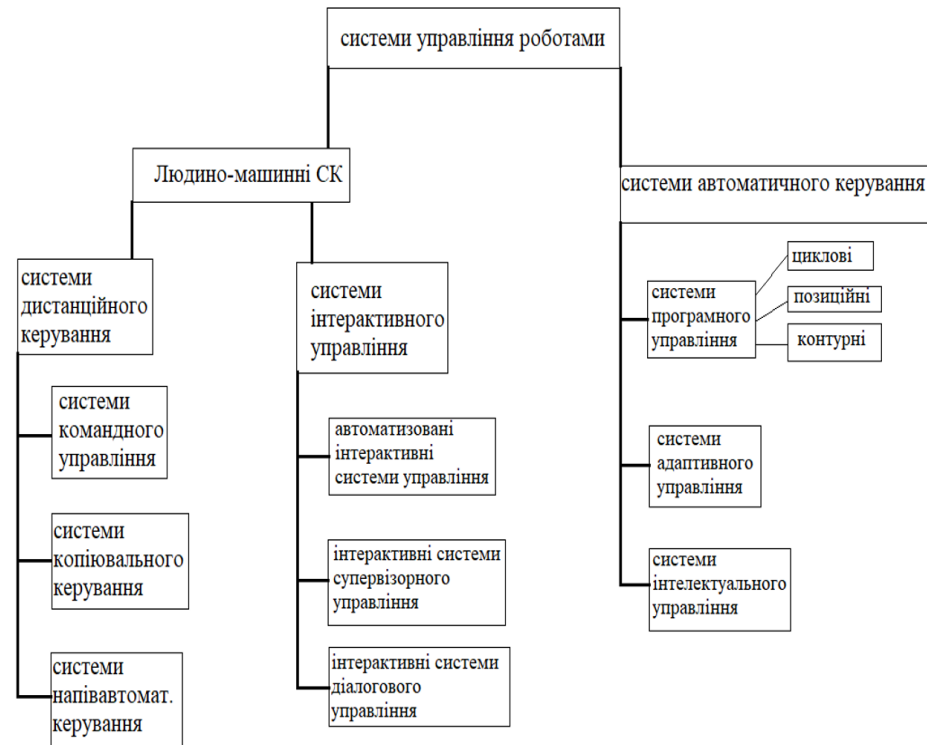


Рисунок 2.24 – Класифікація систем управління роботами

Різноманіття систем керування роботами можна групувати за різними ознаками, наприклад: за складом і типом вхідних пристроїв, показниками якості керування, видом траєкторії руху тощо. Однак є досить загальні ознаки, які принципово характеризують процес керування роботом. Насамперед це спосіб керування, який визначається залежно від ступеня участі оператора в управлінні роботом. За цією ознакою системи керування поділяють на два великі класи:

- людсько-машинні, до яких належать системи дистанційного та інтерактивного керування, що мають оператора безпосередньо в контурі керування;
- автоматичні, коли оператор залишається поза контуром управління і взаємодіє з роботом тільки на етапі навчання.

Іншою настільки ж важливою ознакою є метод керування, який можна застосувати для подальшої класифікації виділених класів.

Людсько-машинні системи дистанційного та інтерактивного керування роботами відповідно до методів керування поділяються на шість основних груп:

- системи командного керування, у яких оператор вмикає окремо приводи кожної ланки робота дистанційно шляхом натискання на відповідні кнопки (тумблери) пульта керування;
- системи копіювального керування, у яких оператор дистанційно керує роботом за допомогою задавального пристрою, кінематично подібного до виконавчого пристрою робота (рух кожної ланки задавального пристрою передають на відповідну ланку виконавчого пристрою за принципом слідкуючої системи);
- системи напівавтоматичного керування, в яких оператор, натискаючи на багатоступеневу керуючу рукоятку, задає бажаний рух захопленого пристрою, а спеціалізований обчислювач (ЕОМ) за електричними сигналами від датчиків рукоятки обчислює та формує відповідні сигнали керування для приводів усіх ступенів рухливості;
- автоматизовані інтерактивні системи управління, в яких тільки частина операцій виконується автоматично, а інші надані оператору;
- інтерактивні системи супервізорного управління, в яких оператор, що спостерігає по екрану (дисплею) обстановку в місці дії робота, подає окремі команди - цілевказівки, за сигналами від них вмикаються ті чи інші програми автоматичної дії робота;
- інтерактивні системи діалогового управління, що відрізняються від інтерактивних систем супервізорного управління тим, що робот не тільки виконує команди оператора, а й активно допомагає йому в розпізнаванні обстановки та ухваленні рішень.

Головна особливість систем автоматичного керування роботами - відсутність безпосередньої участі людини в процесі керування. Функція оператора полягає лише в навчанні, запуску і подальшому періодичному спостереженні за роботою робота.

Системи автоматичного керування відповідно до використовуваних методів керування поділяються на системи:

– програмного керування, основою яких є синтез руху робота за заздалегідь розрахованою переважно жорсткою програмою. Програма зберігається в пам'яті обчислювального пристрою і може бути змінена шляхом перепрограмування в новому циклі навчання робота. У системах програмного керування не передбачається відпрацювання інформації, що усуває невизначеність характеристик зовнішнього середовища, хоча інформація про внутрішній фазовий стан робота використовується в законі керування. Своєю чергою, системи програмного керування поділяються на циклові, позиційні та контурні;

– адаптивного управління, рух робота в яких організовується за програмами, що гнучко змінюються або коригуються. При цьому перебудова програм відбувається у відповідь на зміни умов зовнішнього середовища. Для отримання зовнішньої інформації адаптивні системи управління забезпечуються різноманітними засобами відчуття;

– інтелектуального керування, у яких програма руху робота взагалі не задається, а синтезується системою керування на основі опису зовнішнього середовища, сукупності правил можливої поведінки в середовищі та наявної цільової установки завдання.

Основна відмінність інтелектуальних систем керування від попередніх – здатність витягувати з даних не тільки інформацію, а ще й знання. Для цієї мети системи відчуття доповнюються системами розуміння (подання знань).

Класифікація РТК за ступенем їхньої залежності від оператора така:

– роботи 1-го покоління – це пристрої з програмним та дистанційним управлінням, здатні функціонувати тільки в організованому середовищі;

– роботи 2-го покоління – адаптивні, що мають синтетичні органи «чуття» та здатні функціонувати в заздалегідь невідомих умовах, та пристосовуватися до зміни ситуацій;

– роботи 3-го покоління – інтелектуальні, мають систему управління з елементами штучного інтелекту (створені поки лише у вигляді лабораторних макетів).

## 2.3 Висновки до другого розділу

У цьому розділі проведено аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів та представлено порівняльний огляд різних підходів. На основі цього аналізу було розглянуто склад спеціалізованого обладнання робототехнічних комплексів для ефективного пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Детально розглянуто роль та характеристики несучої платформи в робототехнічних комплексах гуманітарного розмінування. Наведено конкретний приклад РТК для детального розгляду та покращення, розглянуто його несучу платформу, маніпулятори та систему управління. Проаналізовано різні типи несучих платформ та їхні переваги та недоліки, наведено конкретні сучасні приклади.

Було розглянуто різні види маніпуляторів для робототехнічних комплексів та надано їх опис, також проведено огляд систем управління, надано їх види та опис.

### **3 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО МОДУЛЯ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ**

#### **3.1 Технології створення робототехнічного комплексу**

Технології створення робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування – це сукупність наукових, інженерних та технологічних розробок, спрямованих на створення комплексу роботів та супутнього обладнання для ефективного та безпечного виявлення, ідентифікації та нейтралізації вибухонебезпечних об'єктів на території, що підлягає розмінуванню. Ці технології включають в себе розробку апаратних та програмних засобів, сенсорів, механізмів маніпуляції, систем управління, а також методик та стратегій для безпечного взаємодії з вибухонебезпечними предметами. Мета таких технологій полягає в зменшенні ризиків для людей, які здійснюють розмінування, та в покращенні ефективності цього процесу.

