

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення програмного модуля маніпуляторів роботехнічних систем
військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних
предметів
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи КТРСм-21-1
Шафоростов Д.Д.
(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. КІТАМ Янушкевич Д.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
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 _____

(підпис)

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові

Шафоростову Данилу Денисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення програмного модуля маніпуляторів
робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку
вибухонебезпечних предметів

Затверджена наказом по університету від 07.11. 2022 р. № 1462 Ст2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23. 12. 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Модель маршруту для пошуку ВВП

3.2 Тривимірна модель робототехнічної системи

3.3 Кінематична схема робототехнічної системи

3.4 Конструкція робототехнічного комплексу

3.5 Конструкція датчиків 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	10.11.22	виконано
2	Вступ	11.11.22	виконано
3	Аналіз технічного завдання	12.11.22	виконано
4	Аналіз інструментів розробки та аналіз технічного завдання	12.11.22	виконано
5	Проектування системи	14.11.22	виконано
6	Розроблення програмного модуля маніпуляторів роботехнічних систем	20.11.22	виконано
7	Охорона праці	10.12.22	виконано
8	Висновки	10.12.22	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек	19.12.22	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	19.12.22	виконано
11	Подання роботи на рецензію	19.12.22	виконано
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри	20.12.22	виконано
13	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	23.12.22	виконано

Дата видачі завдання 10.11.22

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Шафоростов Д.Д. _____
(прізвище, ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 102 с., 9 табл., 52 рис., 2 дод., 32 джерел.

МАНІПУЛЯТОР, РОБОТЕХНІЧНА СИСТЕМА, МЕТАЛОШУКАЧ, МІНОШУКАЧ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, ЗАСОБИ ПОШУКУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ.

Мета роботи – розроблення програмного модуля маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів.

Об'єкт дослідження – робототехнічні комплекси, які застосовуються у системі гуманітарне розмінування для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – конструкція робототехнічних комплексів та маніпуляторів для процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Методи дослідження – аналіз та синтез конструкції робототехнічних комплексів та маніпуляторів для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Результатом роботи є модель програмного модуля маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення і приклад її роботи, яка може бути використана військовими для гуманітарного розмінування на полі бою і спецслужбами для деактивації вибухонебезпечного предмету на вже підконтрольних територіях, зменшивши витрати на обладнання і не наражаючи на небезпеку, як військових так і мирних людей.

Отриману модель можна використовувати для створення робототехнічного комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

ABSTRACT

Explanatory: 102 p., 9 tabl., 52 fig., 2 adj., 32 sources.

MANIPULATOR, ROBOTIC SYSTEM, METAL DETECTOR, MINE DETECTOR, EXPLOSIVE OBJECTS, TOOLS FOR SEARCH AND IDENTIFICATION OF EXPLOSIVE OBJECTS.

The purpose of the work is to develop a software module for manipulators of military and special purpose robotic systems for searching for explosive objects.

The object of research is robotic complexes used in the system of humanitarian demining. for the search and identification of explosive objects.

The subject of research is the construction of robotic complexes and manipulators for the process of searching and identifying explosive objects.

Research methods – analysis and synthesis of the construction of robotic complexes and manipulators for the search and identification of explosive objects.

The result of the work is a model of the software module of manipulators of military and special purpose robotic systems and an example of its operation, which can be used by the military for humanitarian demining on the battlefield and by special services to deactivate an explosive object in territories already under control, reducing equipment costs and not exposing to danger. both military and civilians.

The obtained model can be used to create a robotic complex for the search and identification of explosive objects.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасного стану розробки маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів	11
1.1 Загальна характеристика системи гуманітарного розмінування	11
1.2 Класифікація та основні види робототехнічних комплексів для пошуку вибухонебезпечних предметів	16
1.2.1 Сухопутні роботи для пошуку ВНП	19
1.2.2 Безпілотні літальні апарати.....	21
1.2.3 Морські роботи для пошуку ВНП.....	22
1.3 Класифікаційні ознаки та характеристики вибухонебезпечних предметів ..	23
1.3.1 Протипіхотні міни осколкової дії.....	24
1.3.2 Протитанкові міни фугасної дії.....	25
1.3.3 Артилерійські снаряди	26
1.3.4 Авіаційні бомби.....	27
1.3.5 Ручні гранати.....	28
1.3.6 Патрон зброї	28
1.3.7 Реактивні снаряди	29
1.3.8 Саморобні ВНП.....	30
1.4 Постановка задач досліджень комплексів гуманітарного розмінування	31
1.5 Висновки до першого розділу.....	32
2 Методика процесу гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів військового призначення.....	34
2.1 Порівняльний аналіз засобів пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів	34
2.1.1 Металошукач для особистого огляду	34

2.1.2 Індукційний міношукач.....	36
2.1.3 Селективний індукційний міношукач	37
2.1.4 Ферролокатори	38
2.1.5 Додаткове обладнання.....	39
2.2 Порівняльний аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою робототехнічних комплексів	41
2.2.1 Метод механічного зондування ґрунту	44
2.1.2 Оптичний метод пошуку	45
2.2.3 Тепло-локаційний метод виявлення	46
2.2.4 Електромагнітні методи виявлення ВНП.....	47
2.2.5 Газоаналітичний метод виявлення	52
2.2.6 Біофізичний метод виявлення	53
2.2.7 Ядерно-фізичний метод виявлення.....	53
2.3 Висновки до другого розділу	54
3 Розроблення програмного модуля маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів	57
3.1 Моделювання маршруту гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів військового призначення.....	57
3.2 Моделювання програмного модуля маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів	59
3.3 Конструкція робототехнічного комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів	66
3.3.1 Будова робота	69
3.3.2 Рух робота.....	70
3.3.3 Датчики для виявлення мін.....	74
3.4 Облаштування зони розмінування	75
3.5 Висновки до третього розділу.....	77
4 Охорона праці	78

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	78
4.2 Організація робочого місця.....	78
4.3 Вплив шуму на роботу програміста	79
4.4 Електробезпека. Статична електрика.....	80
4.5 Проведення атестації робочих місць.....	81
4.6 Проведення медичних оглядів	82
4.7 Висновки до четвертого розділу.....	82
Висновки	83
Перелік джерел посилання	85
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	89
Додаток Б Відомість кваліфікаційної роботи.....	101

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БФЕ – біофізичний ефект;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ВНП – вибухонебезпечний предмет;

ВР – вибухонебезпечна речовина;

ВЧ – високочастотне випромінювання;

ДСНС – державна служба України з надзвичайних ситуацій;

ІБП – інженерний боєприпаси;

ІМШ – індукційний міношукач;

ІЧ – інфрачервоне випромінювання;

НАА – нейтронно-активаційний аналіз;

НВЧ – надвисокочастотне випромінювання;

ПК – персональний комп'ютер;

РКВП – роботехнічний комплекс військового призначення;

РЛС – радіо-локаційна станція;

СВП – саморобні вибухонебезпечні предмети;

ЯКР – ядерний квадрупольний резонанс.

ВСТУП

Мета роботи – створення надійної системи для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів, збільшити швидкість та безпеку при роботі з вибухонебезпечними предметами, розробити модель, яка буде більш ефективна та простіша в використанні ніж вже існуючі аналоги.

Об'єкт розробки – робототехнічний комплекс військового призначення, які застосовуються в системі гуманітарного розмінування. Робота направлена на дослідження вимог до робототехнічних комплексів військового призначення та розроблення пропозицій щодо їх застосування у гуманітарному розмінуванні.

Предмет розробки – конструкція робототехнічних комплексів та маніпуляторів для процесу пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів.

Україна посідає одне з найвищих місць у світі за кількістю втрат серед цивільного населення від наземних мін і боєприпасів, що не розірвалися, а також за кількістю інцидентів з протитранспортними мінами. Під час російського вторгнення в Україну в 2022 році Червоний Хрест заявив, що один із запропонованих Російською Федерацією маршрутів евакуації був замінований. За даними Human Rights Watch, у червні 2022 року «Росія є єдиною стороною конфлікту, яка, як відомо, застосувала заборонені протипіхотні міни, тоді як і Росія, і Україна застосували протитранспортні міни».

Робота виконана за вимогами ДСТУ 3008:2015 [1], [2] та методичних вказівок [3].

Результати роботи пройшли апробацію на збірник студентських наукових статей «Виробництво & Мехатронні Системи», а також на збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка» [4], [5].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБКИ МАНІПУЛЯТОРІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ТА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

1.1 Загальна характеристика системи гуманітарного розмінування

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 [6].

При здійсненні гуманітарного розмінування характерно зростання уваги у проблемі створення робототехнічних комплексів та систем військового, спеціального та подвійного призначення (РКВП). Це обумовлюється намаганням усіх передових країн світу до збереження людського життя, в контексті якого використання РКВП дозволяє досягти позитивних результатів. Крім того, ця тенденція пояснюється стрімким розвитком новітніх технологій в інформаційній сфері, тобто «роботизація» різноманітних напрямів діяльності людини, зокрема, військової сфери, що відповідає змісту сучасних концепцій постіндустріального суспільства на базі 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 табл. 1.1 наведено статистику по областях найбільш забруднені від ВВП після початку повномасштабної війни [6].

Таблиця 1.1 – Результати робіт ДСНС у областях України з розмінування

Область	Обстежено територій		Знешкоджено ВВП		Кількість залучень	
	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт
Донецька	3,64	1260,96	114	24197	18	2784
Київська	2,86	21628,05	173	73823	10	6926
Харківська	1,17	1845,21	290	50127	54	12327
Черкаська	0,01	7411,53	1	38890	1	1071
Чернігівська	1,21	39544,44	77	48616	5	4221
Херсонська	90,79	510,86	204	5574	32	725
Сумська	0,6	1133,8	6	7504	12	1554
Запорізька	0	140,54	0	2813	0	781

Забруднення території України мінами і боєприпасами, що не розірвалися, в ході повномасштабного вторгнення Росії в Україну на середину серпня 2022 року торкнулося території в 300 тисяч км² — майже половину країни. За оцінкою ООН, на території, забрудненій мінами і боєприпасами, що не розірвалися, на липень 2022 року проживало близько 14,5 млн осіб.

Державна служба України з надзвичайних ситуацій оцінювала заміновану територію в 300 тисяч км², а час, необхідний для її очищення, більш як у 10 років. На середину серпня українська влада повідомляла про очищення близько 620 км² та деактивацію понад 175 тисяч вибухонебезпечних об'єктів. Час на очищення акваторії Чорного моря від мін українська влада оцінює у 5-7 років.

Зараз навіть говорити про точну площу небезпечних місць складно, адже відбулася ротація тих військових, які мінували зони, наприклад, навколо блокпостів, а карти мінування могли загубитися. Після звільнення населених пунктів інформація про розташування мінних полів, які залишили бойовики, також відсутня.

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, табл. 1.2 відображає по роках кількість знешкодженого ВНП [7].

Таблиця 1.2 – Аналіз робіт з очищення території України від ВНП за минулими роками

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	13 166	73 375	4 939
2021	12 909	89 614	3 552

Метою розмінування є, зниження мінімальної небезпеки до рівня, при якому людина може жити в безпеці; економічний, соціальний і фізіологічний розвиток має здійснюватися безперешкодно, не наражаючись на вплив обмежень, викликані впливом наземних мін [8].

Гуманітарним розмінуванням в Україні займається зокрема Державне підприємство «Укроборонсервіс», яке володіє широкою базою обладнання:

- броньовані машини з протимінним захистом «Дозор-М»;
- броньовані машини з протимінною захистом «КОЗАК»;
- машини швидкого реагування;
- оптичні системи позиціонування TRIMBLE 5600;

- мінні детектори;
- та інше обладнання [9].

Система гуманітарного розмінування має виконувати задачі:

- пошук, ідентифікацію та знешкодження ВВП;
- картографування та маркування територій, забруднених ВВП;
- здійснення оцінювання якості гуманітарного розмінування.

Головними завданнями у проблемі гуманітарного розмінування є пошук та ідентифікація ВВП. Виявлення мін та ВВП означає їх пошук та ідентифікацію у відповідності з їх демаскуючими ознаками:

- наявність вибухової речовини;
- наявність локально розташованої маси металу;
- характерна геометрична форма мін та ВВП;
- неоднорідність середовища, де розміщений ВВП (порушення поверхні ґрунту, дорожнього покриття, стіни будівлі, порушення кольору рослинності).

Складові системи гуманітарного розмінування робототехнічними системами відображено на рис. 1.1.

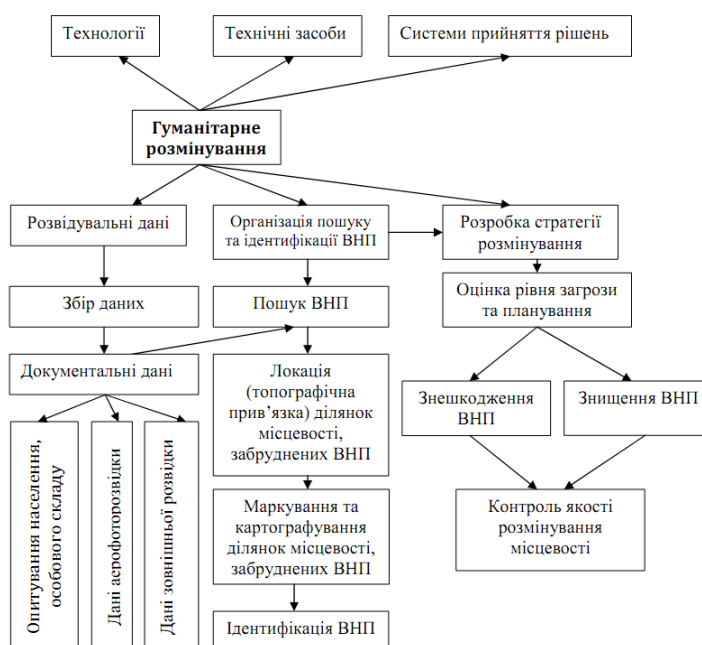


Рисунок 1.1 – Складові системи гуманітарного розмінування

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 [9].

