

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологійКафедра КІТАРРівень вищої освіти перший (бакалаврський)Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)Тип програми Освітньо-професійнаОсвітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри КІТАР _____

(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Ковалю Тимофію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Розробка програмного модуля систем автоматизації робота для знешкодження вибухонебезпечних предметів

затверджена наказом університету від 20.05.2024 р. № 477 Ст. _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Дані про систему гуманітарного розмінування _____

3.2 Дані про вибухонебезпечні предмети _____

3.3 Дані про аналіз методів і концепції гарантованого виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз сучасного стану проблеми гуманітарного розмінування із застосуванням роботехнічних комплексів _____

4.3 Аналіз процесу знищення вибухонебезпечних предметів із застосуванням роботехнічних комплексів _____

4.4 Розроблення програмного модуля системи автоматизації робота для знищення вибухонебезпечних предметів _____

4.5 Охорона праці _____

4.6 Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
 демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.pptx) – 12 с

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	21.05.2024	виконано
2	Постановка задачі та узгодження з керівником	22.05.2024	виконано
3	Аналіз сучасного стану проблеми гуманітарного розмінування із застосуванням роботехнічних комплексів	23.05–25.05.24	виконано
4	Аналіз процесу знищення вибухонебезпечних предметів із застосуванням роботехнічних комплексів	26.05–29.05.24	виконано
5	Розроблення програмного модуля системи автоматизації робота для знищення вибухонебезпечних предметів	30.05–07.05.24	виконано
6	Охорона праці	08.06–9.06.24	виконано
7	Висновки	10.06–14.06.24	виконано
8	Подання роботи на перевірку Інтернет–сервісом Unichesk	14.06–16.06.24	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	15.06–16.06.24	виконано
10	Підготовка презентації	15.06–17.06.24	виконано
11	Попередній захист	24.06.24	виконано
12	Захист кваліфікаційної роботи		виконано

Дата видачі завдання 20.05.2024

Студент Коваль Т. Ю.
(підпис)

Керівник роботи доц. Янушкевич Д. А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

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

" " червень 2024 р.

Коваль Т.Ю.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 6 табл., 15 рис., 3 дод., 29 джерел.

ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, РОБОТОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ЗНИЩЕННЯ ВВП, ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ.

Мета роботи – підвищення ефективності знищення вибухонебезпечних предметів у системі гуманітарного розмінування.

Об'єктом розробки – процес автоматизації робототехнічних комплексів для ідентифікації та знищення вибухонебезпечних предметів у системі гуманітарного розмінування.

Предмет розробки – програмний модуль системи автоматизації робототехнічних комплексів для знищення вибухонебезпечних предметів.

Для розробки програмного модуля системи автоматизації робота для знешкодження вибухонебезпечних предметів було проаналізовано основні види вибухонебезпечних предметів. Були розглянуті найпоширеніші методи виявлення вибухонебезпечних предметів за допомогою робототехнічних комплексів. Розроблено програмний модуль системи автоматизації робота для знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Основна сфера застосування робототехнічних комплексів – роботи зі знищення вибухонебезпечних предметів у системі гуманітарного розмінування.

ABSTRACT

Explanatory note: 68 p., 6 tables, 15 figures, 3 appendix, 29 sources.

EXPLOSIVE ORDNANCE, ROBOTIC COMPLEX, IDENTIFICATION, DESTRUCTION OF EXPLOSIVE ORDNANCE, PROGRAM MODULE.

The purpose of the study is to increase the efficiency of explosive ordnance destruction in the humanitarian demining system.

The object of development is the process of automation of robotic systems for the identification and destruction of explosive objects in the humanitarian demining system.

The subject of development is the software module of the automation system for robotic systems for the destruction of explosive objects.

To develop a software module for the automation system of a robot for the disposal of explosive ordnance, the main types of explosive ordnance were analyzed. The most common methods of detecting explosive devices using robotic systems were considered. A software module for the automation system of a robot for the disposal of explosive objects has been developed.