Створення РКВП потребує опрацювання ядра критичних технологій, які необхідні для створення всієї номенклатури перспективних РКВП. При цьому типовий зразок РКВП може бути представлений у вигляді сукупності функціонально пов'язаних елементів. Зокрема [8]:

- базовий носій – це може бути мобільна платформа, шасі чи корпус будь-якої конфігурації, призначені до застосування у різних середовищах;
- спеціалізоване навісне (вбудовуване) обладнання у вигляді набору знімних модулів корисного (цільового) навантаження;
- засоби забезпечення та обслуговування, що використовуються при підготовці до застосування та технічної експлуатації робота.

Склад спеціалізованого обладнання встановлюється, виходячи з функціонального призначення РКВП і може включати:

- засоби розвідки;

- засоби озброєння;
- навігаційні пристрої;
- спеціальне технологічне обладнання;
- засоби телекомунікації;
- спеціалізовані обчислювачі та контролери із програмно-алгоритмічним забезпеченням;
- засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ);
- захисні засоби.

Крім цього, РКВП потребують забезпечення та обслуговування, тобто до складу комплексу додатково включаються [8]:

- пункт управління, контролю та обробки інформації;
- засоби доставки, транспортування та запуску;
- засоби спорядження, заправки та зарядки;
- засоби підготовки фахівців;
- комплект керівних документів;
- комплект запасного приладдя.

Таке уявлення типового РКВП дозволяє виділити технології для розробки перелічених елементів, на рис. 3.1 можна побачити види технологій створення робототехнічних систем.



Рисунок 3.1 – Види технологій створення робототехнічних комплексів

Критичні технології робототехніки можна декомпонувати на:

- основні, тобто розроблювані безпосередньо для робототехнічних комплексів;
- допоміжні – розроблювані для широкої номенклатури зразків озброєння та перспективи застосування під час створення РКВП.

Розглянемо детально деяких з основних технологій, їх аспекти та етапи.

Систем сприйняття та обробки сенсорної інформації, оцінки ситуації та планування поведінки. Ця технологія включає в себе ряд ключових етапів та інноваційних підходів:

- сприйняття сенсорної інформації;
- обробка та фільтрація даних;
- синтез інформації;
- оцінка ситуації;
- планування поведінки;
- системи управління.

Технологія автоматичного наведення та управління в робототехнічних комплексах (РТК) для гуманітарного розмінування включає ряд інноваційних підходів та систем для автоматизації процесів наведення на ціль та управління роботами. Основні елементи цієї технології включають:

- системи сенсорів та передатчиків даних;
- алгоритми наведення на ціль;
- інтеграція з іншими системами;
- автоматичне планування маршрутів;
- системи автоматичного управління;
- технології автономності;
- системи безпеки та захисту.

Технології дистанційного та автономного управління рухом включають такі аспекти:

- дистанційне управління;
- автономне управління;

- системи взаємодії та звітування;
- системи діагностики та обслуговування.

Технології автоматичного розпізнавання образів (цілей), аналізу ситуацій та динамічних сцен включають такі елементи:

- сенсори та датчики;
- алгоритми обробки зображень та відеоаналіз;
- аналіз динамічних сцен;
- аналіз та інтеграція інформації.

Що до технологій штучного інтелекту та навчання, то вони використовують такі підходи, як:

- машинне навчання для виявлення та розпізнавання;
- нейронні мережі для систем вирішення проблем;
- системи розпізнавання та вирішення проблем;
- інтеграція технологій штучного інтелекту.

Також розглянемо більш детально деякі допоміжні технології включаючи підходи їх розробки та основні аспекти.

Технологія автоматизованого керування для робототехнічних комплексів включає в себе використання різноманітних алгоритмів, систем та програм, які забезпечують автономну або напівавтономну роботу системи з мінімальною або ж відсутньою взаємодією з оператором. Основні аспекти цієї технології включають:

- системи сенсорів;
- алгоритм обробки та аналізу даних;
- машинне навчання та нейронні мережі;
- автономна навігація [19].

### 3.2 Архітектура та модель побудови апаратного модуля пошуку вибухонебезпечних предметів робототехнічного комплексу гуманітарного розмінування

Модель робототехнічного комплексу – це абстрактне представлення

структури, функцій, взаємозв'язків та властивостей робототехнічного системи. Ця модель може бути візуальною, математичною або комп'ютерною, і вона дозволяє аналізувати та вивчати характеристики роботи без необхідності в реальному фізичному присутності роботи. Моделювання робототехнічного комплексу допомагає у вирішенні проблем, пов'язаних з проектуванням, оптимізацією та тестуванням роботів перед їхнім фактичним створенням та експлуатацією.

Архітектура робототехнічного комплексу – це структурне та функціональне організування всіх компонентів та модулів, що входять в склад роботи, з метою досягнення визначених цілей і виконання завдань. Це включає в себе розподіл функцій, взаємодію між компонентами, архітектурні рішення щодо способу управління, навігації, сприйняття і взаємодії з навколишнім середовищем. Архітектура робототехнічного комплексу визначає спосіб, яким робот взаємодіє з навколишнім світом, виконує завдання та взаємодіє з оператором або іншими системами. Вона є основою для розробки, вдосконалення та управління роботами, забезпечуючи їхню ефективність і надійність у відповідності з поставленими завданнями.

До архітектури робототехнічного комплексу зазвичай входять такі елементи:

- модулі та компоненти. Робототехнічний комплекс може складатися з різних модулів та компонентів, таких як сенсори, актуатори, системи енергопостачання, обчислювальні блоки тощо;
- структура. Визначення фізичного розташування та взаємного з'єднання компонентів, включаючи конструкційні елементи та способи їх монтажу;
- взаємодія. Опис принципів взаємодії між різними компонентами та системами в межах робототехнічного комплексу;
- управління. Механізми та алгоритми для керування роботом, включаючи системи автономного керування або інтерфейси для взаємодії з оператором;
- комунікація. Способи передачі інформації між компонентами та зовнішніми системами;
- безпека, заходи для безпеки при використанні.

### 3.3 Опис технічного результату робототехнічного комплексу військового призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів

Як приклад можна взяти робот «TALON» (рис. 3.2) та для платформи можна взяти робота собаку Boston Dynamics (рис. 3.3) розробленого в США. Робот, здатний піднімати до 11 кг вантажів, працює від батареї та аналізує навколишнє оточення за допомогою лідарів.



Рисунок 3.2 – Дистанційно керована машина «TALON»

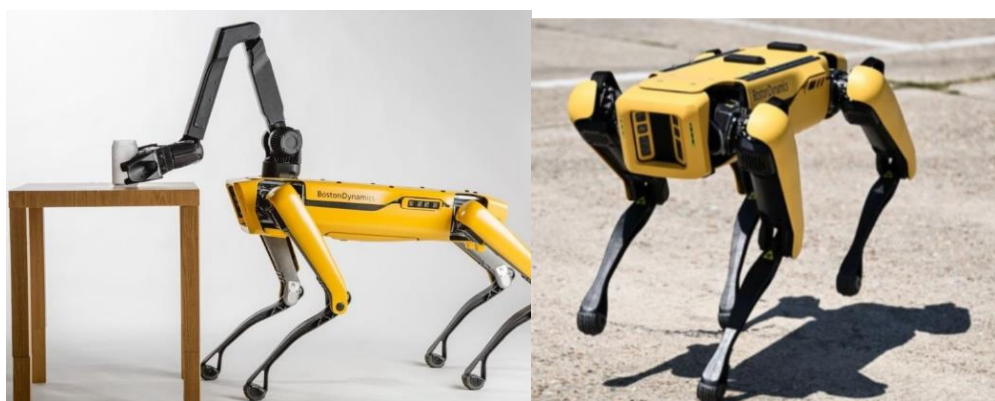


Рисунок 3.3 – Робот собака Boston Dynamics

Розробляти та оптимізувати архітектуру робототехнічного комплексу для розмінування пропонується на основі заміни платформи робота та використання методу виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою надширококутного радару та штучних нейронних мереж, а також методу нелінійної радіолокації.

Для покращення робототехнічного комплексу, який було розглянуто пропонується заміна платформи на робототехнічні кінцівки (рис. 3.4) робота собаки.