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

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

Кінцевий блок маніпулятора містить міношукач і знешкоджувач мін. Міношукач здійснює сканування траєкторій за допомогою маніпулятора під час руху робота по мінному полю. Після виявлення міни маніпулятор повинен

виконати траєкторію позиціонування нейтралізатора для розміщення його над виявленою міною. Нейтралізатор заснований на лазерному нагріванні міни до моменту займання і горіння вибухового наповнювача. Якщо міна має металевий корпус, то тепло проводиться через корпус і опромінення мішені продовжується до тих пір, поки температура внутрішньої стінки і температура наповнювача ВР не перевищить температуру його горіння. Якщо це пластиковий футляр, його опромінюють до тих пір, поки він не проникне, і вибуховий наповнювач не запалиться, або безпосередньо від лазерного випромінювання, або від полум'я, що запалює пластиковий корпус. Міношукач надає інформацію про кут розташування міни в режимі сканування маніпулятора. Ця інформація надходить за ланцюгом зворотного зв'язку до блоку керування та змінює режим сканування рис.1.2.



Рисунок 1.2 – Робот для гуманітарного розмінування

1.2 Класифікація та основні види робототехнічних комплексів для пошуку вибухонебезпечних предметів

У системах для пошуку ВВП, у встановлених міношукач на транспортних засобах, використовується низка сенсорних пристроїв для досягнення смуги виявлення зазвичай від 2 м до 4 м завширшки. У деяких системах використовується більше ніж один тип сенсорної технології. Використання робототехнічних систем

може підвищити безпеку та ефективність очищення території забрудненої ВВП, і що їх можна розглядати як перспективні інструменти.

З іншого боку, було описано кілька мобільних дистанційно керованих платформ (з маніпуляторами або без них), деякі з них зображені на рис. 1.3, рис. 1.4, де в більшості випадків сенсорні потреби в контролі руху та навігації досить складні. Звичайний рух у складній місцевості потребує вдосконаленого адаптивного контролю, а для доставки пакетів датчиків у точні позиції під час виявлення потрібен ретельний контроль.



Рисунок 1.3 – Робот Gryphon-IV.



Рисунок 1.4 – AMRU-4, восьмилапка електропневморозсувна

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

керування [10].

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

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

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

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

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

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

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

1.2.1 Сухопутні роботи для пошуку ВНП

У цю групу входять військові машини (роботи-маніпулятори на гусеничному ході, система віддаленої нейтралізації ВНП на колісному ході) що пересуваються по землі та працюють без участі людини – сапера.

TALON – дистанційно військовий робот, що знаходиться на озброєнні армії США розроблений «Foster-Miller». Робот призначений для роботи по пошуку, ідентифікації та розмінуванню ВНП, оборони та розвідки (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Робот-маніпулятор Talon

Робот TALON оснащений широким спектром пристроїв. Робот має високі показники швидкості, їх можна використовувати в різних середовищах, від бруду і до снігу. Довжина робота 87 см, ширина - 58 см, висота 28 см, кліренс – 7,1 см. Вантажопідйомність до 9 кг, корпус може витримувати вантаж до 46 кг, тягнучі вантаж – до 77 кг. Базова комплектація оснащена маніпулятором, з можливістю обертатися на 360°, динамік, мікрофон, захват. Також можна розмістити датчики хімікатів, радіації, температури, GPS-трекер, глушилки сигналів. При спостереження за боєм або розвідки робот можна оснастити до семи відеокамер. Оператор комплексу керує роботом завдяки пульта керування, який може

підтримувати радіо або оптоволоконний зв'язок з роботом. Завдяки акумуляторам великої ємності 300 Вт/год, час автономної роботи може сягати до 3 год. По прямій дорозі максимальна швидкість становить 9 км/год. 45° максимальний нахил, який може подолати робот, бічний нахил до 50° [12].

Andros MarkV-A1 – колісний робот, компанії Northrop Grumman. Один з представників лінійки роботизованих комплексів Remotec ANDROS. Поставлений на озброєння у 2005 році для саперних та спец. підрозділів поліції та армії США (рис. 1.6) [25].

MarkV має відеокамеру з підсвіткою, яка розташована на 630-мм виступі, камери розташовані по різних частинах робота, механічний захват розташований на маніпуляторі. Маніпулятор витягується на відстань до 2,6 м, це дає можливість працювати з небезпечними матеріалами та ВНП. Аудіосистема, складається з динаміку та мікрофону, що мають захист від вологи. Робот має модульний принцип складання, додатково можуть бути встановлені датчики, блок лазерного наведення, рушниця та гранатомет, циркулярна пила. Оператор керує роботом за допомогою пульта який через радіозв'язок, або по оптоволоконну, електричний кабель передає дані. MarkV в стандартній комплектації важить до 350 кг. Довжина корпусу 1,3 м, ширина робота 1,1 м, висота 2,1 м, кліренс 230 мм. Швидкість яку може розвинути робот становить до 6,6 км/год. 50° максимальний нахил, який може подолати робот.

Конструкція з швидкозмінними колесами може бути змінена з колісного на гусеничне, це додає універсальності машині [13].



Рисунок 1.6 – Мобільний робот Andros MarkV-A1

1.2.2 Безпілотні літальні апарати

Використовуються для виконання надземних задач: для спостереження та збору даних, огляд території перед операцією, надземний пошук ВВП (рис.1.7).



Рисунок 1.7 –БПЛА D80-Discovery

Безпілотник D80-Discovery із комплектом для дослідження магнітометром для БПЛА – це ультра портативний комплект для магнітометричної зйомки. Він призначений для зйомки великих площ, коли наземна зйомка людиною або транспортним засобом неможлива.

На відміну від інших, аналогічних БПЛА, безпілотник D80-Discovery використовується для картографування з високою роздільною здатністю для виявлення невеликих та компактних об'єктів, а також структур у землі, таких як бомби та боєприпаси. Його конструкція дозволяє встановити датчики на відстані 25 см або 50 см забезпечуючи ширину захоплення 2,5 м і більше.

Завдяки частоті дискретизації 200 Гц, D80-Discovery з комплектом для дослідження та магнітометром може легко відфільтровувати шум від мережевих частот, інфраструктури чи двигунів БПЛА. Отже, пристрої можуть бути встановлені безпосередньо на шасі БПЛА, що забезпечує дуже компактну установку.

Геодезичний комплект можна використовувати для зйомки загального призначення, наукових, магнітної картографії, розвідки шахт, а також операцій, пов'язаних з безпекою, таких як сканування території на наявність бомб і боєприпасів, як на суші, так і в акваторіях, а також превентивна перевірка та спостереження за територіями [14].

1.2.3 Морські роботи для пошуку ВНП

Категорія включає надводні та підводні роботизовані пристрої, що можна використовувати для спостереження, розвідки, пошуку мін.

Sapien Sea Class від RE2 – це система з двома руками, яка схожа на людину, ніж традиційні маніпулятори (рис. 1.8). Ця версія серії Sapien розроблена спеціально для використання у глибокому океані.

Виявлення та знешкодження ВНП та інших підводних вибухових речовин є критично небезпечним завданням для водолазів ВМС. Відповідно до нашої місії з підвищення безпеки робітників, M2NS дозволить військово-морським силам знаходити та автономно нейтралізувати цілі у глибоководних водах, у той час як досвідчені дайвери спостерігають за ними з безпечної відстані.

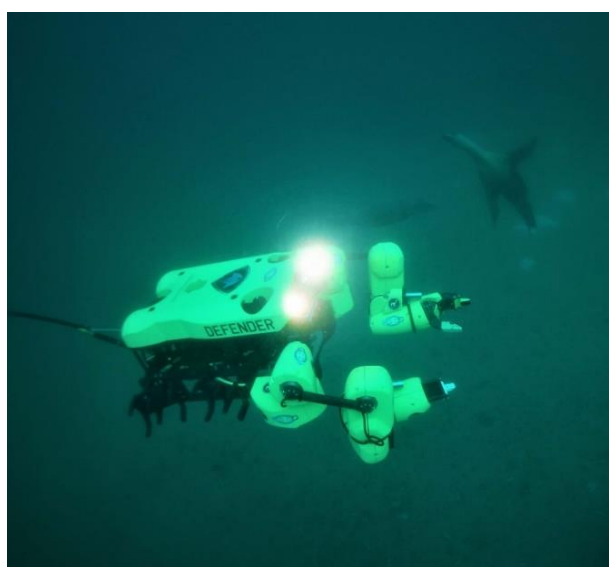


Рисунок 1.8 – Морський робот RE2 Robotics

Маніпулятори RE2 Sapien можуть працювати як у структурованих, так і в неструктурованих середовищах, у тому числі на відкритому повітрі у суворих погодних умовах. Руки відрізняються високим співвідношенням міцності до ваги, точним керуванням та спритністю, які відповідають чи перевершують характеристики людських рук.

M2NS буде використовувати програмне забезпечення комп'ютерного зору RE2 Detect для виявлення цілей під водою та RE2 Intellect для автономного та точного розміщення пристроїв [15].

1.3 Класифікаційні ознаки та характеристики вибухонебезпечних предметів

Вибухові речовини (ВР) — хімічні сполуки або механічні суміші речовин, здатні під впливом зовнішньої дії (початкового імпульсу) до швидкого самопоширюваного хімічного перетворення (вибуху) з виділенням великої кількості теплоти та утворенням газів, здатних спричинити руйнування і переміщення навколишнього середовища. Ця реакція, після започаткування у якійсь точці (від нагрівання, удару, тертя, вибуху іншої ВР тощо), поширюється по заряду передаючи енергію від шару до шару через процеси тепло - та масоперенесення (горіння) або ударної хвилі (детонація). Швидкість поширення горіння у різних ВР коливається від часток мм/с до сотень м/с, швидкість детонації може перевищувати 9 км/с. Важливою характеристикою ВР є стійкість, тобто здатність не змінювати свої властивості при тривалому зберіганні.

Вибухові речовини використовують у зброї, будівництві, гірництві тощо. Знаходять застосування вибухові речовини і у наукових дослідженнях як простий та зручний засіб отримання високих температур, великих швидкостей та надвисоких тисків.

Вибуховими можуть бути речовини або суміші будь-якого агрегатного стану. Широке застосування в гірничій справі дістали так звані конденсовані ВР, які характеризуються високою об'ємною концентрацією теплової енергії.

Класифікувати вибухонебезпечні об'єкти, в нейтралізації яких можна використовувати роботизований комплекс.

1.3.1 Протипіхотні міни осколкової дії

Міна наземна — вид ІБП, що встановлюється під землею, на поверхні або поблизу, призначена для влаштування наземних вибухових загороджень з метою ураження військової техніки або живої сили противника, для руйнування доріг та загороджень і споруд, створення ускладнення для просування та маневру військ

рис. 1.7. МОН-50 – протипіхотна осколкова міна спрямованої поразки, яка призначена для ураження живої сили, навіть у транспорті (рис. 1.9), (рис. 1.10).



Рисунок 1.9 – Наземна міна ПОМЗ-2М



Рисунок 1.10 – Протипіхотна міна МОН - 50

Характерні ознаки протипіхотних мін осколкової дії:

- встановлюються на поверхні або у товщі ґрунту, маскуються;
- міни встановлюються на керуванні або у вигляді розтяжки;
- міни типу ОЗМ-72 або ПОМЗ-2М виглядають як сталеві банки;
- міни МОН-50 та МОН-90 мають випуклу форму у пластиковому корпусі;
- міни МОН-100 та МОН-200 мають круглу, випуклу форму;
- використовуються разом з мінами-пастками;
- міни дистанційного мінування ПОМ-2, з механізмами самоліквідації [16].

1.3.2 Протитанкові міни фугасної дії

Протитанкова міна - міна, призначена для знищення або виведення з ладу танків або інших броньованих машин противника.

Протитанкові міни можуть мати систему самоліквідації. Самоліквідація передбачає виробництво вибуху міни або переведення підривника в безпечне положення після закінчення заданого відрізка часу або при певних умовах.

Протитанкова міна ТМ-72 (рис. 1.11). Вибух відбувається при перекритті проекцією важкого транспорту, корпусу міни: його магнітне поле впливає на пристрій підривника, що реагує. Машин отримує значні пошкодження за рахунок пробивання днища транспорту кумулятивним струменем при вибуху заряду міни в момент, коли танк або інша машина перебуває над міною.



Рисунок 1.11 – Протитанкова міна ТМ-72

Характерні ознаки протитанкових мін фугасної дії:

- встановлюються на поверхні або у товщі ґрунту, маскуються;
- сталевий корпус (міна ТМ-62ПЗ корпус з поліетилену);
- використовуються разом з мінами-пастками;
- містять різними типи вибухників: натискної дії або вибухники, при зміні електромагнітного поля [16].

1.3.3 Артилерійські снаряди

Осколково - фугасний снаряд – боеприпас, який використовує артилерія, що поєднує осколкову та фугасну дію і призначений для ураження великої кількості цілей рис. 1.12, для ураження живої сили противника у будівлях або на відкритій місцевості, знищення техніки, яка має легке бронювання, руйнування укріплень, дороги, залізничних шляхів. При попаданні в броню вибухає, завдаючи поверхневі пошкодження, виводячи з ладу гусениці, пошкоджує прилади спостереження, пошкоджуючи броню.



Рисунок 1.12 – Осколково - фугасні снаряди

Характерні ознаки артилерійських снарядів:

- розповсюджені артилерійські снаряди калібрів: 23 мм, 30 мм, 45 мм, 76 мм,

85 мм, 100 мм, 105 мм, 115 мм, 122 мм, 125 мм та 152 мм;

- з підриивниками чи дистанційними трубками;
- мають стабілізатори у вигляді пояса на корпусі снаряду або у вигляді відкидного оперення [16].

1.3.4 Авіаційні бомби

Авіабомба – один із основних видів авіаційних засобів ураження. Скидання відбувається з літака або іншого літального апарату, відокремлюючись під дією сили тяжіння або з невеликою початковою швидкістю. Авіаційні бомби використовують для ураження населених пунктів та місць скупчення військ, військових та промислових об'єктів, фугасним впливом та уламками рис. 1.13.



Рисунок 1.13 – Авіаційна бомба

Характерні ознаки авіаційних бомб:

- великі за розміром та вагою;
- мають вигляд циліндра, краплеподібні;
- мають стабілізатори як парашута чи лопатей;
- у головній чи донній частині споряджаються підриивниками [16].