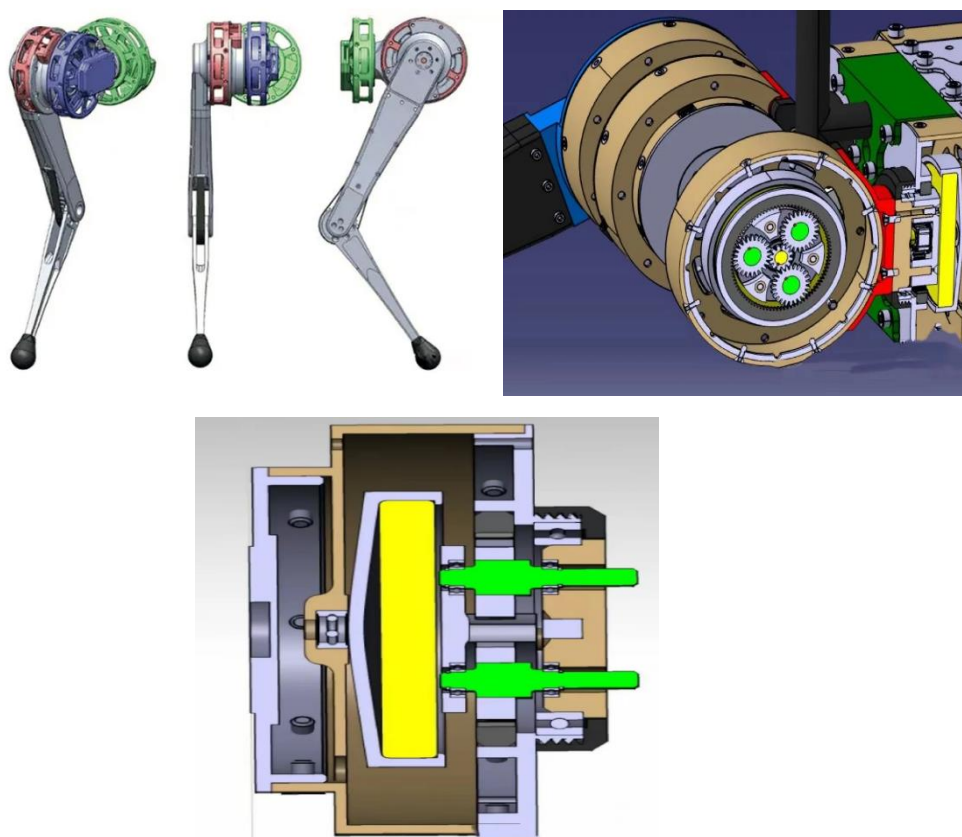


Рисунок 3.4 – Робототехнічна кінцівка

В цілому ідея використання крокуючих роботів розглядається багатьма дослідниками. Вибір конструкцій залежить від завдань, поставлених перед машиною, що крокує. Можливість застосування спрощеної конструкції, скорочення рухливості кінцівок, спрощення систем управління, забезпечення руху виникає у випадках, коли до робота не пред'явлено вимоги переміщення по

складним поверхням, у випадках, коли частину управління бере на себе оператор. В більш жорстких умовах, при необхідності діяти повністю або частково автономно і при заздалегідь невідомому стані опорної поверхні, робот повинен мати конструкцію з більшим ступенем рухливості кінцівок. Це призводить до необхідності побудови складної системи управління.

Конкретний рівень автоматизації управління рухом крокуючої машини залежить, від призначення машини і умов її застосування. Так інформаційні роботи, що працюють в екстремальних умовах, при заздалегідь невідомому рельєфі місцевості повинні використовувати складні бортові обчислювальні комплекси, а для технологічних крокуючих машин застосування таких систем не доцільно. Завданнями системи управління стає управління великим числом ступенів свободи, забезпечення необхідних кінематичних і динамічних параметрів крокуючих апаратів, а в разі автономних роботів додаються завдання навігації і орієнтації в просторі. Програмне забезпечення систем управління визначає властивості і характеристики крокуючих роботів. Висока невизначеність навколишньої обстановки обмежує можливість використання жорстких алгоритмів управління кінцівками. Очевидно, що до складу системи управління повинні входити пристрої визначення положення корпусу робота і його кінцівок в просторі, контролю опорної поверхні, оцінки та вибору маршруту руху, пристрої для розширення функціональності робота, виконання будь-яких сервісних функцій. найбільш перспективним рішенням є запозичення алгоритмів переміщення кінцівок у представників живої природи (комах, ссавців, членистоногих). Однак просте копіювання алгоритмів і траєкторій руху кінцівок недостатньо для того щоб забезпечити рух робота по складному рельєфу [19].

Крокуючі роботи можуть пересуватися по пересіченій місцевості, недоступній для звичайних колісних та гусеничних засобів. Заміна гусеничної платформи на платформу з кінцівками значно покращить такі характеристики робота, як:

- маневреність. Кінцівки можуть бути більш ефективними при подоланні нерівностей, перешкод та інших непередбачених умов, оскільки дозволяють робити більше маневрів;
- адаптація до різних умов. Платформи з кінцівками дозволяють роботам виконувати завдання, пов'язані з підніманням, перенесенням та взаємодією з різними об'єктами в навколишньому середовищі;
- легкість в навігації в просторі. Робототехнічні кінцівки можуть бути більш ефективними на різних покриттях, включаючи ґрунт, траву, камені та інші непередбачені поверхні, де гусениці можуть мати обмеження;
- прохідність. Кінцівки можуть бути корисними при подоланні перешкод, таких як камені, корені дерев чи ступінки, завдяки їхній здатності адаптуватися до різних форм та рельєфів;
- енергоефективність. Деякі конструкції кінцівок можуть бути енергоефективнішими при русі порівняно з гусеничними системами, особливо в рівних умовах;
- сенсорна взаємодія. Кінцівки можуть бути більш сприятливими для інтеграції сенсорів, таких як дотикові датчики, для більш точної взаємодії з оточуючим середовищем.

Оглядаючи всі ці переваги платформи з кінцівками буде доцільно використовувати саме такий тип платформи робототехнічної системи.

Для побудови конкретної платформи на кінцівках можна використати модель яку зображено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Платформа з кінцівками [20]

Ця модель складається з роботизованих металевих кінцівок (рис. 3.6) та основної платформи на яку встановлюються інші компоненти (рис. 3.7).

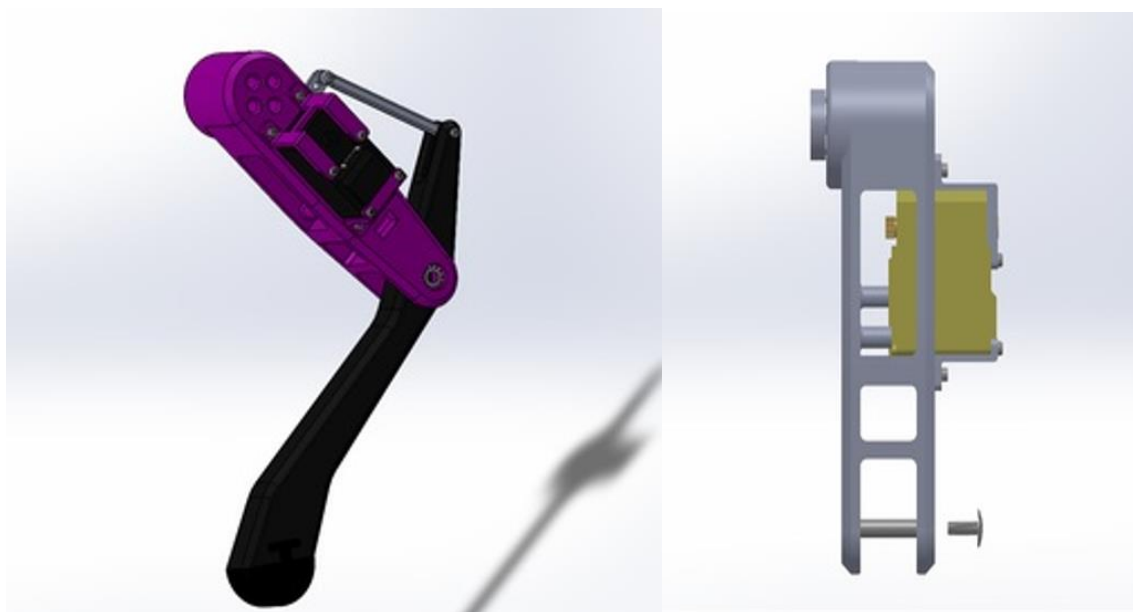


Рисунок 3.6 – Тривимірна модель кінцівки РТК [20]

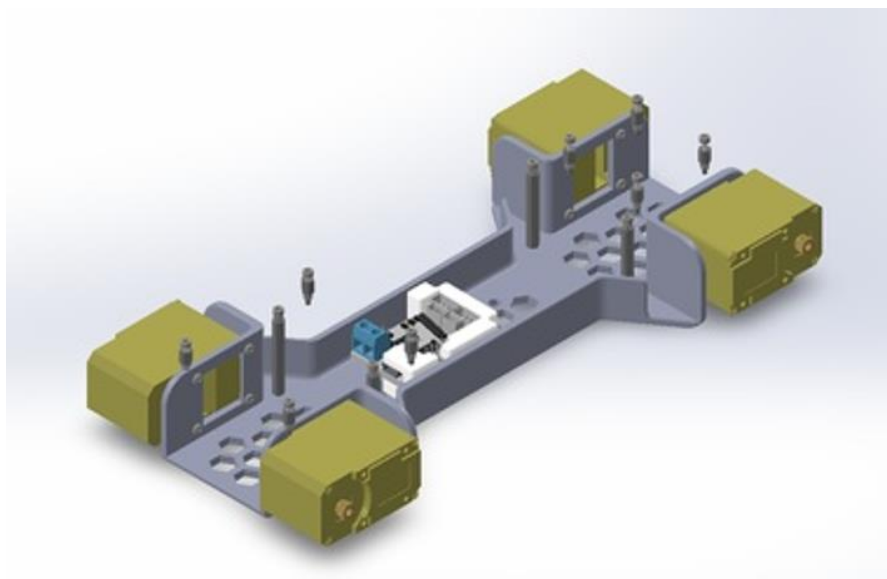


Рисунок 3.7 – Тривимірна модель основної платформи РТК [20]

Також для управління цією платформою можна використати два підключені мікроконтролери, Arduino Mega та Arduino Nano, які встановлюються на платформу робота (рис. 3.8).

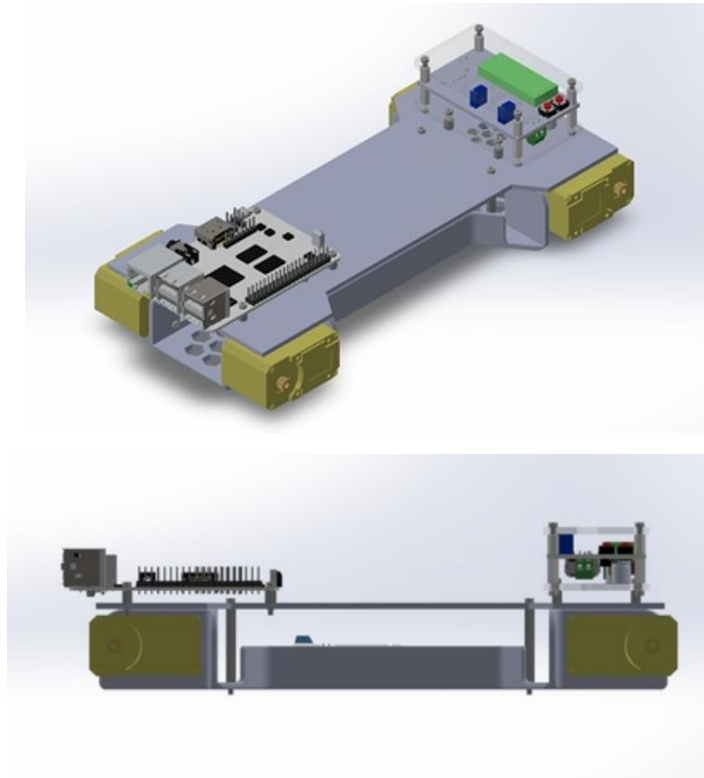


Рисунок 3.8 – Встановлення мікроконтролерів на платформу [20]

Arduino Mega підключена до таких компонентів:

- ШІМ-контролер дистанційний приймач PS2;
- двигуни MPU 6050;
- компоненти розподілу живлення для моніторингу напруги / сили струму акумулятора.

Arduino Nano керує наступними компонентами:

- ультразвукові датчики;
- RGB світлодіоди;
- елементи керування OLED та RGB [21].

Нижче представлені схеми до Arduino Mega та Arduino Nano (рис. 3.9).

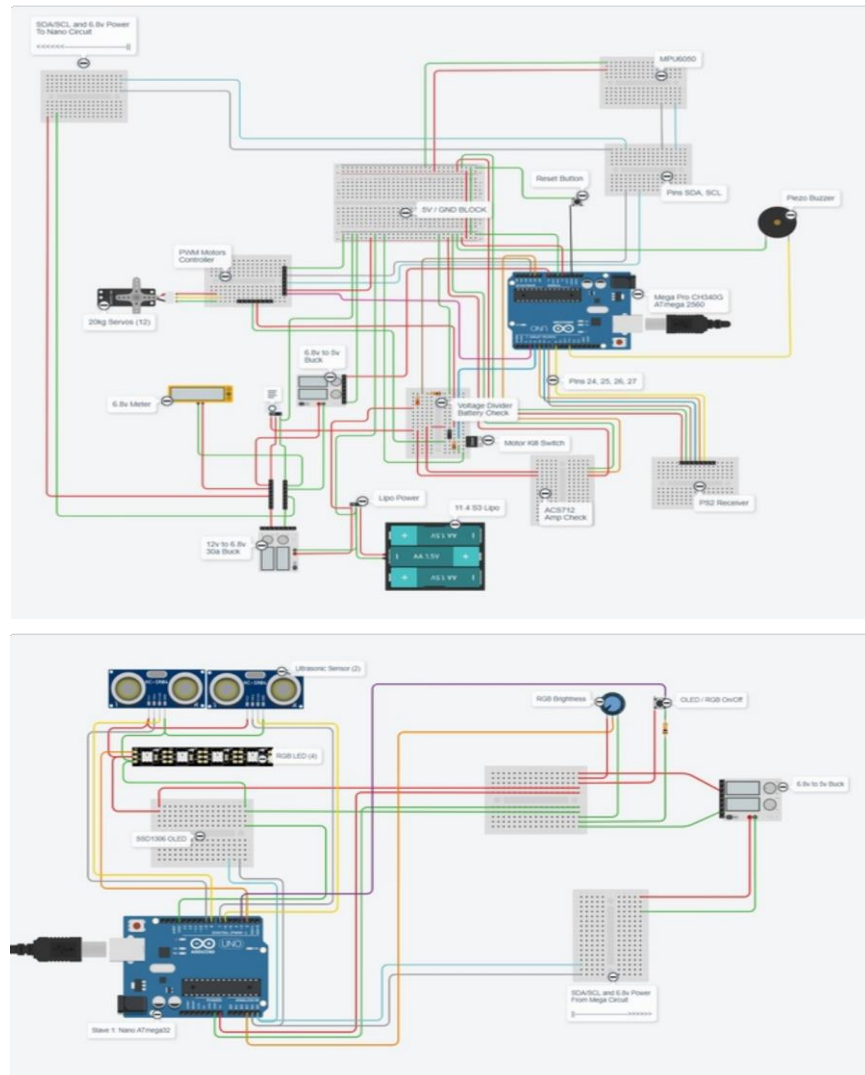


Рисунок 3.9 – Схеми Arduino Mega та Arduino Nano [21]

В якості системи керування РТК за приклад можна взяти стандартний пульт дистанційного керування (рис. 3.10) роботом серії SuperDroid Robots. Цей пульт міститься у футлярі, має вбудовані промислові джойстики та 12-дюймовий дисплей.



Рисунок 3.10 – Стандартний пульт дистанційного керування

Для пошуку ВВП пропонується використовувати надширокопasmовий (НШС) радар та штучні нейронні мережі (ШНМ). Пропонується встановити на маніпулятор зверху надширокопasmову (НШС) антенну систему, яка складається з п'яти антен.