1.3.5 Ручні гранати

Граната — бойовий припас, спорядженої порохом, для ураження поблизу місця його розриву, наступальна і оборонна зброя, вибухові боеприпаси, призначений для ураження живої сили, техніки противника за допомогою ручного та іншого метання рис. 1.14.

Ручні уламкові гранати призначені для ураження уламками живої сили противника. При розриві граната утворює велику кількість осколків, що розлітаються, осколки володіють енергією, достатньою для ураження легко броньованої техніки.

Характерні ознаки ручних гранат:

- невеликий розмір;
- з запалами дистанційної чи ударно-дистанційної дії;
- використовуються для створення розтяжки [16].



Рисунок 1.14 – Ручна граната Ф-1

1.3.6 Патрон зброї

Патрон — боеприпас стрілецької зброї та малокаліберних , що заряджається в один прийом. Набій з капсулем називають унітарним набоем. Малий розмір кулі,

дозволяє використовувати за один залп до 200 куль, які можуть травмувати або вбити людину, зберігаючи свою кінетичну енергію, на відстані до 2 кілометрів. Заборонено розбирати, наносити удари, кидати у вогонь – через небезпеку детонування, і неможливості передбачити траєкторію. Унітарний патрон рис.1.15.

1 – снаряд, 2 – гільза, 3 – заряд пороху або вибухової речовини, 4 – донце гільзи та фланець, 5 – капсуль–запальник.

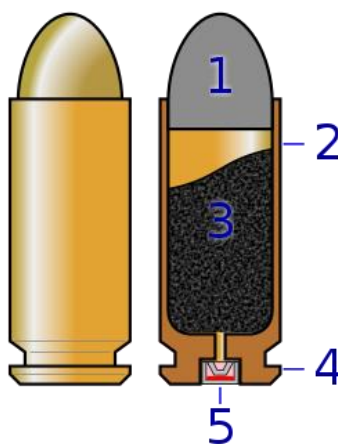


Рисунок 1.15 – Унітарний патрон

1.3.7 Реактивні снаряди

Реактивна система залпового вогню – один із типів артилерійських систем, призначений для ураження укритої і відкритої живої сили противника, в районі артилерійських і мінометних батареї, командних пунктів та інших цілей, для проведення дистанційного мінування місцевості рис.1.16.

В основі дії системи лежить реактивний принцип. Комплекс озброєння включає багатозарядну пускову установку, реактивні снаряди, транспортну або транспортно – зарядну машину та інше обладнання. Система несе в собі зазвичай більше десятка реактивних снарядів, кожен з яких має свій окремий ствол для запуску. Систему можна використовувати як наземно так і на воді [16].

Характерні ознаки реактивних снарядів:

- довжина понад 2 м;
- споряджаються підривниками або дистанційними трубками;
- мають стабілізатори у вигляді відкидного оперення;
- мають різними бойовими частинами: касетними, осколково-фугасними, запальними [16].



Рисунок 1.16 – 132-мм реактивний снаряд М-13

1.3.8 Саморобні ВВП

Саморобний вибуховий пристрій – пристрій виготовлений у кустарних умовах пристрій, що складається з вибухової речовини, горючого складника, що не мають обмежень з боку дозвільної системи. До розряду СНП також відносяться вибухові пристрої промислового або військового призначення, що містять елементи самостійного виготовлення. Вибухові пристрої зазвичай використовуються терористичними угрупованнями під час нетрадиційних бойових дій, для проведення терактів, актів залякування рис. 1.17 [16].

Характерні ознаки реактивних снарядів:

- найчастіше не містять металевих компонентів;
- вони можуть бути різного дизайну та форми;
- дроти можуть бути зовні пристрою [16].



Рисунок 1.17 – Боєприпаси, перероблені в саморобні вибухові пристрої

1.4 Постановка задач досліджень комплексів гуманітарного розмінування

Завдання гуманітарного розмінування – пошук і ідентифікація ВВП. Роботехнічне рішення має вирішувати наступні питання:

- виявлення ВВП на відстані від людей та персоналу, для їх безпеки;
- пошук та ідентифікація відбувається при різних метеорологічних умовах;
- ідентифікація ВВП при неоднорідності середи;
- можливість розрізнити предмет пошуку від інших (металобрухт, труби, арматура, природні залишки металу);
- огляд великої території за відносно маленький проміжок часу;
- оминати вже ідентифіковані ВВП, для продовження пошуку;
- здійснювати пошук через навилку кількість рідини;
- картографування місцевості.

За оцінками американських військових фахівців, можливості підрозділів саперів, оснащених робототехнічними комплексами, зростуть у 2-2,5 рази. При цьому можна констатувати, що їхнє широке застосування призведе до корінного перегляду основних принципів ведення війни з урахуванням не лише військово-технічних її аспектів, а й з урахуванням її соціально-психологічних факторів. У

зв'язку з цим актуальним є аналіз сучасного стану та перспектив розвитку робототехнічних комплексів військового призначення для розмінування. Метою роботи є аналіз сучасного стану та перспектив розвитку робототехнічних комплексів військового призначення, а також виявлення загальних та приватних закономірностей їх розвитку. Особливу увагу приділено робототехнічним комплексам на основі безпілотних літальних апаратів, наземних дистанційно-керованих машин. Елементом новизни роботи є виявлені загальні тенденції розвитку робототехнічних комплексів військового призначення. Також до елементів новизни варто віднести виявлені приватні тенденції розвитку цих комплексів з урахуванням специфіки їх застосування для вирішення бойових завдань у повітряній, наземній сферах. Поданий аналіз може бути використаний технічними фахівцями для обґрунтування нових технологічних рішень у галузі робототехніки, а також військовими фахівцями для обґрунтування нових форм та способів розмінування з урахуванням перспектив розвитку робототехнічних комплексів військового призначення.

1.5 Висновки до першого розділу

У ході досліджень першого розділу було приведено:

- загальні характеристики гуманітарного розмінування;
- аналіз сучасної обстановки щодо замінування на Україні;
- класифікацію робототехнічних комплексів військового призначення;
- класифікацію та види робототехнічних комплексів для пошук ВВП;
- аналіз ВВП, та їх характеристики.

Для ідентифікації ВВП, робототехнічний комплекс має бути оснащений відповідним обладнанням (металошукач, відеокамера, GPS-трекер, засіб для маркування).

Серед вимог до робототехнічних комплексів можна виділити:

- 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 ПРОЦЕСУ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1 Порівняльний аналіз засобів пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Прямою ознакою ВНП є наявність ВР або його окремих компонентів. До непрямих ознак ВНП відносяться: наявність характерних металевих та пластмасових деталей, напівпровідникових приладів (транзисторів, діодів, інтегральних мікросхем) підривних пристроїв, провідних ліній, антен, певна форма корпусу.

Історія розвитку засобів пошуку ВР і ВНП склалася так, що в даний час найбільший розвиток отримали засоби, робота яких заснована саме на виявленні цих непрямих ознак. Найбільш широкою номенклатурою представлені металошукачі (металодетектори, індукційні міношукачі). Вони призначені для виявлення ВНП за наявністю металевих корпусів або достатньо масивних (від 3 г до 5 г) деталей підривника.

Функціонування металошукачів засноване або на гармонійному методі, що дозволяє виявити металеві об'єкти за рахунок вимірювання параметрів наведеного в них сигналу (фаза і амплітуда), що збуджується гармонічним струмом, або на методі перехідних процесів, що дозволяє виявити металеве тіло по вторинному струму, що затухає в ньому [17].

2.1.1 Металошукач для особистого огляду

Металошукачі, призначені для особистого огляду, поділяються на стаціонарні та портативні неселективні та селективні.

Серед стаціонарних металошукачів можна виділити – Garrett PD 6500i – 33-зонний арочний металодетектор для виявлення прихованих металевих предметів. Відрізняється простою та швидкою установкою під час спеціальних заходів, на стадіонах, у школах та інших великих майданчиках без можливості підключення до проводової мережі електроживлення. Контрольний пункт можна облаштувати або перемістити його в інше місце буквально протягом декількох хвилин, щоб задовольнити потребу служби безпеки у найкоротший термін (рис. 2.1) [18].

Список характеристик:

- живлення: від 100 В до 240 В, від 50 Гц до 60 Гц;
- пропускна здатність: від 50 чол/хв до 60 чол/хв;
- робоча частота: 5 кГц;
- максимальна глибина виявлення: 10 см;
- діапазон робочих температур: від – 20 °С до + 70 °С;
- вологість: до 95 % без прямого конденсату;
- клас захисту: IP55;
- зовнішні габарити: 90 см х 220 см х 57 см.;
- розміри проходу: 76 см х 200 см х 57 см.;
- вага: 64 кг.



Рисунок 2.1 – Арочний металодетектор Garrett PD 6500i

Портативний металошукач TS-80 (рис. 2.2), зможе бути корисним в при втраті золотих прикрас, наприклад, на пляжі або лісовій гущавині. З ним знайти металеві предмети буде набагато простіше і зручніше, особливо якщо вироби невеликі. Ручний метало-детектор має тоновий сигнал, який не пропустить повз себе жодного металевий предмет, навіть розміром з монетку, видає пронизливий, закличний звук, на який не можна не звернути увагу.



Рисунок 2.2 – Портативний металошукач TS-80

2.1.2 Індукційний міношукач

Переносні індукційні міношукачі складаються з датчика та блоку обробки сигналу із системою індикації розміщених на штанзі (рис. 2.3). Живлення приладів здійснюється від акумуляторної батареї з напругою від 6 В до 12 В. Маса міношукачів в межах від 2 кг до 5 кг.



Рисунок 2.3 – Індукційний міношукач

Сучасні індукційні міношукачі виявляє у ґрунті протитанкові міни корпус яких, з металу на глибині від 0,5 м до 1,2 м, дрібні предмети – на глибинах від 0,1 м до 0,4 м. Ширина виявлення становить від 0,2 м до 1,2 м.

Темп пошуку сучасних міношукачів лежить у межах від 120 м²/год до 400 м²/год і визначається в основному наявністю сторонніх металевих предметів, яких багато біля житлової забудови та господарської діяльності людини, а також у місцях ведення бойових дій.

2.1.3 Селективний індукційний міношукач

Серед сучасних індукційних міношукачів, можна виділити міношукачі оснащені системами обробки сигналу на основі використання мікропроцесорів, це дозволить проводити селективний пошук предметів, на тлі перешкод з інших металів. Зразками таких міношукачів є Grand Master Hunter CXIII, White Eagle-2 виробництва США (рис. 2.4) [19].



Рисунок 2.4 – Селективний індукційний міношукач Garrett`s Master Hunter CXIII

ІМШ ефективний при пошуку ВМП, патронів, куль, гільз, вогнепальної та холодної зброї в промисловій та міській забудові за наявності значної кількості металоконструкцій, металевого сміття, мінералізації ґрунту та інтенсивних електромагнітних перешкод. Одним з режимів роботи, пошук об'єктів заданого

типу з пропуском решти об'єктів. Візуальний двовимірний образ об'єкта виводиться на рідкокристалічний дисплей. Міношукачі має функцію зміни робочої частоти для забезпечення можливості паралельної роботи кількох приладів у їх безпосередній близькості [20].

Слід відзначити недолік всіх металошукачів, особливо імпульсних, можливість приведення до спрацьовування деяких типів підричників інженерних мін які містять магнітні датчики та саморобних електронних та електромеханічних підричників.

2.1.4 Ферролокатори

Особливий клас серед металошукачів представляють ферролокатори (рис. 2.5) – засоби пошуку заглиблених на глибину від 1 м до 6 м, великих металевих предметів із ферромагнітних матеріалів масою від кількох десятків до кількох сотень кілограмів. Ці прилади дозволяють виявити боєприпаси, склади зброї, авіабомби, великокаліберний снаряд.

Основні елементи: пошуковий пристрій, гальванометр-підсилювач, пульт управління, джерела живлення.

Принцип дії заснований на фіксації локальних змін магнітного поля Землі, що виникають від дії ферромагнітних корпусів боєприпасів. При переміщенні пошукового пристрою над боєприпасом, що знаходиться під землею або під водою, на вихідних контактах виникає сигнал, який реєструється індикатором, приладом пульта керування та вказує на наявність ферромагнітного предмета.



Рисунок 2.5 – Ферролокатор «ФТ-100 А»

Сучасні індукційні міношукачі та ферролокатори виконуються в сухопутному або підводному варіантах, причому глибина роботи приладів останнього варіанту виконання складає від 10 м до 30 м.

Для виявлення ВВП та багатьох інших об'єктів, прихованих у однорідних середовищах, можуть використовуватися радіохвильові детектори. Функціонування приладів засноване на випромінюванні електромагнітного надвисокочастотного сигналу і подальшому аналізі відбитого сигналу від ВВП, які мають контрастом діелектричної проникності по відношенню до середовища, в якому вони знаходяться. Можливість виявлення практично будь-яких об'єктів – металевих предметів, пустот, пластмасових та дерев'яних предметів.

В основному такі прилади застосовуються для пошуку протитанкових мін у корпусах з будь-якого матеріалу в порівняно однорідних ґрунтах на глибині від 0,15 м до 0,2 м.

2.1.5 Додаткове обладнання

Роботехнічним комплексом керує оператор з безпечної відстані. Вони бачать те, що бачить робот завдяки серії камер на зовнішньому корпусі робота, зображення передається на монітори операторів.

Зазвичай одна камера знаходиться в передній частині робота, щоб оператор бачив те, що відбувається, друга камера кріпиться на маніпулятор, забезпечуючи широкий вид навколишнього простору (рис. 2.6). Оригінальні роботи для знешкодження вибухонебезпечних пристроїв керувалися серією канатів.

У міру розвитку технологій для передачі команд на електричні системи робота використовували телекомунікаційний кабель. Проте кабель сильно обмежує робочий радіус робота. Існує також ризик, що кабель заплутається чи захопить об'єкт.



Рисунок 2.6 – Робот-сапер Superdroid Robots Mastiff

У наші дні більшість роботів-саперів управляються за допомогою бездротових технологій. Хоча це сильно збільшує їхній робочий діапазон, існує також ризик зламу, хоча це й не так просто через участь військових.