НШС антена опромінює поверхню землі з діелектричною проникністю ґрунту  $\epsilon = 9$  та провідністю  $\sigma = 0,005$  См/м імпульсною електромагнітною хвилею з тривалістю 0,23 нс. Хвиля, відбита від компонентів приймальної антенної системи, наземних та підземних об'єктів, приймається чотирма антенами з різною орієнтацією поляризації. Особливе просторове розташування однакових антен дозволяє фіксувати відбиття хвилі від об'єктів, що досягають кожної антени в різні моменти часу, що вказує на напрямок приходу хвилі. Крім того, чим більше незалежних каналів прийому, тим стійкішим є процес класифікації. НШС антенна система “1Tx + 4Rx” (рис. 3.11), де 1Tx (центральна антена) є випромінювачем електромагнітних полів, а 4Rx (антени на краях) є приймачами відбитих хвиль [21].

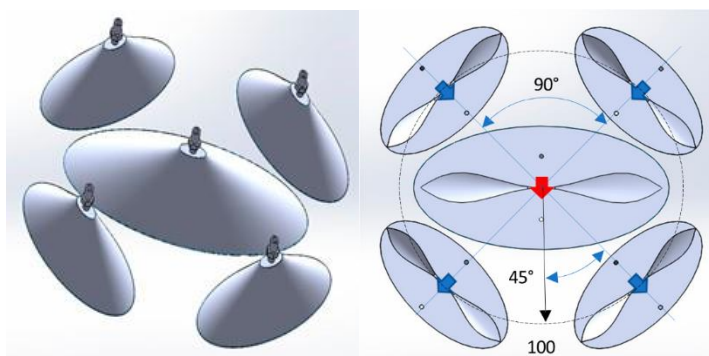


Рисунок 3.11 – НШС антенна система. Центральна антена – випромінювач електромагнітних полів, антени на краях – приймачі відбитого сигналу

Для навчання ШНМ слід збирати та готувати заздалегідь відому інформацію про зв'язок між вхідними даними та вихідними результатами розпізнавання. Це дозволяє отримувати правильні результати класифікації об'єктів для вхідних даних, які нейронна мережа раніше не бачила. Наприклад, вхідними даними можуть бути амплітуди поля, що сформовані відбитим імпульсом. Чим складніший об'єкт, який потрібно розпізнати, тим складніша ШНМ нам потрібна. Крім того, застосування ШНМ дозволяє зробити класифікацію об'єктів менш чутливою до впливу шуму в

прийнятих сигналах.

Чотири сигнали, отримані під час зондування земної поверхні, потребують попередньої обробки перед подачею на вхід ШНМ. Потрібно провести їх дискретизацію для отримання чотирьох часових залежностей із постійним кроком у часі, нормувати їх на квадратні корені від їхньої енергії  $E$  та сформувати єдиний сигнал, що складається з шести зшитих різницевого сигналів, про які піде мова далі. Цей результуючий сигнал – вхідний масив даних для навчання або тренування ШНМ. На рис. 3.12 показані нормовані амплітуди  $A$  чотирьох сигналів, прийнятих НШС антенною системою під час зондування. Слід зазначити, що антени мають різну орієнтацію площини поляризації, що допомагає отримати більше інформації від відбитої хвилі та дізнаватись про напрямок приходу сигналу [22].

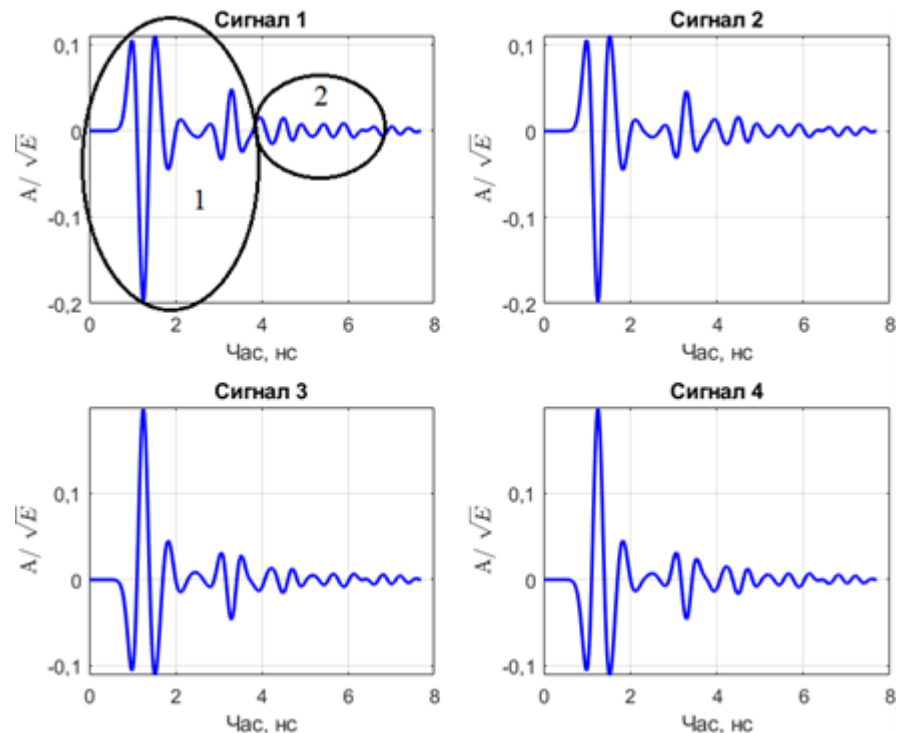


Рисунок 3.12 – Приклади сигналів, отриманих ШНС антенною системою, де 1 – взаємні відбиття від антенної системи, 2 – корисна частина сигналу, що містить інформацію про прихований об'єкт [22]

Тому для зменшення взаємного впливу антен пропонується використати різницеві сигнали, що являють собою сумування та віднімання сигналів, отриманих приймачами. Вибір операцій зумовлений нашим бажанням збільшити

вищезазначені низькоамплітудні компоненти отриманих даних. На рис. 3.12 показані шість необхідних комбінацій віднімання та додавання початкових сигналів, де  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  та  $S_4$ , відповідно є першим, другим, третім та четвертим прийнятими сигналами із рисунку 3.12. Можна помітити, що було виконано віднімання сигналів із однаковими знаками початкових моноімпульсів та додавання сигналів із протилежними знаками початкових моноімпульсів. Таким чином, отримано усі 6 можливих комбінацій. Результати операцій послідовно об'єднуються в єдиний масив даних, який посилається на вхідний шар ШНМ. Було вирішено використовувати повнозв'язну ШНМ, що має 7 шарів, де перший шар містить 4614 вхідних нейронів, що відповідає розмірності масиву зшитих даних. Наступні п'ять прихованих шарів мають по 4000 нейронів у кожному шарі. Вихідний шар має 65 нейронів, що відповідають всім об'єктам на всіх можливих змодельованих відстанях від опромінюючої установки, а також додатковий вихід для виявлення присутності або відсутності об'єкта в даній області.

Загальна кінематична модель маніпулятора представлена нижче на рисунку 3.13 та на рисунку 3.14

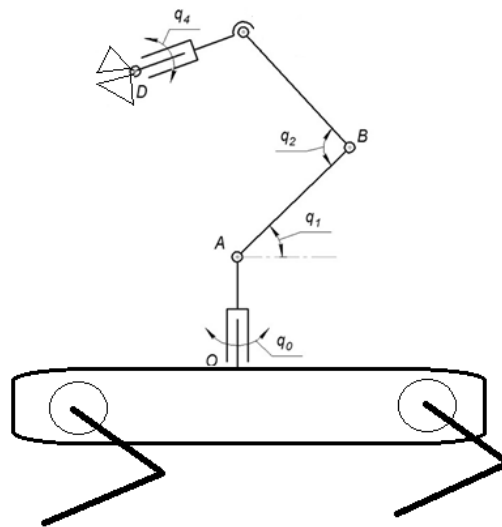


Рисунок 3.13 – Кінематична схема одиночного маніпулятора

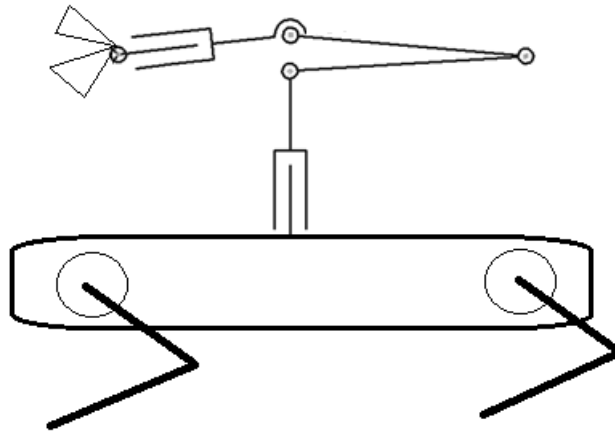


Рисунок 3.14 – Кінематична схема (маніпулятор у складеному стані)