Щуп – загострений металевий стрижень, за допомогою якого зондують ґрунт, сніг з метою виявлення мін. Щупом можна знайти як металеві, так і інші міни. По довжині щупи поділяються на: довгі від 3 м до 5 м; середньої довжини від 1,5 м до 2,5 м; укорочені від 1 м до 1,2 м; короткі від 0,6 м до 1 м. Щупи можуть бути з одним наконечником та з кількома наконечниками. Крім спеціально виготовлених щупів застосовуються щупи-замінники, як то: багнети, шомпола, фінські ножі, сталеві прутки, дерев'яні палиці тощо. зверху, а збоку. Глибина проколу в землю до 40 см, у сніг – до 60 см.



Рисунок 2.7 – Щуп для пошукових робіт у верхніх шарах ґрунту

Стетоскоп - слуховий прилад, формою схожий на стетоскоп лікаря.

Призначення – визначати наявність мін із годинниковими механізмами. Стетоскоп дає можливість виявити міну роботи годинного механізму: за дерев'яною стінкою товщиною до 20 см; за кам'яною стіною завтовшки до 35 см; у землі на глибині до 50 см; у снігу до 60 см. Для більшої зручності в роботі трубку стетоскопа потрібно з'єднати з вухом за допомогою гумової трубки.

2.2 Порівняльний аналіз методів виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою роботехнічних комплексів

Роботехнічний комплекс для пошуку ВВП має бути оснащений відповідними датчиками та засобами прийняття рішень.

Виявлення ВВП означає, що їх пошук залежить від наступних факторів у тому числі [21]:

- наявність у ВВП маси металу, наявність ВР;
- особлива форма снарядів, мін, боєприпасів;
- демаскуючі фактори (нерівності ґрунту, ВВП на поверхні ґрунту, зам'ята рослинність, витоптана поруч трава, сніговий покрив);
- наявність антен для дистанційного керування;
- наявність механізмів або таймерів, розміщених у ВВП;
- наявність магнітних, оптичних датчиків.

Найбільш ефективні ознаки демаскуючі ВВП, наведені у табл. 2.1. Основні фізичні характеристики: електропровідність, магнітна і діелектрична проникності, теплопровідність, твердість, коефіцієнти відображення і випромінювання у інфрачервоному та видимому діапазонах електромагнітних хвиль.

Демаскуючі ознаки, одні з найпоширеніших, за допомогою цих факторів можна виявити і ідентифікувати ВВП з великою імовірністю.

При аналізі методів виявлення ВВП, кожен з них має певні обмеження. Звичайно, при цьому необхідно враховувати як апріорну інформацію про об'єкт пошуку (розміри, матеріали тощо), так і властивості оточуючого середовища [21].

Таблиця 2.1 – Демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів

Вид контрасту між об'єктом і оточуючим середовищем	Тип об'єкту пошуку			
	Протипіхотні міни	Протитанкові міни	ВНП з компонентами електроніки	ВНП з кабельним управлінням
Електропровідна різниця	+	+	+	+
Магнітна різниця	±	±	+	+
Діелектрична різниця	+	+	+	+
Теплофізична різниця	±	±	±	±
Оптична різниця	±	±	±	±
Механічна різниця	+	+	+	+
Наявність парів ВР	±	±	±	±
Нелінійні електромагнітні властивості	±	±	+	±

Підвищити можливість знаходження і ідентифікації ВНП можливо при використанні одразу декількох різних методів пошуку (обладнати в одному роботехнічному комплексі 2 або 3 найефективніших методи під окрему задачу).

Традиційна система виявлення та ідентифікації мін та ВНП наведені у табл. 2.2.

– система типу А, призначена для виявлення та ідентифікації вибухонебезпечних предметів у середовищах, що покривають, і використовують енергію систем пошуку;

– системи типу П, що використовують енергію об'єкта пошуку.

Таблиця 2.2 – Методи виявлення ВВП

«А»	«П»
1. Механічний	1. Газоаналітичний
2. Оптичний	2. Ядерно-фізичний
3. Теплолокаційний	3. Біофізичний
4. Електромагнітний	4. Акустичний
5. Параметричний	5. Радіолокаційний
6. Радіохвильовий	6. Контактний

Нині у розробках найбільшого застосування знайшли такі методи: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплолокаційний та механічне зондування (рис. 2.8).

Саме вони дозволяють створити польові технічні засоби мін та ВВП, 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 та ін. – менш жорсткі, ніж для армійських міношукачів.

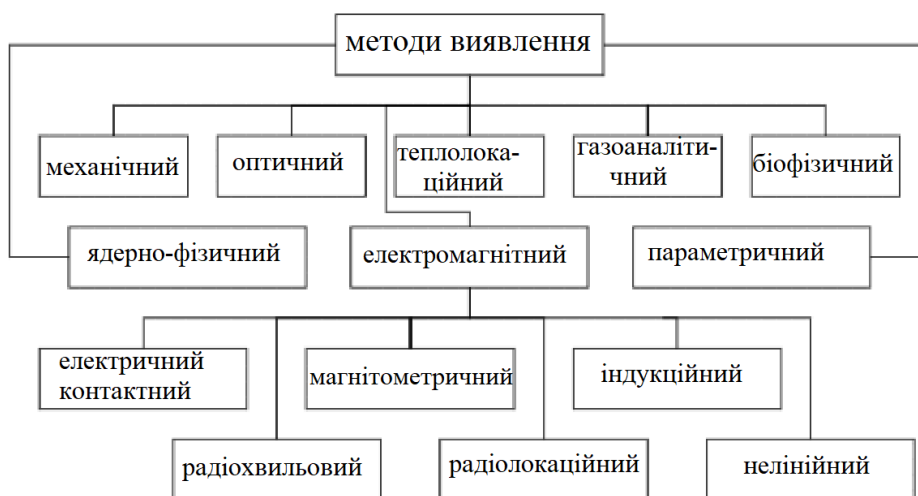


Рисунок 2.8 – Основні методи пошуку мін у середовищах, що вкривають

На таблиці 2.3 зображено властивості методів виявлення ВВП, такі як: проникна здатність, темп пошуку, та тип ВВП для пошуку.

Таблиця 2.3 – Властивості методів виявлення ВВП

Метод виявлення ВВП	Тип системи	Проникна здатність	Темп пошуку	Тип ВВП
Механічне зондування ґрунту	активні системи	поверхня ґрунту	150 м/год	Всі типи ВВП
Оптичний метод виявлення	активні системи	поверхня ґрунту	350 м/год	Всі типи ВВП
Теплолокаційне метод виявлення	активні системи	поверхня ґрунту	100 м/год	Всі типи ВВП
Електромагнітні методи виявлення	активні системи	поверхня ґрунту	300 м/год	Всі типи ВВП
Контактний електричний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	200 м/год	Всі типи ВВП
Магнітометричний метод виявлення	пасивні системи	до 1 м	150 м/год	Феромагнітні ВВП
Індукційний метод виявлення	пасивні системи	до 0,1 м	150 м/год	Металеві ВВП
Радіохвильовий метод виявлення	активні системи	до 0,1 м	400 м/год	Всі типи ВВП
Радіолокаційне зондування середовищ	пасивні системи	до 1 м	300 м/год	Всі типи ВВП
Газоаналітичний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	200 м/год	Всі типи ВВП
Біофізичний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	200 м/год	Всі типи ВВП
Ядерно-фізичний метод виявлення	пасивні системи	поверхня ґрунту	250 м/год	Всі типи ВВП

2.2.1 Метод механічного зондування ґрунту

Реалізувати цей метод можна з використанням щупів (рис. 2.9). За допомогою щупів проколюванням поверхневого шару землі здійснюється пошук інженерних

боєприпасів та уточнюється характер виявленого предмета. Подібні щупи є в більшості комплектів армійських міношукачів, як вітчизняних, так і закордонних; ефективний лише пошук ІБП, встановлених на глибини від 10 см до 15 см.

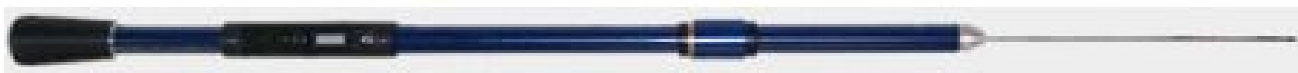


Рисунок 2.9 – Електронно-контактний щуп, для пошуку металевих об'єктів

2.1.2 Оптичний метод пошуку

Оптичне видиме випромінювання у більшості випадків не проникає у середовище, що вкриває.

Однак виявлення прихованого об'єкта можна здійснювати за непрямими ознаками — порушення структури природного фону навколишнього середовища в місці встановлення цього об'єкта.

Фізично тут реалізується, як правило, контраст у коефіцієнтах відображення окремих хвиль оптичного випромінювання сонця, штучного підсвічування.

Можливі методи пошуку при цьому візуальний (використання оптичних засобів), аерофотографічний, спектральних, фотографічний, телевізійний, лазерний.

Для виявлення ВВП за допомогою оптичного метода використовують спеціальний детектор.

Лідар – детектор отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Лідар

2.2.3 Тепло-локаційний метод виявлення

При ідентифікації будь-якого об'єкта в середовищі, що вкриває, з'являється порушення самої структури, наприклад у щільності, навіть при ретельному маскуванні. При цьому виникає відмінність у ступенях теплового випромінювання середовища, розташованого над об'єктом пошуку та іншого природного фону. Для виявлення ВВП за допомогою оптичного метода використовують тепловізори (рис. 2.11).

Серед недоліків даного методу, які заважають його використанню для пошуку малогабаритних об'єктів штучного походження в прикритих середовищах, можна виділити:

- велика кількість перешкод, через неоднорідність шару ґрунту і рослинності;
- наявність порівняно великого проміжку часу протягом доби (від 6 год до 8 год), в якому тепловий контраст між місцем установки заглибленого об'єкта і фоном відсутня;

– велика ціна апаратури. Вартість чутливих зразків становить до десяти тисяч доларів США.



Рисунок 2.11 – Двоканальний тепловізійно-телевізійний прилад

2.2.4 Електромагнітні методи виявлення ВВП

В даний час виявлення аномалій у середовищах за допомогою електромагнітних полів широко використовується в різних галузях науки і техніки. У загальному випадку електромагнітний метод виявлення полягає в реєстрації змін зондуючого електромагнітного поля при попаданні в нього об'єкта пошуку через контраст електромагнітних характеристик між цим об'єктом і середовищем. Первинне поле може бути природним, як постійне магнітне поле Землі, поле грозових розрядів, або штучного походження — власне пристрою, радіостанції.

Для пошуку ВВП електромагнітним методом виявлення можна використовувати багато різного обладнання (табл. 2.4), серед них найпоширеніші: металошукач (рис. 2.12), радіолокатор (контрбатарейна РЛС (рис. 2.13), багатофункціональна РЛС управління, П-18 «Малахит»).

Таблиця 2.4 – Прилади для електромагнітного методу пошуку ВВП

Метод	Детектори та обладнання для виявлення ВВП
Електромагнітні методи виявлення	Металошукач
	Радіолокатор
	Електричний імпедансний томограф
	Радіометр на міліметрових хвилях
	Мікрохвильовий радіометр
	Інфрачервоний спектроскоп



Рисунок 2.12 – Металошукач з функцією мінопошуку Nokta/Makro

Контрбатарейна РЛС — мобільна РЛС, яка виявляє артилерійські снаряди, випущені одним або кількома гарматами, мінометом, або ракетною установкою, та за їх траєкторією обчислює місце знаходження зброї. Розвинені системи здатні оперативно передавати інформацію для дружньої артилерії, для завдання контрбатарейного удару. Деякі радари, такі як AN/TrQ-37 або COBRA здатні

обчислювати місце приземлення снаряду.



Рисунок 2.13 – Контрбатарейна РЛС 1Л220УК

Контактний електричний метод виявлення. За цим методом пошуку об'єктів у ґрунті широко використовується в електророзвідці корисних копалин. Сутність цих методів полягає у фіксації спотворенні зовнішнього електричного і магнітного поля, що виникають при обтіканні струмом об'єкта пошуку, що знаходиться в ґрунті. Зовнішнє поле створюють за допомогою металевих електропроводів, що мають електричний контакт з ґрунтом. Але метод опорів, як і інші електричні контактні методи, дуже трудомісткий. Механізувати пересування зондів досить важко, жорстке кріплення їх на рамі неможливо, через різницю в механічному тиску на зонді для занурення у ґрунт. Але сама технічна реалізація методу нескладна. Низькочастотна апаратура дуже проста, відносно недорога і може бути виготовлена в аматорських умовах.

Магнітометричний метод виявлення. При використанні даного методу можливо зафіксувати просторові спотворення магнітного поля Землі, створювані феромагнітними об'єктами пошуку. Виявлення діамагнітних, діелектричних об'єктів при використанні цього методу неможливе. Використання переносної апаратури із застосуванням цього методу всередині або поблизу сучасних споруд,

будівель, мостів, аеродромів, утруднено через зважаючий вплив сталевих елементів в їх конструкцій. Іноді і в гірській місцевості багатой на металовмісні руди, використання магнітометрів утруднено.

Магнітометр — прилад для вимірювання характеристик магнітного поля та магнітних властивостей матеріалів (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Квантовий калієвий магнітометр ПКМ-1

Індукційний метод виявлення. Пошук металевих об'єктів найбільш поширений та широко використовується для виявлення рукотворних об'єктів, виконаних з металу або які мають окремі металеві елементи у своїй конструкції, причому метал може бути як феромагнітним, так і діамагнітним.

Індукційний метод виявлення провідних металевих об'єктів заснований на реєстрації вторинних полів вихрових струмів, що виникають у цих тілах під впливом первинного низькочастотного магнітного поля. Первинне магнітне поле створюється за допомогою котушок, які живляться за допомогою змінного струму. Вихровий струми залежать від сили струму генераторної котушки, його частоти та конфігурації об'єкта пошуку. Висока чутливість міношукача призводить до того, що на одну виявлену міну припадає від 100 до 1100 хибних сигналів, джерелами яких стають уламки або кулі, які знаходяться в землі. Це робить практично неможливим подальше використання приладу і змушує сапера використовувати саперний щуп і по сантиметрах перевіряти перед собою ґрунт.

Індукційний міношукач — загальновійськовий міношукач, призначений для пошуку протитанкових та протипіхотних мін, встановлених у ґрунт, сніг чи

бродах (рис. 2.15).