Рука маніпулятор дає п'ять ступенів вільності для роботи антенної системи. Управління маніпулятором та зміна його положення відносно координат проводитиметься з пульта дистанційного керування в даних межах (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика керованих координат

Назва керованої координати	Діапазон значень, °	Максимальна кутова швидкість, °/с
$q_0$	-180..+180	30
$q_1$	0..180	40
$q_2$	0..360	40
$q_3$	0..180	40
$q_4$	0..360	40

Проведемо аналіз кінематики з точки зору мікропереміщень маніпулятора та макропереміщень. Щоб знайти макропереміщення вичислимо координати антенної системи маніпулятора відносно точки кріплення роботизовано руки. Введемо систему координат XYZ з центром в точці O, що зв'язана з платформою шасі. Механізм знаходиться в допоміжній площині ROZ (рис. 3.15), що повернута від площини XOY на кут  $q_0$ . Суглоби механізму послідовно позначені буквами A, B,

C, D. Визначимо проєкції цих точок на осі R та Z, а потім проєкцію відрізка OD на осі X та Y (рис. 3.16).

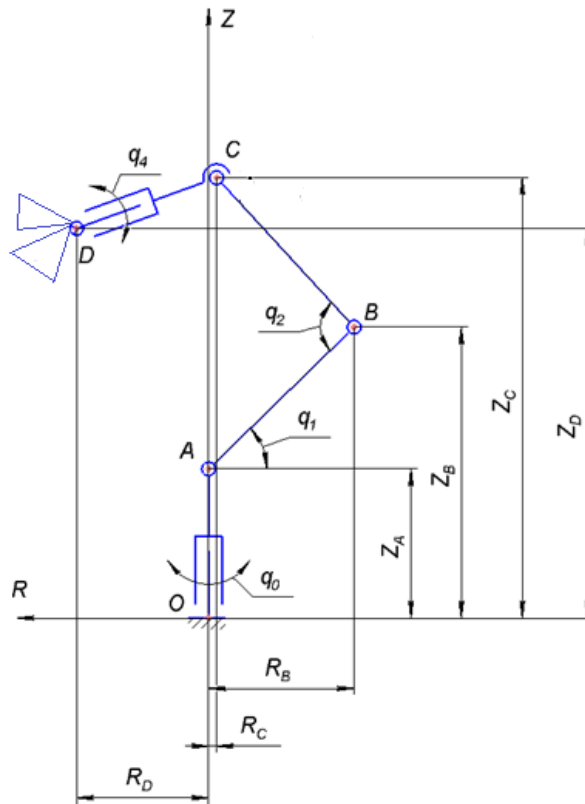


Рисунок 3.15 – Маніпулятор в площині ROZ

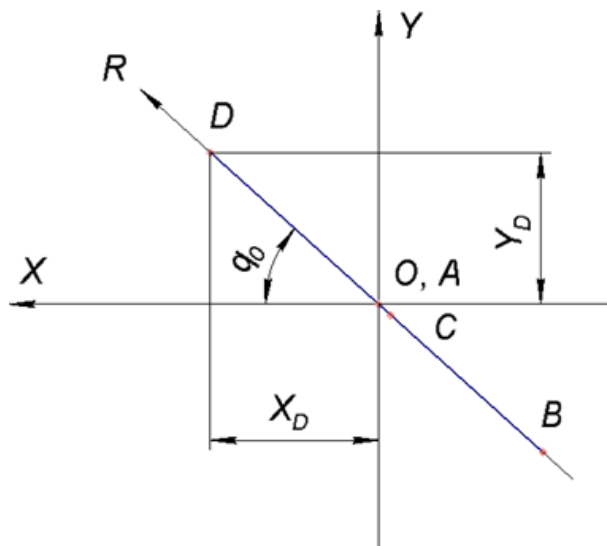


Рисунок 3.16 – Розміщення площини ROZ відносно осей X та Y

Розрахуємо проєкції шарнірів на вісь R:

$$R_A = 0, \quad (3.1)$$

$$R_B = -AB \cdot \cos q_1, \quad (3.2)$$

$$R_C = R_B + BC \cdot \cos(q_2 - q_1), \quad (3.3)$$

$$R_D = R_C + CD \cdot \cos(q_3 - q_2 + q_1). \quad (3.4)$$

Розрахуємо проекції шарнірів на вісь Z:

$$Z_A = OA, \quad (3.5)$$

$$Z_B = Z_A + AB \cdot \sin q_1, \quad (3.6)$$

$$Z_C = Z_B + BC \cdot \sin(q_2 - q_1), \quad (3.7)$$

$$Z_D = Z_C - CD \cdot \sin(q_3 - q_2 + q_1). \quad (3.8)$$

Розрахуємо проекцію відрізка OD на вісь X:

$$X_D = \cos q_0 \cdot R_D. \quad (3.9)$$

Розрахуємо проекції відрізка OD на вісь Y:

$$Y_D = \sin q_0 \cdot R_D. \quad (3.10)$$

отже формули для знаходження лінійних координат точки D (кріплення антенної системи) відносно платформи шасі будуть такими:

$$X_D = \cos q_0 (-AB \cdot \cos q_1 + BC \cdot \cos(q_2 - q_1) + CD \cdot \cos(q_3 - q_2 + q_1)), \quad (3.11)$$

$$Y_D = \sin q_0 (-AB \cdot \cos q_1 + BC \cdot \cos(q_2 - q_1) + CD \cdot \cos(q_3 - q_2 + q_1)), \quad (3.12)$$

$$Z_D = OA + AB \cdot \sin q_1 + BC \cdot \sin(q_2 - q_1) - CD \cdot \sin(q_3 - q_2 + q_1). \quad (3.13)$$

Прискорення і швидкості точки D знаходяться як похідні координати:

$$V_{X_D} = \frac{d X_D}{dt}, \quad (3.14)$$

$$V_{Y_D} = \frac{d Y_D}{dt}, \quad (3.15)$$

$$V_{Z_D} = \frac{d Z_D}{dt}, \quad (3.16)$$

$$a_{X_D} = \frac{d^2 X_D}{dt^2}, \quad (3.17)$$

$$a_{Y_D} = \frac{d^2 Y_D}{dt^2}, \quad (3.18)$$

$$a_{Z_D} = \frac{d^2 Z_D}{dt^2}. \quad (3.19)$$

Кутові координати D будуть такими:

$$\varphi_D = 180^\circ - \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(q_3 - q_2 + q_1)}{\sin q_0}\right), \quad (3.20)$$

$$\theta_D = -\arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(q_3 - q_2 + q_1)}{\cos q_0}\right), \quad (3.21)$$

$$\omega_D = q_0. \quad (3.22)$$

Щоб знайти значення координат треба задати закони зміни керованих координат. Типовими є синусоїдальна, лінійна залежність або сума декількох таких залежностей.

Щоб оцінити мікропереміщення будемо використовувати метод, який включає матрицю Якобі.