Рисунок 2.15 – Індукційний міношукач ІМП-2

Радіохвильовий метод виявлення. При опроміненні напівпровідних середовищ ВЧ або НВЧ електромагнітним полем будь-які неоднорідності, як порожнеча, металеві або пластмасові предмети, розміри яких можна порівняти з довжиною хвилі, будуть розсіювати це поле.

Частина відбитої енергії може бути зафіксована приймальним пристроєм шукача.

Фактично радіохвильовий метод є окремим випадком широко відомого методу радіолокації виявлення об'єктів.

Основна відмінність полягає в тому, що в радіохвильовому методі відстань до об'єкта пошуку можна порівняти з робочою довжиною хвилі електромагнітного поля.

Процес виявлення здійснюється на малих відстанях — у ближній або проміжній зоні випромінювання передавальної антени шукача.

Переносний радіохвильовий міношукач РВМ-2 був створений для пошуку

протитанкових і протипіхотних мін в корпусах з будь-яких матеріалів (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 – Радіохвильовий міношукач РВМ-2

Радіолокаційне зондування напівпровідних середовищ. З усіх методів виявлення радіолокаційний метод є одним із найбільш перспективних.

Насамперед можливістю РЛС дистанційно виявити і розпізнавати об'єкти незалежно від метеорологічних умов і природного освітлення Землі.

Крім того, НВЧ — зондувальні електромагнітні поля мають проникаючу здатність через напівпровідні середовища: ґрунт, засіяні поля, лід, воду, тощо, під якими можуть знаходитися об'єкти пошуку.

2.2.5 Газоаналітичний метод виявлення

Вибуховий пристрій містить в собі хоча б декілька грамів вибухонебезпечної речовини. Тому ВВП, можна виявити шляхом реєстрації газоподібних випарів продуктів повільного розкладання, випаровування вибухових речовин.

Реєстрацію можна здійснити за допомогою хімічної, мас-спектрометричної та інших способів.

В даний час прикладом даного методу виявлення вибухових речовин є собачий ніс (рис. 2.17).



Рисунок 2.17 – Собака для пошуку ВВП

2.2.6 Біофізичний метод виявлення

Біофізичний ефект зводиться до того, що в руках осіб відрізок гнучого металевого дроту, роздвоєна гілка або інший індикатор поблизу підземних аномалій відхиляється або обертається. Працююча гіпотеза пояснює БФЕ як реакцію людини-оператора на просторові градієнти природного електромагнітного поля, пов'язані з наявністю підземних аномалій. Серед основних причин, що перешкоджають в даний час широкому використанню БФЕ для виявлення рукотворних об'єктів у середовищах, їх залежність надійності виявлення об'єктів пошуку від психофізіологічного стану оператора і неможливість в даний час створення пошукового приладу на основі БФЕ через відсутність повної ясності природи цього ефекту [22].

2.2.7 Ядерно-фізичний метод виявлення

Проблема виявлення прихованих закладок вибухових речовин має глобальний міжнародний характер і вимагає якнайшвидшого рішення. При виявленні закладок з корпусом із пластмаси або які не мають такого і містять мінімальну кількість металевих деталей, пошук таких ВВП сучасними

міношукачами вкрай утруднено. Перспективним прямим методом пошуку ВР, встановленого в ґрунт, є ядерно-фізичний метод виявлення та ідентифікації, заснований на застосуванні імпульсного нейтронного випромінювання.

Серед детекторів та обладнання для виявлення ВНП ядерно-фізичним методом можна виділити нейтронно-активаційний аналіз та ядерний квадрупольний резонанс (табл. 2.5).

Нейтронно-активаційний аналіз (НАА) — методика визначення концентрацій хімічних елементів у зразку завдяки ядерному процесу з участю нейтронів. НАА дозволяє визначати вміст елементів, оскільки хімічна формула зразка для нього неістотна.

Ядерний квадрупольний резонанс – резонансне поглинання ЕМ енергії, обумовлене квантовими переходами ядра між енергетичними рівнями з різною орієнтацією електричного квадрупольного моменту ядра. ЯКР є окремим випадком ядерного магнітного резонансу (ЯМР) в кристалах.

Таблиця 2.5 – Прилади для ядерно-фізичного методу пошуку ВНП

Ядерно-фізичний метод виявлення	Детектори нейтронного випромінювання
	Ядерний квадрупольний резонанс

Принцип дії: для початку відбувається опромінення імпульсним потоком нейтронів; реєстрація зворотно - розсіяних нейтронів гамма - квантів радіаційного захоплення; обробка даних за заданим алгоритмом; результатом зондування визначаються об'єкти з аномальним вмістом легких елементів і азоту, що є ключовим фактором наявності ВНП.

2.3 Висновки до другого розділу

Отже, нині немає єдиного універсального високоефективного засобу для

пошуку та ідентифікації ВР та ВНП. Прийнятний рівень надійності виявлення цих об'єктів може бути досягнутий тільки шляхом комплексного використання різних технічних засобів і з урахуванням безпеки операторів в умовах можливого застосування реальних вибухових пристроїв.

Серед засобів пошуку, як приклад було обрано міношукач Pirat (рис. 2.18).



Рисунок 2.18 – Металошукач імпульсний Pirat

Пірат – імпульсний металошукач із простою та доступною для повторення схемою. Металошукач містить невелику кількість елементів та просту для виготовлення пошукову котушку. З котушкою 280 мм, пірат буде бачити дрібні ВНП до 20 см, а великий снаряди до 1,5 м.

Серед особливостей металошукача Пірат ТЛ можна виділити:

- доступна ціна - це найдешевший металошукач на ринку;
- хороша якість - міцний, протиударний і котушка не боїться води.
- максимальна глибина пошуку – до 2 м;
- реакція на всі типи металів — чорні, кольорові, ідеально підходить для пошуку чорного металу, оскільки є можливість відсікати сміття;
- потужна водонепроникна котушка — дозволяє занурювати у воду Пірат ТЛ до блоку управління;
- легка вага –1,3 кг, що дозволяє проводити тривалі пошуки без втоми.

Для спостереження за полем бою або розпізнання загроз робот оснащений двома відеокамерами. Додатково встановлюють камери інфрачервоного спектру, камери нічного виду та ліхтарі. Оператор комплексу виконує роботу з пульту керування, що підтримує радіо- або оптоволоконний зв'язок з роботом.

Серед засобів пошуку було обрано магнітометричний метод виявлення, з використанням міношукача, та оптичний метод пошуку, завдяки якому оператор може розпізнати ВВП, на безпечній відстані.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ МАНІПУЛЯТОРІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ТА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

3.1 Моделювання маршруту гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів військового призначення

Процес гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів військового призначення враховує в собі етапи:

- продумати розмінування місцевості;
- організація завдання по розмінуванню;
- розвідка території на забруднення ВНП;
- пошук та ідентифікація ВНП;
- маркування знайдених ВНП;
- внесення даних про розмінування;
- відгородження мирного населення від зони роботи.

Схема зони проведення робіт з пошуку ВНП (рис. 3.1).

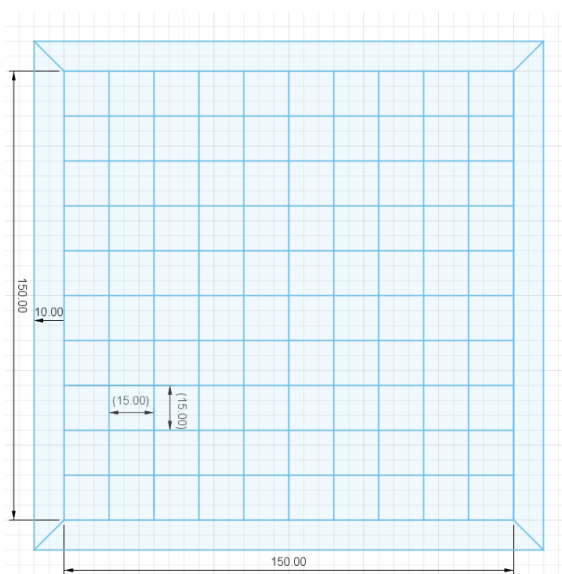


Рисунок 3.1 – Схема зони розмінування

Для пошуку ВВП на місцевості робочої зони розміром 150 м на 150 м роботехнічному комплексу необхідно близько 4 год.

Для початку необхідно визначити безпечну зону, для оператора, мирних жителів і для вільного пересування робота. Після цього визначаються розміри ділянки на якій буде відбуватись пошук та маркування ВВП.

Пошук та маркування ВВП буде здійснюватися спочатку по периметру забрудненої зони, потім роботехнічний комплекс розпочинає процес пошуку послідовно-паралельним способом, до виходу на вже маркіровану зону.

Схема руху робота при пошуку та маркуванні наведено на рис. 3.2.

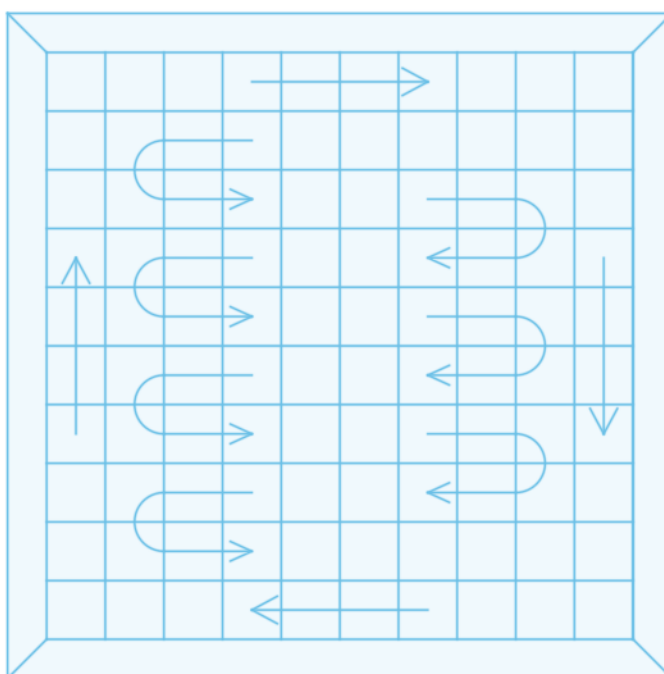


Рисунок 3.2 – Маршрут робота при пошуку ВВП

Під час проведення роботи з пошуку ВВП, створюється топографічна карта з координатами розташування виявлених ВВП (рис. 3.3), для їх розмінування.

Для визначення координат використовують GPS-трекер, похибка при визначенні дальності до 15 см.

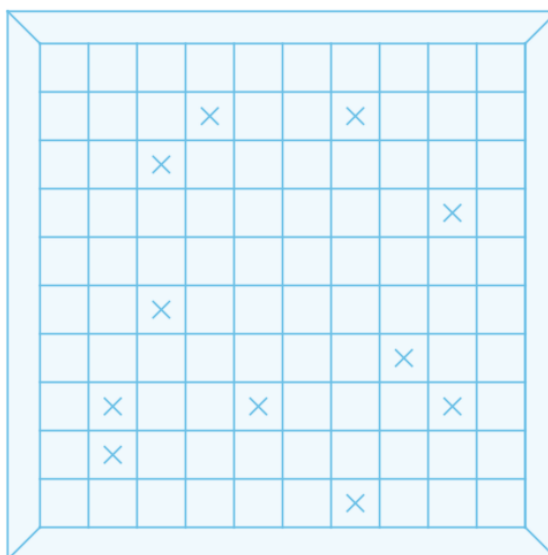


Рисунок 3.3 – Топографічна карта перевіреної зони

При визначенні об'єкта як ВВП, оператор доповідає відповідній людині для визначення можливого ступеня небезпеки ВВП і прийняти рішення про подальші дії. У разі відсутності явних ознак ВВП але має схожість з ВВП (уламки ящиків, приладдя, уламків гранат), долучається загін саперів, які самостійно вилучають безпечний об'єкт, при цьому не забруднюючи середовище залишками ВР.

Якщо об'єкт визначено як ВВП, відбуваються заходи по розмінуванню або вилученню ВВП, для переміщення їх на полігон для подальшої детонації.

Після завершення огляду ділянки робот може бути зібраний для переміщення або повторення процедури пошуку та ідентифікації іншої зони забрудненої ВР.

3.2 Моделювання програмного модуля маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів

У цьому розділі описано розробку схемного рішення роботизованої системи для розмінування, яка оснащена системою маніпуляторів.

Два і більше маніпулятора можуть значно збільшити можливості швидкості та надійності робочого процесу з пошуку та ідентифікації ВВП [21]. У цьому

проекті робототехнічний комплекс оснащений колісному шасі, встановлено два маніпулятори відеокамера, для контролю процесу оператором (рис. 3.4), (рис. 3.5).

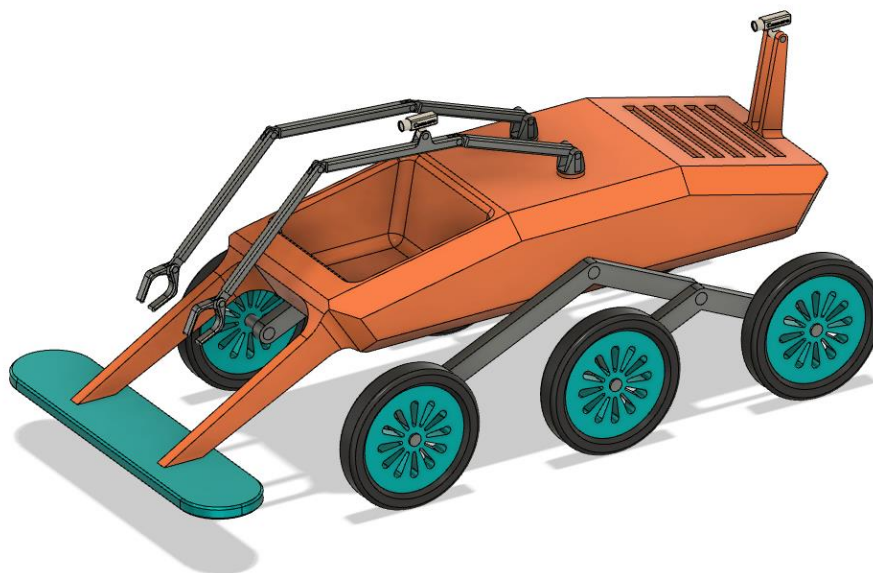


Рисунок 3.4 – Тривимірна модель створеного робота

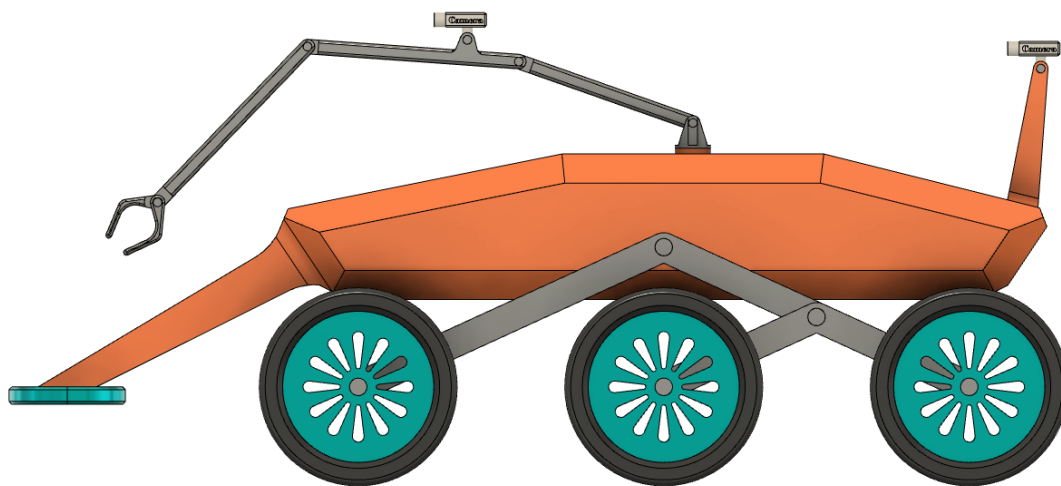


Рисунок 3.5 – Тривимірна модель робота (вид збоку)

При установці двох маніпуляторів робочий простір робота розширюється, зменшується «сліпа зона», де неможлива роботизована робота. Порівняно з одним

маніпулятором два маніпулятори можуть збільшити вантажопідйомність і точність роботи.

До маніпулятора прикріплено камеру, яка забезпечує оператора можливістю контролювати ситуацію та оточення об'єктів.

Кожен маніпулятор складається з ланок, з'єднаних шарнірними з'єднаннями, на які вони встановлені. Привід керованого обертового руху - забезпечує загалом п'ять ступенів свободи.

У цьому розділі описується та аналізується кінематика маніпулятора. Обраним рішенням для маніпулятора є шарнірний механізм, встановлений на поворотному шарнірі, прикріпленому до платформи на шасі.

Маніпулятор має кутову систему координат - кожна ланка пов'язана із суміжною керованою кутовою координатою від q_0 до q_4 (рис. 3.6) [22].

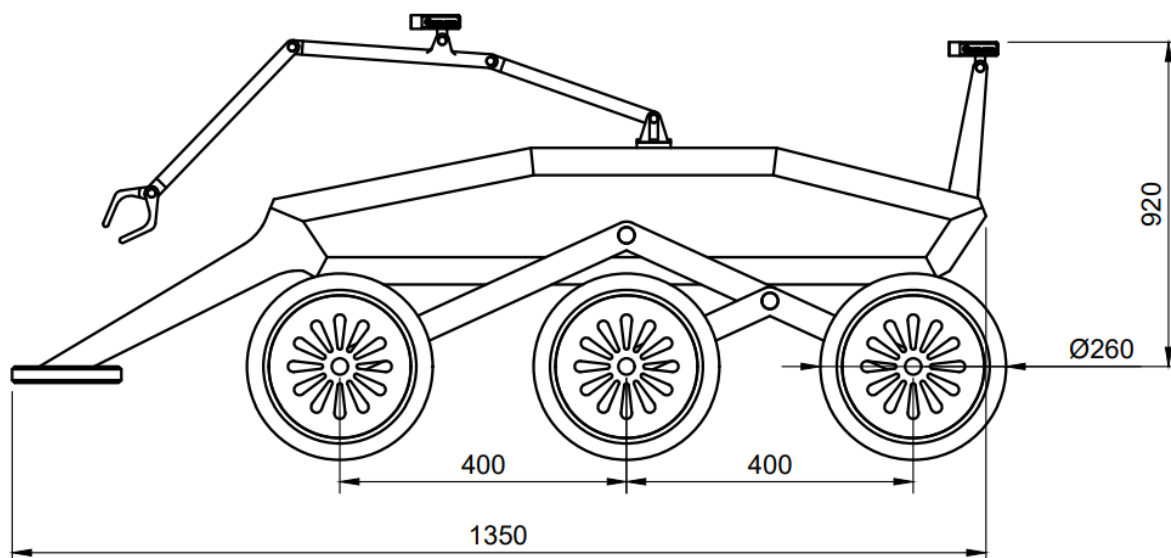


Рисунок 3.6 – Кінематична схема роботехнічної системи

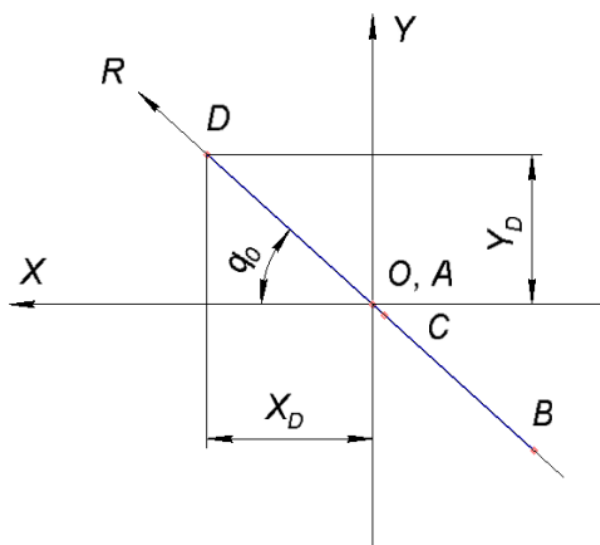
Конструкція роботизованої руки забезпечує 5 ступенів свободи для маніпулювання захватом і 2 ступені свободи для обертання камери.

Управління та зміна контрольованих координат здійснюватиметься дистанційним керуванням у заданому діапазоні (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика керованих координат

Керована координата	Діапазон значень	Максимальна кутова швидкість
q_0	-180° до $+180^\circ$	$30^\circ/\text{с}$
q_1	0° до 180°	$40^\circ/\text{с}$
q_2	0° до 360°	$40^\circ/\text{с}$
q_3	0° до 180°	$40^\circ/\text{с}$
q_4	0° до 360°	$40^\circ/\text{с}$
q_5	0° до 360°	$50^\circ/\text{с}$
q_6	-90° до $+90^\circ$	$50^\circ/\text{с}$

Аналіз кінематики. а саме з точки зору макропереміщень та мікропереміщень. Для знаходження макропереміщень вичислимо координати бази захвату 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 , що повернута від площини XOY на кут q_0 . Суглоби механізму послідовно позначені буквами A, B, C, D . Визначимо проекції цих точок на осі R та Z , а потім проекцію відрізка OD на осі X та Y (рис. 3.7).

Рисунок 3.7 – Координати шарнірів маніпулятора в площині ROZ

Проекції шарнірів на вісь R визначаємо за формулами:

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

$$R_B = -AB \times \cos q_1; \quad (3.2)$$

$$R_C = R_B + BC \times \cos (q_2 - q_1); \quad (3.3)$$

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

Проекція шарнірів на вісь Z:

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

$$Z_B = Z_A + AB \times \sin q_1; \quad (3.6)$$

$$Z_C = Z_B + BC \times \sin (q_2 - q_1); \quad (3.7)$$

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

Проекція відрізка OD на вісь X:

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

Проекція відрізка OD на вісь Y:

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

Формули для знаходження лінійних координат точки D відносно платформи шасі:

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

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

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

Швидкість та прискорення точки D визначаються як похідні координати:

$$V_{X_D} = \frac{dX_D}{dt}; V_{Y_D} = \frac{dY_D}{dt}; V_{Z_D} = \frac{dZ_D}{dt}; \quad (3.14)$$

$$a_{X_D} = \frac{d^2X_D}{dt^2}; a_{Y_D} = \frac{d^2Y_D}{dt^2}; a_{Z_D} = \frac{d^2Z_D}{dt^2}. \quad (3.15)$$

Кутові координати точки D дорівнюють:

$$\varphi_D = 180^\circ - \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(q_3 - q_2 + q_1)}{\sin q_0}\right); \quad (3.16)$$

$$\theta_D = -\arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(q_3 - q_2 + q_1)}{\cos q_0}\right). \quad (3.17)$$

Фактичні значення координат, визначаються завдяки заданому закону зміни керованих координат.

Для оцінки мікропереміщень можна використати матрицю Якобі.

Координати кінця маніпулятора знаходяться за функціональною залежністю від величин керованих координат:

$$(x_i) = f[(q_i)], \quad (3.18)$$

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

(q_i) – вектор керованих координат:

$$(x_i) = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}; (q_i) = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix}. \quad (3.19)$$

Формула мікропереміщень за допущення рівності диференціалів та малих приростів за допомогою диференціювання:

$$(\delta x_i) = (m_{ij}) \times (\delta q_j). \quad (3.20)$$

де (δx_i) – вектор приростів координат верхівки маніпулятора;

(δq_i) – вектор приростів у керованих координат,

(m_{ij}) – матриця Якобі ($m_{ij} = \delta f_i / \delta q_j$; $i=1 \dots 6$; $j=1 \dots 5$):

$$(m_{ij}) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} & m_{35} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} & m_{45} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} & m_{55} \\ m_{61} & m_{62} & m_{63} & m_{64} & m_{65} \end{bmatrix}. \quad (3.21)$$

Результат розрахунків – отримана матриця. Значення мікропереміщень можна знайти, підставивши закони зміни керованих координат.

Робочу зону маніпулятора можна знайти завдяки антропоморфній конструкції маніпуляторів, робоча зона має достатньо великий об'єм, близький до півсфери. Для знаходження робочого простору в проєкціях на фронтальну, бокову та горизонтальну площини треба ввести позначення для подальшого розрахунку: S_ϕ – площа робочого простору у фронтальній проєкції; S_Γ – площа в горизонтальній проєкції; S_Π – площа в профільній проєкції; пересічення (\wedge) та сума (\vee) робочих просторів, індекс яких показує належність до першого або другого маніпулятора.

Проєкція фронтальної площини робочого простору дорівнює:

$$S_{\phi 1} = S_{\phi 2} = 3,85 \text{ м}^2;$$

$$S_{\phi 1 \wedge 2} = 3,42 \text{ м}^2;$$

$$S_{\phi 1 \vee 2} = 4,33 \text{ м}^2.$$

Проекція на горизонтальну площину робочого простору дорівнює:

$$S_{r1} = S_{r2} = 5,5 \text{ м}^2;$$

$$S_{r1\wedge 2} = 5,03 \text{ м}^2;$$

$$S_{r1\vee 2} = 5,99 \text{ м}^2.$$

Проекція профільної площини робочого простору для обох маніпуляторів буде дорівнювати:

$$S_{п1} = S_{п2} = 3,45 \text{ м}^2.$$

Для визначення відсотка на який збільшено загальний робочий простор у фронтальних та горизонтальних площинах після використання другого маніпулятора. Коефіцієнт складатиме:

$$k_{\phi} = \left(\frac{S_{\phi 1\vee 2}}{S_{\phi 1}} - 1 \right) \times 100 \% = \left(\frac{4,33}{3,85} - 1 \right) \times 100 \% = 12,4 \%, \quad (3.22)$$

$$k_r = \left(\frac{S_{r1\vee 2}}{S_{r1}} - 1 \right) \times 100 \% = \left(\frac{5,99}{5,5} - 1 \right) \times 100 \% = 8,9 \%. \quad (3.23)$$

Установка другого маніпулятора при обраній в даному проекті компоновці збільшує робочий простір в проекціях на 12,4 % у фронтальній площині та на 8,9 % у горизонтальній площині; велика частина робочої зони стає доступна для оперування одночасно обома маніпуляторами, отримуємо доступ до більших можливостей функціонування.

3.3 Конструкція робототехнічного комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів

Розробку робота-розмінувальника слід починати з дослідження характеристик мін і параметрів мінного поля. Характеристики міни визначають тип

сенсорного блоку міни та деякі параметри керування роботом, наприклад швидкість пошуку та крок сканування (рис. 3.8).

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

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

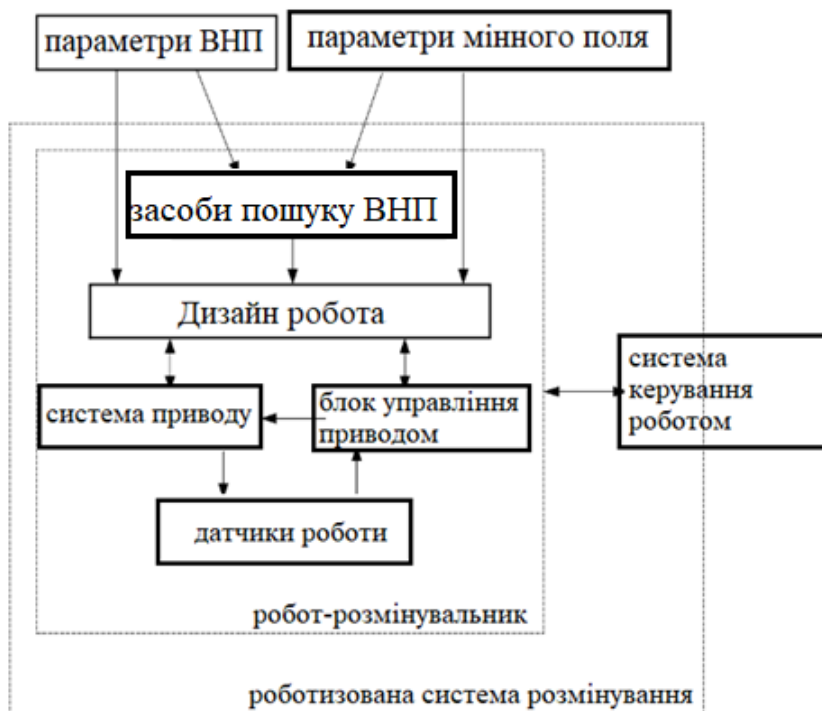


Рисунок 3.8 – Схема роботизованої системи розмінування

Архітектура роботизованої системи розподіленого керування показано на рис. 3.9.