В прямій задачі кінематики координати кінця маніпулятора знаходяться за функціональною залежністю від величин керованих координат:

$$(x_i) = f[(q_i)], \quad (3.19)$$

де  $(x_i)$  – вектор лінійних та кутових координат вершин маніпулятора;

$(q_i)$  – вектор керованих координат.

$$(x_i) = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \varphi \\ \theta \\ \omega \end{bmatrix}; (q_i) = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix}. \quad (3.20)$$

Далі отримуємо формулу мікропереміщень за допущенням рівності диференціалів та малих приростів за допомогою диференціювання:

$$(\delta x_i) = (m_{ij}) \cdot (\delta q_j), \quad (3.21)$$

де  $(\delta x_i)$  – вектор приростів координат вершин маніпулятора;

$(\delta q_j)$  – вектор приростів у керованих координат;

$(m_{ij})$  – матриця Якобі.

$$(\delta x_i) = \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \\ \delta \varphi \\ \delta \theta \\ \delta \omega \end{bmatrix}; (\delta q_i) = \begin{bmatrix} \delta q_0 \\ \delta q_1 \\ \delta q_2 \\ \delta q_3 \\ \delta q_4 \end{bmatrix}, \quad (3.22)$$

$$(m_{ij}) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} & m_{35} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} & m_{45} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} & m_{55} \\ m_{61} & m_{62} & m_{63} & m_{64} & m_{65} \end{bmatrix}. \quad (3.23)$$

Значення матриці Якобі знаходимо за допомогою математичного пакету

MathCAD. Задаємо залежність кутових та лінійних координат точки D від величин керованих координат (рис. 3.17) [21].

$$X := \begin{bmatrix} \cos(q_0) \cdot (-AB \cdot \cos(q_1) + BC \cdot \cos(q_2 - q_1) + CD \cdot \cos(q_3 - q_2 + q_1)) \\ \sin(q_0) \cdot (-AB \cdot \cos(q_1) + BC \cdot \cos(q_2 - q_1) + CD \cdot \cos(q_3 - q_2 + q_1)) \\ OA + AB \cdot \sin(q_1) + BC \cdot \sin(q_2 - q_1) + -CD \cdot \sin(q_3 - q_2 + q_1) \\ 180 - \operatorname{atan}\left(\frac{\tan(q_3 - q_2 + q_1)}{\sin(q_0)}\right) \\ -\operatorname{atan}\left(\frac{\tan(q_3 - q_2 + q_1)}{\cos(q_0)}\right) \\ q_0 \end{bmatrix}$$

Рисунок 3.17 – Задана залежність кутових та лінійних координат точки D від величин керованих координат (формула з MathCAD) [23]

Задаємо формулу матриці Якобі як матрицю відповідних похідних (рис. 3.18).

$$\begin{pmatrix} \frac{d}{dq_0} X_0 & \frac{d}{dq_1} X_0 & \frac{d}{dq_2} X_0 & \frac{d}{dq_3} X_0 & \frac{d}{dq_4} X_0 \\ \frac{d}{dq_0} X_1 & \frac{d}{dq_1} X_1 & \frac{d}{dq_2} X_1 & \frac{d}{dq_3} X_1 & \frac{d}{dq_4} X_1 \\ \frac{d}{dq_0} X_2 & \frac{d}{dq_1} X_2 & \frac{d}{dq_2} X_2 & \frac{d}{dq_3} X_2 & \frac{d}{dq_4} X_2 \\ \frac{d}{dq_0} X_3 & \frac{d}{dq_1} X_3 & \frac{d}{dq_2} X_3 & \frac{d}{dq_3} X_3 & \frac{d}{dq_4} X_3 \\ \frac{d}{dq_0} X_4 & \frac{d}{dq_1} X_4 & \frac{d}{dq_2} X_4 & \frac{d}{dq_3} X_4 & \frac{d}{dq_4} X_4 \\ \frac{d}{dq_0} X_5 & \frac{d}{dq_1} X_5 & \frac{d}{dq_2} X_5 & \frac{d}{dq_3} X_5 & \frac{d}{dq_4} X_5 \end{pmatrix} \rightarrow$$

Рисунок 3.18 – Задана формула матриці Якобі як матриця відповідних похідних (формула з MathCAD) [23]

В результаті отримуємо матрицю результат розрахунків. Конкретні значення мікропереміщень можна знайти, підставивши закони зміни керованих координат (рис. 3.19).

$$\begin{array}{c}
 \left[ \begin{array}{c|c}
 \begin{array}{l}
 -\sin(q_0) \cdot (CD \cdot \cos(q_1 - q_2 + q_3) - AB \cdot \cos(q_1) + BC \cdot \cos(q_2 - q_1)) \\
 \cos(q_0) \cdot (CD \cdot \cos(q_1 - q_2 + q_3) - AB \cdot \cos(q_1) + BC \cdot \cos(q_2 - q_1)) \\
 0
 \end{array} & \begin{array}{l}
 \cos(q_0) \cdot (AB \cdot \sin(q_1) - CD \cdot \sin(q_1 - q_2 + q_3) + BC \cdot \sin(q_2 - q_1)) \\
 \sin(q_0) \cdot (AB \cdot \sin(q_1) - CD \cdot \sin(q_1 - q_2 + q_3) + BC \cdot \sin(q_2 - q_1)) \\
 AB \cdot \cos(q_1) - CD \cdot \cos(q_1 - q_2 + q_3) - BC \cdot \cos(q_2 - q_1)
 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{l}
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3) \cdot \cos(q_0)}{\sin(q_0)^2 \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\sin(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3) \cdot \sin(q_0)}{\cos(q_0)^2 \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\cos(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 1
 \end{array} & \begin{array}{l}
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2 + 1}{\sin(q_0) \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\sin(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2 + 1}{\cos(q_0) \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\cos(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 0
 \end{array}
 \end{array} \right] \\
 \\
 \left[ \begin{array}{c|c|c}
 \begin{array}{l}
 \cos(q_0) \cdot (CD \cdot \sin(q_1 - q_2 + q_3) - BC \cdot \sin(q_2 - q_1)) \\
 \sin(q_0) \cdot (CD \cdot \sin(q_1 - q_2 + q_3) - BC \cdot \sin(q_2 - q_1)) \\
 CD \cdot \cos(q_1 - q_2 + q_3) + BC \cdot \cos(q_2 - q_1)
 \end{array} & \begin{array}{l}
 -CD \cdot \sin(q_1 - q_2 + q_3) \cdot \cos(q_0) \\
 -CD \cdot \sin(q_1 - q_2 + q_3) \cdot \sin(q_0) \\
 -CD \cdot \cos(q_1 - q_2 + q_3)
 \end{array} & \begin{array}{l}
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{l}
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2 + 1}{\sin(q_0) \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\sin(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2 + 1}{\cos(q_0) \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\cos(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 0
 \end{array} & \begin{array}{l}
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2 + 1}{\sin(q_0) \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\sin(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2 + 1}{\cos(q_0) \left( \frac{\tan(q_1 - q_2 + q_3)^2}{\cos(q_0)^2} + 1 \right)} \\
 0
 \end{array} & \begin{array}{l}
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{array}
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Рисунок 3.19 – Матриця результат розрахунків (формула з MathCAD) [23]

### 3.4 Висновки до третього розділу

У даному розділі було змодельовано робототехнічний комплекс для розмінування.

Також було наведено приклад робототехнічного комплексу та запропоновано кроки для його покращення. Розглянуто більш детально платформу на робоізованих кінцівках. Наведено переваги робототехнічних кінцівок над гусеничною платформою, показано модель роботизованих кінцівок та платформи. Наведено конкретний приклад для побудови платформи робота собаки та наведено контролер за допомогою якого керується ця платформа.

Для пошуку вибухонебезпечних предметів було запропоновано використовувати надширокосмуговий радар, роботу якого описано в розділі.

#### 4 ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ

Безпека на ділянках розмінування (контролю якості розмінування) досягається органами та підрозділами ЦЗ через створення схем та розміток зон розмінування (контролю якості розмінування). Це включає огороження та маркування небезпечних зон, контроль за рухом фахівців і відвідувачів, додержання робочих відстаней, а також забезпечення ефективної медичної допомоги та заходів аварійної евакуації.

Проектування схеми розмінування (контролю якості розмінування) повинно мати такі характеристики:

- чітке візуальне виділення небезпечних зон (включаючи підривні роботи), очищених/розмінованих територій та службових ділянок (безпечних зон);
- дотримання встановлених робочих відстаней між фахівцями з розмінування, машинами розмінування та мінно-розшуковими собаками і іншим персоналом на ділянках, які розмінуються;
- контроль руху відвідувачів та персоналу на ділянках, які розмінуються (включаючи представників громадськості) на робочих місцях;
- контроль руху машин для розмінування та інших транспортних засобів;
- дотримання обмежень кількості відвідувачів та персоналу на ділянках, котрі розмінуються встановлених для небезпечних зон;
- забезпечення повного комплексу застережних заходів для уникнення перебування персоналу, відвідувачів та місцевого населення в небезпечних зонах підривних робіт під час контрольованого знищення мін і вибухонебезпечних залишків війни, а також для забезпечення належного захисту всередині будівель, бункерів або спеціальних мобільних конструкцій;
- здійснення заходів для попередження негативного впливу на навколишнє середовище та структурні руйнування.