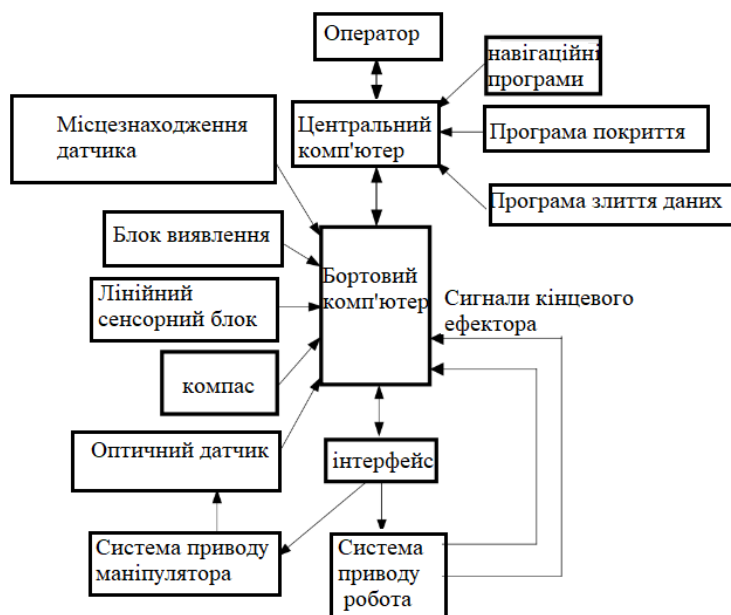


Рисунок 3.9 – Структура розподіленої керуючої роботизованої системи

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

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

Лінійний сенсорний блок дозволяє мати інформацію про величину кроків робота та організувати контур управління зворотним зв'язком для позиціонування елементів приводу робота в заданих точках. Блок виявлення складається з датчиків

виявлення, які дають інформацію про різні параметри мін. Програма об'єднання даних для дистанційного виявлення підземних мін дозволяє зменшити кількість помилкових тривог і підвищити надійність і точність операцій з розмінування. Він використовує синергію інформації, що надходить із різних джерел. Об'єднання даних дозволяє формалізувати комбінацію цих вимірювань, а також контролювати якість інформації в процесі об'єднання.

3.3.1 Будова робота

Конструкція робота наведена на рис. 3.10. Він складається з корпусу 1, шести коліс 2, які встановлені на підвіску 3.

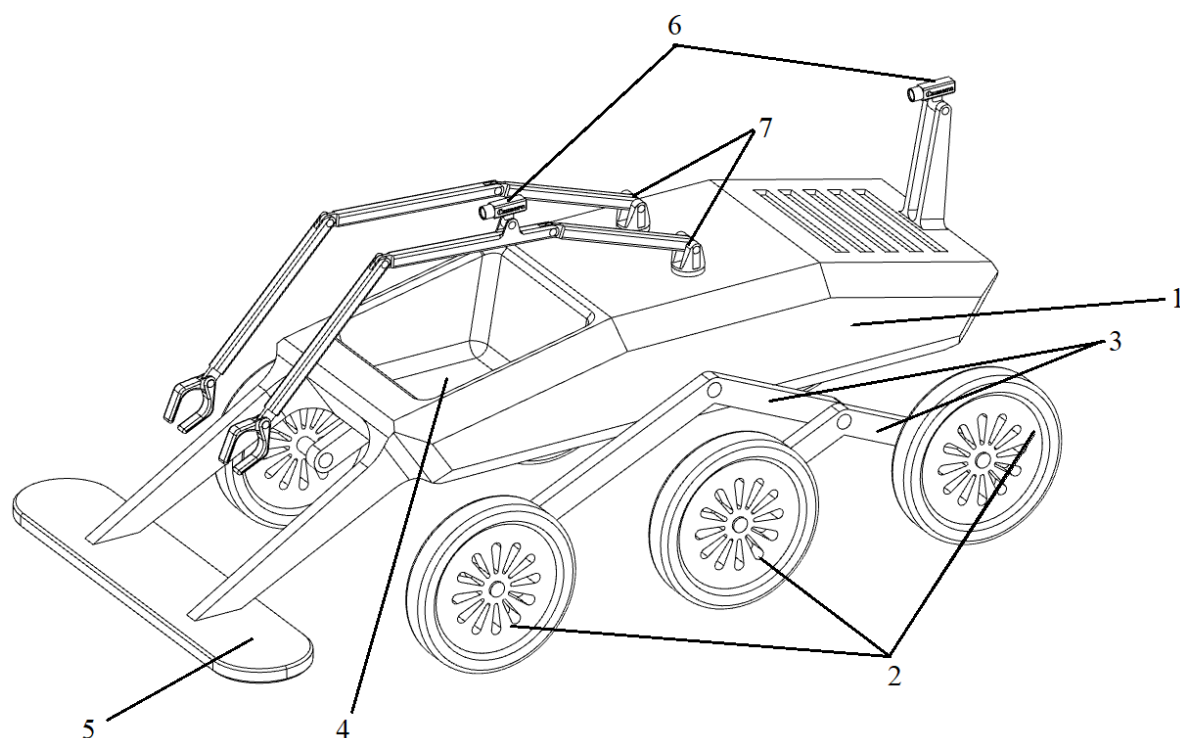


Рисунок 3.10 – Конструкція робота

На корпусі розташовано відсік з мітками для фізичного маркування виявлених ВМП. Блок детектування складається з міношукача 5. Цей блок з'єднаний з передньою частиною корпусу. У задній частині корпусу та на

маніпуляторі розташовано дві камери 6, для загального виду та для ідентифікації ВНП. У центрі платформи знаходяться два технічних маніпулятори 7. Бортовий керуючий комп'ютер та двигуни, блок живлення, та передавач даних.

3.3.2 Рух робота

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

Обертання робота здійснюється за рахунок обертів передніх та задніх коліс (рис. 3.11).

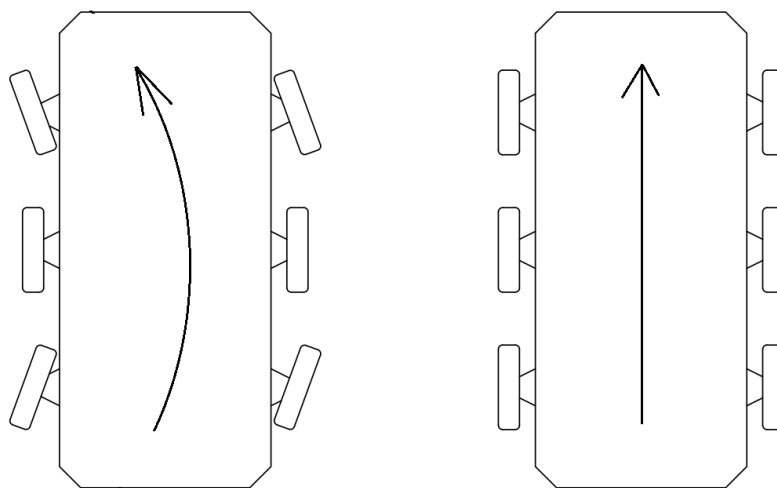


Рисунок 3.11 – Режими обертання

Другий режим – режим пошуку. У цьому режимі сенсорний блок повинен виконувати пошукові функції і переміщатися по траєкторії сканування [27].

Для кращої маневреності та підвищеної стабільності в русі за складним рельєфом може бути створена інтелектуальна система для керування роботом [28].

Завдяки інформації від датчика та системи камер можна створити приблизну 3D-модель поверхні на шляху робота, щоб спланувати закономірність руху кут нахилу робота до тіла протягом певного періоду часу. Після виконання багатofакторного аналізу інтелектуальна система повинна вибрати найкращий варіант шляху, враховуючи мінімізацію часу проходження, мінімізацію динамічного навантаження на маніпулятор, максимізацію стійкості та запобігання перекиданню (рис. 3.12) [29].

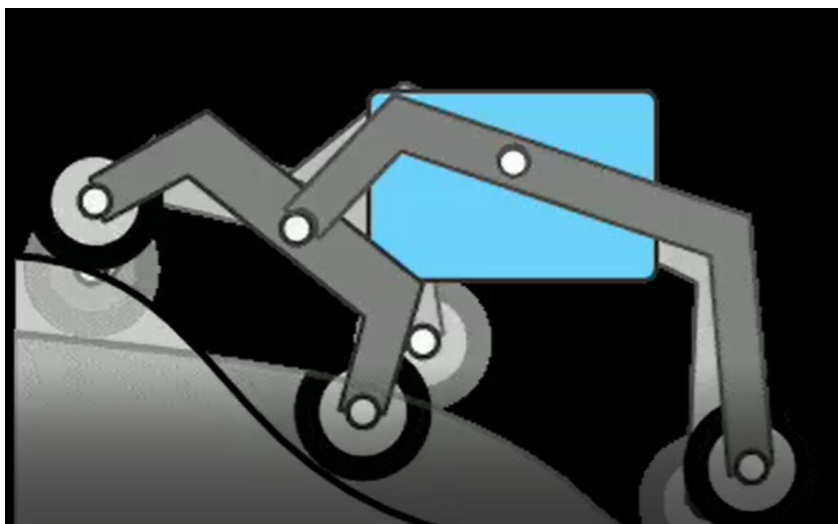


Рисунок 3.12 – Приклад керування при нахилі

Інтелектуальна система може мати жорстку алгоритмічну структуру, проте, варто застосувати штучні нейронні мережі та генетичні алгоритми, що дуже добре показують себе для створення програм керування з великою кількістю факторів та невизначеностями.

Для початкового етапу має бути створена програма для проходження шасі робота складної двовимірної поверхні, яка може бути отримана як сума випадкових синусоїд.

У комп'ютерних симуляторах можна відразу запускати декілька роботів на оцінку їх проходження по згенерованій місцевості.

При виборі певних критерій можна обрати найкращого представлення, через генетичні зміни алгоритму нейронних мереж і створення нових поколінь систем керування. Повторюючи процес з нуля велику кількість раз, можна отримати систему, яка буде долати перешкоди на достатньо високому рівні.

Отримана схема автоматизації дозволить оператору не враховувати геометрію перешкод попереду робота, а лише вказує напрямок руху та бажану швидкість [23, 24, 25] (рис. 3.13).

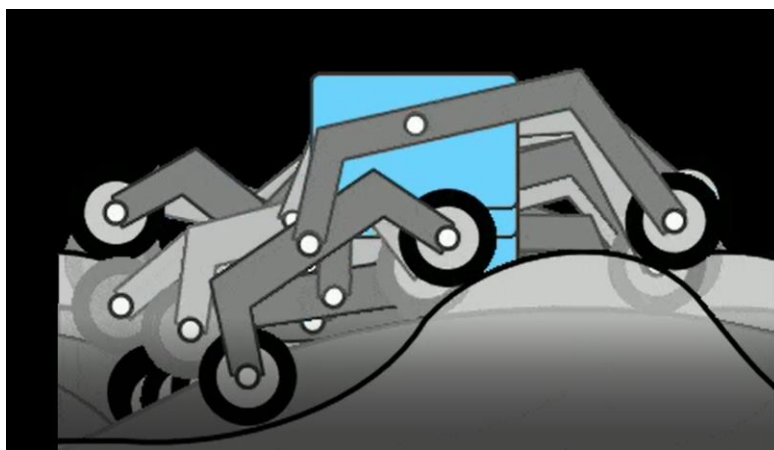


Рисунок 3.13 – Навчання системи завдяки комп'ютерній симуляції

Робот із двома маніпуляторами який був розроблений у роботі для пошуку ВНП. Робот містить також наступні модулі: змінні захвати модульного типу, система відеоспостереження зі стереоскопічною камерою, система зв'язку і управління та інтерфейс користувача.

Результати теоретичних випробувань показали ефективність розробленої робототехнічної системи, також виявлено деякі недоліки робота. Враховуючи ненадійність виявлення ВНП для різних роботів у неструктурованому середовищі, розпізнавання ВНП є найскладнішим завданням для підвищення ефективності робота. Для усунення цих перешкод у рамках запропонованої системи було

запроваджено стратегію взаємодії людини та робота.

Завдання розпізнавання ВВП було реалізовано оператором шляхом вказування ВВП на екранному інтерфейсі, що відображає робочу ділянку. Потім за допомогою стереокамери було отримано просторове положення маркованого об'єкту.

Крім розпізнавання ВВП, порядок руху транспортного засобу також задавався оператором через інтерфейс користувача. Інші операції виконував сам робот. Всю послідовність завдань операції збирання для робота з двома маніпуляторами показано на рис. 3.14.

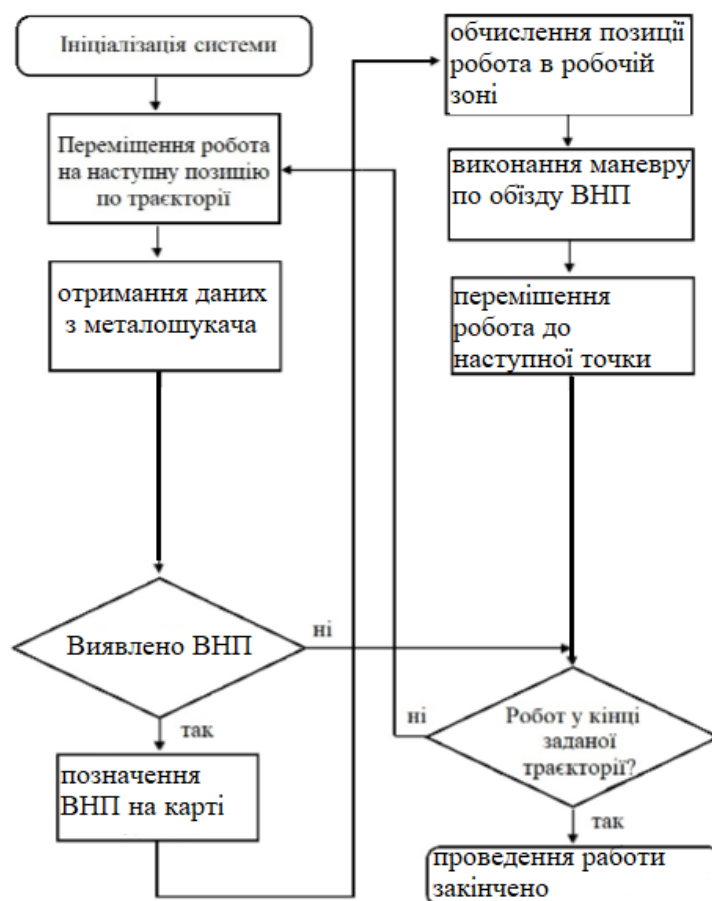


Рисунок 3.14 – Послідовність дій операції пошуку ВВП

3.3.3 Датчики для виявлення мін

Металошукач. Змінні електромагнітні поля викликають реакції в металевих предметах. Передавальна котушка, вбудована в пошукову головку металошукача, створює таке поле. Коли пошукова головка рухається над землею, приймальна котушка в пошуковій голівці виявляє дуже незначні коливання електромагнітного поля, спричинені металевими предметами. Потім варіації обробляються для створення в сигнал, що вказує на наявність металу в землі під пошуковою головкою. Металошукач встановлений на передній частині робота, як показано на рис. 3.15.

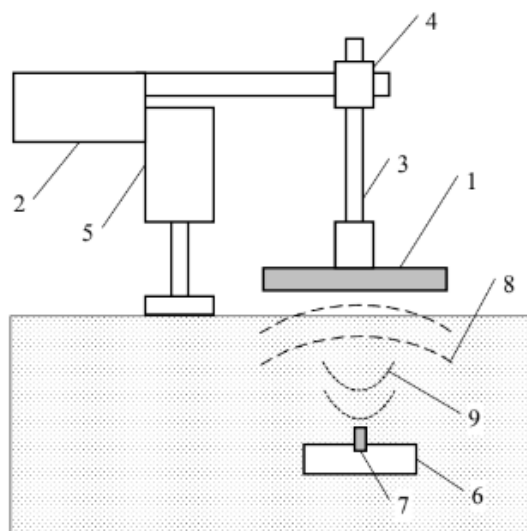


Рисунок 3.15 – Розташування металошукача на роботі

На рис. 3.15 є такі позначення: 1 – металошукач, 2 – платформа робота, 3 – опора, 4 – вузол регулювання висоти, 5 – педіпулятор, 6 – міна, 7 – металева частина шахти, 8 – передавальне поле, 9 – приймальне поле.

Всередині пошукової головки металошукача знаходиться котушка дроту, яка називається передавальною котушкою. Електронний струм проходить через котушку для створення електромагнітного поля. Напрямок потоку струму змінюється кілька тисяч разів кожену секунду. Робоча частота передачі означає

кількість разів на секунду, коли поточний потік переходить від руху за годинниковою стрілкою до руху проти годинникової стрілки та назад до руху за годинниковою стрілкою. Коли струм тече в заданому напрямку, створюється магнітне поле, полярність якого спрямована в землю. Коли струм змінюється, полярність поля спрямована проти землі. Будь-який металевий або інший електропровідний об'єкт у шахті, який знаходиться поблизу, матиме потік струму, викликаний впливом мінливого магнітного поля, приблизно так само, як електричний генератор виробляє електрику, переміщаючи котушка дроту всередині фіксованого магнітного поля. Цей струм, що протікає всередині металевого об'єкта, у свою чергу створює власне магнітне поле з полярністю, спрямованою протилежно до поля передачі.

3.4 Облаштування зони розмінування

Для проведення робіт з очищення території ВВП створюють зону розмінування, елементами якого є опорні точки:

Фіксований орієнтир – це фіксована точка на безпечній відстані від робочого місця пошуку, яка використовується для подальшого визначення «опори». Як правило, орієнтиром використовуються будівлі та споруди, перехрестя доріг.

Опорна точка — це чітко визначена фіксована точка, розташована поблизу місця пошуку ВВП, яка використовується для подальшого визначення «початкової точки». Як правило, опором використовується окремий природний або штучний елемент рельєфу, який має постійне розташування і не може бути переміщений.

Початкова точка – є початковою точкою визначення мінного поля та використовується для подальшого визначення «поворотної точки».

Проміжними пунктами – є дерев'яні кілочки або металеві прутки, що встромляються в землю, коли відстань між двома ВВП перевищує 50 м. Якщо немає можливості встановити кілки, використовують камінь, пофарбовані в білий колір. У середній точці цифра і стрілка, що вказують напрямок наступного ВВП (рис. 3.16).

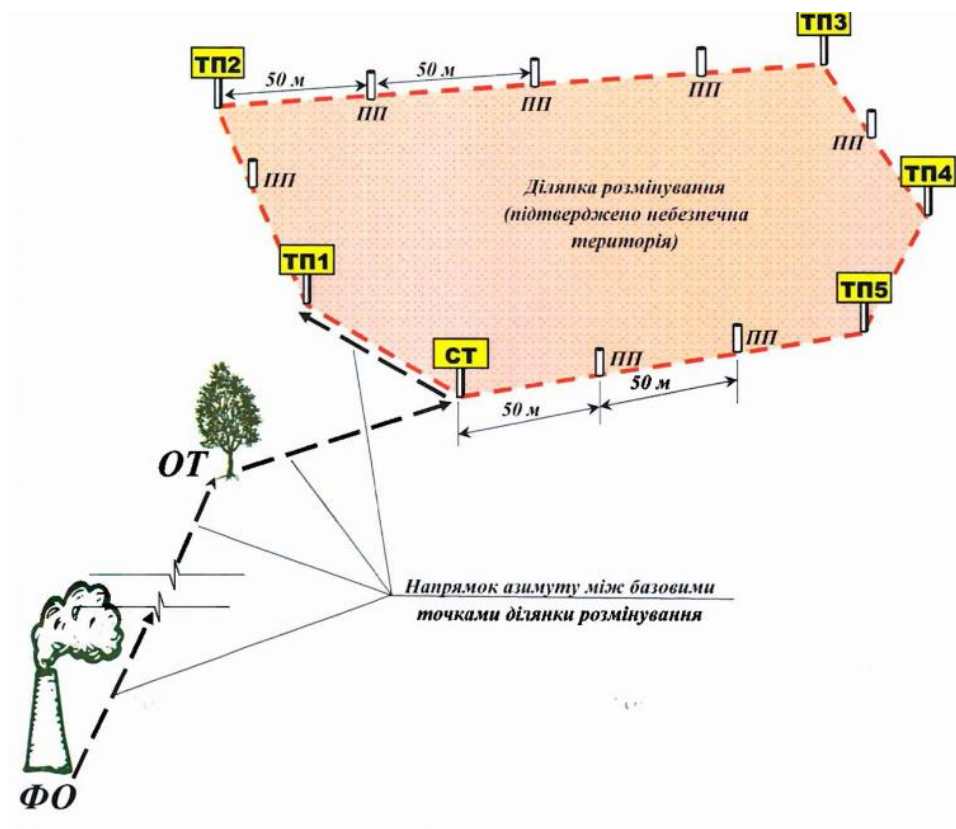


Рисунок 3.16 – Визначення базових точок для зони розмінування

Стационарні орієнтири – опорні пункти, вихідні, проміжні пункти та поворотні пункти повинні мати географічні координати, азимуту та відстані від інших точок, а короткий опис наводиться на карті мінного поля.

Базова смуга – це смуга шириною не менше 2 м, яка обладнується безпосередньо перед зоною забруднення і звідси починається пошук та ідентифікація ВНП.

Ділянка розмінування – виявлені небезпечні ділянки території, де проводяться роботи з пошуку боєприпасів, що не розірвалися.

Під час пошуку ВНП особливу увагу необхідно звернути на ВНП, які можуть бути переплутані трав'яною рослинністю або вкриті опалим листям, а також розташовані на навколишніх деревах і кущах та між ними. Оператор контролює швидкість роботи та дотримується інтервала, стежачи за правильністю виконання завдання (рис. 3.17) [30].



Рисунок 3.17 – Маркування смуги очищення

3.5 Висновки до третього розділу

У даному розділі було змодельовано маршрут для роботехнічного комплексу при пошуку ВВП. Зроблено тривимірну модель робота-маніпулятора для пошуку та ідентифікації ВВП, з використанням маніпуляторів, міношукача, відеокамери. Проведено аналіз кінематики систем двох маніпуляторів, проведено розрахунки з необхідності двох маніпуляторів, для зменшення сліпих зон та ефективності роботи

Описано конструкцію роботехнічного комплексу для пошуку з описом створеної моделі. Описано можливості при руху робота, та проаналізовано подолання перешкод, нахилів за допомогою навчання комп'ютерною симуляцією.

Проведено опис при облаштуванні зони, на якій буде проведено роботи з пошуку, та розмінування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Питання охорони праці повинні вирішуватися на всіх етапах трудового процесу, незалежно від виду діяльності.

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

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

4.2 Організація робочого місця

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

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

Пропозиції, що до поліпшення організації робочого місця програміста:

- за можливістю, обрати робочий стіл, з регулятором висоти;
- збільшити розмір робочої поверхні, він повинен складати не менш ніж

1500 мм × 1100 мм.

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

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

4.3 Вплив шуму на роботу програміста

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

становити від 50 дБ до 65 дБ.

Таблиця 4.1 – Рівні звукового тиску від різних джерел

Джерело шуму	Рівень шум, дБ
Жорсткий диск	4
Вентилятор	50
Принтер	55
Сканер	45

Для зниження рівня шуму, можна використати:

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

4.4 Електробезпека. Статична електрика

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

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

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

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

Протягом робочого дня корпус комп'ютера накопичує статичну електрику.

При відстані від 6 см до 11 см від екрана, напруга електростатичного поля може складати від 60500 В/м до 280500 В/м, в 10 разів перевищивши норму в 20000 В/м.

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

- зменшити накопичення статичної електрики застосовавши зволожуючі та нейтралізуючі покриття підлоги;
- з'єднання металевого корпусу устаткування з жилою заземлення.

Заземлення корпусу комп'ютера забезпечити підведенням заземлюючої жили, до розеток. Опір заземлення складає до 4 Ом для електроустановки з напругою до 1000 В.

Або використовуючи деякі організаційні заходи:

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

4.5 Проведення атестації робочих місць

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

4.6 Проведення медичних оглядів

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

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

4.7 Висновки до четвертого розділу

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

Серед основних можна виділити наступні:

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

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

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи була розробка моделі робототехнічних комплексів для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування. Під час виконання кваліфікаційної роботи, що система розмінування має виконувати ряд завдань:

- обстеження територій, забруднених ВВП;
- пошук, ідентифікацію та знешкодження ВВП;
- картографування та маркування територій, забруднених ВВП.

Проведено аналіз сучасного стану розробки маніпуляторів робототехнічних систем військового та спеціального призначення для пошуку вибухонебезпечних предметів. Приведено основні види робототехнічних комплексів для пошуку ВВП.

Проаналізовано ознаки та характеристики вибухонебезпечних предметів. Розглянуто методіку процесу гуманітарного розмінування із застосування робототехнічних комплексів. Проведено порівняльний аналіз засобів пошуку та ідентифікації ВВП; методи виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою робототехнічних систем.

Розроблено програмний модуль маніпуляторів, змодельовано маршрут для робота, облаштування зони розмінування.

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

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішені такі завдання:

- аналіз систем гуманітарного розмінування та її складових;

- розглянути сучасні роботизовані комплекси для гуманітарного розмінування, методи пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів;

- розроблені вимоги до конструкції робототехнічних комплексів та маніпуляторів, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування:

- проведено аналіз основних положень проектування маніпуляторів мобільних роботів спеціального призначення та розроблені пропозиції щодо конструкція робототехнічного комплексу для пошуку та ідентифікації вибухонебезпечних предметів та особливостей структурної будови просторових маніпуляторів;

- розглянути питання охорона праці.

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

Серед засобів пошуку було обрано магнітометричний метод виявлення, з використанням міношукача, та оптичний метод пошуку, завдяки якому оператор може розпізнати ВВП, на безпечній відстані.

Результати роботи пройшли апробацію на збірник студентських наукових статей «Виробництво & Мехатронні Системи», а також на збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, 2016. 31 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с.
3. 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. Филипенко, О. М. Цимбал ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, ХНУРЕ, 2021. 50 с.
4. Шафоростов Д.Д. Робототехнічні системи та їх застосування для пошуку вибухонебезпечних предметів / Д.Д. Шафоростов // Виробництво & Мехатронні Системи («Manufacturing & Mechatronic System 2022» M&MS2022): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І. Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв]. Харків : ХНУРЕ, 2022. Вип. 1. С. 92–94.
5. Янушкевич Д. А., Шафоростов Д. Д. Технології виявлення та класифікації вибухонебезпечних предметів / Д. А. Янушкевич, Д. Д. Шафоростов // Збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка». Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2022. Харків, ХНУРЕ, 2022. С. 62-65.
6. Янушкевич Д. А., Кирпота Ф. В. (2021). Роботизовані системи та їх застосування у гуманітарному розмінуванні. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Комп'ютерно-

інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві», Харків, ХНАДУ, С. 104-109.

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

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

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

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

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

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

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

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

15. RE2, VideoRay robot hits underwater depth milestone. URL: <https://www.therobotreport.com/re2-videoray-robot-hits-underwater-depth-milestone/> (дата звернення: 09.12.2022).

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

17. Борщ П.А. Семенов В.Ю. Локаційний металошукач// Радіоаматор. Київ, 1999. Вип. 10, С. 36 - 39.

18. Garrett. URL: <https://garrett.com/pd-6500i-walk-through-metal-detector> (дата звернення: 09.12.2022).

19. Operating instructions: grand master hunter CX III. URL: <https://garrett.com/sites/default/files/2019-11/Grand-Master-Hunter-CX-III.pdf> (дата звернення: 09.12.2022).

20. Пошукові засоби (металошукачі). Митна енциклопедія: у 2 т. / І. Г. Бережнюк (відп. ред.) та ін. Хм.: ПП Мельник А. А., 2013. Т. 2 : М — Я. С. 283 – 536 с.

21. Nevliudov, I., Yanushkevych, D., Ivanov, L. Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. / I. Nevliudov, D. Yanushkevych, L. Ivanov // Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62). 2021. P. 47-52.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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