Небезпечна зона – це зона конкретної небезпеки, в якій фрагменти вибуху очікуваного джерела небезпеки можуть завдавати шкоди здоров'ю. Безпечні та

небезпечні зони в межах робочих місць повинні бути розділені чітким та постійним маркуванням відповідно до вимог стандартної оперативної процедури 08.40/ДСНС “Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту маркування територій, забруднених вибухонебезпечними предметами”, затвердженої наказом ДСНС від 31.05.2017 № 298. У межах робочих місць під час проведення розмінування найбільший ризик загрожує фахівцям з розмінування, які виконують очищення і, за необхідності, найбільше наближаються до джерела небезпеки.

Для інших осіб, які знаходяться на робочих місцях, ризики є мінімальними і вважаються вторинними. З метою зниження ймовірності травмування інших осіб на робочому місці до припустимого рівня, органи та підрозділи центрального зведення, що відповідають за розмінування, повинні встановити відповідні значення робочих відстаней між фахівцями з розмінування, машинами розмінування або мінно-розшуковими собаками та іншим персоналом на ділянці розмінування. Робоча відстань розмінування іноді відома як безпечна відстань і повинна бути визначена на основі детальної та документованої оцінки ризиків, враховуючи особливості конкретного місця, його топографію та захист персоналу спеціальним обладнанням. Під час просування розмінування на конкретній ділянці змінюється інформація, на основі якої була здійснена початкова оцінка ризиків. Таким чином, регулярне оновлення оцінки ризиків необхідно для врахування цих змін. Оцінка ризиків для визначення робочих відстаней до відомих мін та вибухонебезпечних залишків війни включає оцінку ймовірності ненавмисної детонації та тяжких травм при цьому.

Ймовірність несанкціонованої детонації мін або вибухонебезпечних залишків війни залежить від їхнього технічного стану, характеристик ділянки розмінування, наявності та використання відповідних інструментів та заходів розмінування. Крім того, погодні умови, кліматичні фактори та можливі захворювання членів особового складу на робочому місці також можуть збільшувати ймовірність виникнення дискомфорту, неприємного самопочуття або просто втомленості серед фахівців з розмінування. Всі ці чинники додатково підвищують ризик несанкціонованої детонації.

## ВИСНОВКИ

Мета роботи – підвищення ефективності пошуку вибухонебезпечних предметів із застосуванням робототехнічного комплексу на платформі крокуючого робота (робота-собаки) із застосуванням сенсорів, діючих на принципі методу нелінійної радіолокації.

Для досягнення поставленої мети, у роботі були виконані такі основні завдання:

- проведено аналіз сучасних методів та систем пошуку та ідентифікації ВВП та сучасного стану розробки РКВП у сфері гуманітарного розмінування;

- проведено порівняльний аналіз методів виявлення ВВП та було обрано метод пошуку ВВП, який базується на методі нелінійної радіолокації (НРЛ) та приведено його математичну модель;

- проведено аналіз складу спеціального обладнання та дизайну РКВП для пошуку ВВП та визначено переваги крокуючої платформи (робота-собаки) над гусеничною платформою;

- розроблені пропозиції щодо удосконалення апаратного модуля РКВП для пошуку ВВП на платформі крокуючого робота (робота-собаки) із застосуванням сенсорів, діючих на принципі методу НРЛ;

- розглянути питання охорони праці.

Встановлено, що сучасні РКВП, які можуть застосовуватися у системі гуманітарного розмінування з метою пошуку та ідентифікації ВВП, які знаходяться під поверхнею землі.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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

2. Методичні вказівки з підготовки й оформлення 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, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипченко, О. М. Цимбал ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, ХНУРЕ, 2021. 50 с.

3. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”: довід. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. К.: Київ-56, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. 320 с.

4. Янушкевич Д.А., Вирвихвост О.В. Технології створення робототехнічних комплексів для гуманітарного розмінування / Д. А. Янушкевич, О. В. Вирвихвост // Збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» АЕРТ-2022. – Харків, ХНУРЕ, 2022. – С. 46-49.

5. Янушкевич Д. А., Вирвихвост О. В. Апаратний модуль робототехнічного комплексу для пошуку вибухонебезпечних предметів / Д. Янушкевич, О. Вирвихвост // Збірник матеріалів V форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» АЕРТ-2023. – Харків, ХНУРЕ, – С. 49-53.

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 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/map-demining>

8. Про протимінну діяльність в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/>

9. Аналіз виконання робіт щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів по роках [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua>

10. Р. Беспалько, Т. Гуцул, І. Казімір, К. Мирончук. Сучасні підходи до оцінювання черговості гуманітарного розмінування територій. Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів. (2023) 10

11. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. (2022)

12. Trevelyan, J., Hamel, W. R., Kang, S. C. (2016). Robotics in hazardous applications. Springer Handbook of Robotics. Springer International Publishing. London, 1521–1548.

13. Yanushkevych D., Ivanov L. Modern Trends in the Development of Robotic Complexes for Humanitarian Demining / D. Yanushkevych, L. Ivanov // Виробництво & Мехатронні Системи 2022 // Матеріали V-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2022 р. – Харків: ХНУРЕ, [електронний друк]. – 2021. – С. 101-105.

14. І. Ш. Невлюдов , Д. А. Янушкевич, І. О. Толкунов , І. І. Попов, Г. В. Іванець. Обґрунтування необхідності створення робото-технічних комплексів для гуманітарного розмінування. Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна (2023).

15. L.Marques, R.Fernandez, A.T. de Almeida, H.Montes, «State of the Art Review on Mobile Robots and Manipulators for Humanitarian Demining», 1 Institute of Systems and Robotics, University of Coimbra, Portuga, (2012)

16. Толкунов І. О., Попов І. І., Янушкевич Д. А. Застосування сучасних

роботизованих систем і комплексів у гуманітарному розмінуванні // І. О. Толкунов, І. І. Попов, Д. А. Янушкевич / Матеріали міжнародної науковопрактичної конференції «Problems of Emergency Situations», Харків – 19 травня 2022 року. - Національний університет цивільного захисту України. - Харків: НУЦЗУ, - 2022. – С. 112-114

17. В.Б Струтинський, А.М. Гуржій. Наземні роботизовані комплекси, монографія. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». (2023)

18. Толкунов І. О., Янушкевич Д. А., Губар С. В., Гайовий О. О. Підвищення ефективності робіт з гуманітарного розмінування шляхом застосування сучасних робототехнічних систем. Матеріали круглого столу. – Харків: Національний університет цивільного захисту України. (2022)

19. ANYmal C – The Next Step in Robotic Industrial Inspection [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.anybotics.com/news/the-next-step-in-robotic-industrial-inspection/>

20. Янушкевич Д. А. Аналіз стану нормативного забезпечення робототехнічних систем для гуманітарного розмінування / Д. А. Янушкевич // Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: [матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 25-26 січня 2022 року]. - Українська інженерно-педагогічна академія. Харків: УІПА, 2022. – С. 40-41.

21. Ghost robotics vision 60 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ghostrobotics.io/vision-60>

22. DogBot V2.0: Design Your Own Quadruped Robot (Part 1) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.instructables.com/Build-Your-Own-Quadruped-Robot-Using-Tinkercad/>.

23. Nova Spot Micro 3 - a Spot Mini Clone Quadruped Robot Dog [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.instructables.com/Nova-Spot-Micro-a-Spot-Mini-Clone/>

24. О.Ю. Смольков , В.І. Коцюруба , К.Ю. Гунбін. Науково-методичний підхід щодо обґрунтування вимог до дистанційно-керованих радіолокаційних

комплексів виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі. Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна. Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна. (2020)

25. О.Ю. Смольков, В.І. Коцюбура, К.Ю. Гунбін. Математична модель пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації. Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна. Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна (2020)

26. Барбашин В.В., Назаров О.О., Рютин В.В., Толкунов І.О. Основи організації піротехнічних робіт. Навчальний посібник / Під ред. В.П. Садкового. – Харків: ВРВД УЦЗУ, 2010. – 353 с., ілюстр.

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

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