The main field of application of robotic systems is the destruction of explosive objects in the humanitarian demining system.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасного стану проблеми гуманітарного розмінування із застосуванням РТК.....	11
1.1 Аналіз сучасної системи гуманітарного розмінування	11
1.1.1 Складові системи гуманітарного розмінування	13
1.1.2 Класифікація вибухонебезпечних предметів у гуманітарному розмінуванні	16
1.2 Робототехнічні комплекси у системі гуманітарного розмінування.....	20
1.3 Принципи побудови сучасних РТК, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування.....	24
1.4 Висновки до першого розділу.....	28
2 Аналіз процесу знищення вибухонебезпечних предметів із застосуванням робототехнічних комплексів	30
2.1 Порівняльний аналіз методів знищення вибухонебезпечних предметів за допомогою робототехнічних комплексів	30
2.2 Концепція гарантованого виявлення й розпізнавання вибухонебезпечних предметів	33
2.3 Системи управління, які застосовуються робототехнічними комплексами для знищення вибухонебезпечних предметів.....	35
2.4 Висновки до другого розділу.....	37
3 Розроблення програмного модуля системи автоматизації ртк для знищення вибухонебезпечних предметів.....	39

3.1	Метод використання мовної моделі системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів.....	39
3.2	Вибір апаратної частини програмного модуля системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів.....	45
3.3	Програмний код модуля системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів.....	49
3.4	Висновки до третього розділу.....	52
4	Охорона праці.....	53
4.1	Аналіз умов праці на робочому місці.....	53
4.2	Захист від шкідливого впливу факторів виробничого середовища та трудового процесу.....	54
4.3	Заходи безпеки ураження електричним струмом.....	55
4.4	Пожежна безпека.....	57
4.5	Безпека під час гуманітарного розмінування.....	58
	Висновки.....	60
	Перелік джерел посилання.....	61
	Додаток А.....	65
	Додаток Б.....	67

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ББІС – багатоцільна безпілотна інтелектуальна система;
- БПЛА – безпілотний літальний апарат;
- ВНП – вибухонебезпечні предмети;
- ВР – вибухова речовина;
- ІТ – інформаційна технологія;
- ІСУ – інтелектуальна система управління;
- ММ – математична модель;
- ОВТ – озброєння та військова техніка;
- ОТВ – об'єктно-технічні вимоги;
- РТК – робототехнічний комплекс;
- РТКР – робототехнічний комплекс розмінування;
- ТТВ – тактико-технічні вимоги;
- ТТХ – тактико-технічні характеристики;
- ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки.

ВСТУП

Сучасний світ стикається з низкою складних викликів у сфері безпеки, серед яких особливе місце посідає проблема виявлення та безпечного знищення вибухонебезпечних предметів. Небезпека, яку вони становлять для життя та здоров'я людей, а також для інфраструктури та громадської безпеки, надає цій проблемі особливої актуальності та нагальності.

Розробка програмного модуля для систем автоматизації роботи з вибухонебезпечними предметами є важливим кроком у напрямку підвищення ефективності та безпеки процесу їх виявлення та усунення. Інноваційні рішення у цій галузі можуть значно полегшити та прискорити роботу спеціалізованих команд, зменшуючи ризик для життя та здоров'я людей.

Мета роботи – підвищення ефективності знищення вибухонебезпечних предметів у системі гуманітарного розмінування.

Об'єктом розробки – процес автоматизації робототехнічних комплексів для ідентифікації та знищення ВВП у системі гуманітарного розмінування.

Предмет розробки – програмний модуль системи автоматизації робототехнічних комплексів для знищення вибухонебезпечних предметів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан гуманітарного розмінування;
- визначити класифікаційні ознаки вибухонебезпечних предметів;
- розглянути сучасні роботизовані комплекси для гуманітарного розмінування;
- розглянути аналіз методів знищення та знешкодження ВВП;
- розглянути метод розпізнавання вибухонебезпечних предметів за допомогою мовної моделі;
- розробити програмний модуль системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів.

Кваліфікаційна робота виконано згідно з [1-4].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РТК

1.1 Аналіз сучасної системи гуманітарного розмінування

Згідно технічного завдання необхідно розробити систему модуля робототехнічного комплексу для знешкодження ВВП, які на сам перед є комплексним програмним рішенням, яке призначене для автоматизації та оптимізації процесу робіт з вибухонебезпечними матеріалами, що використовуються в гуманітарному розмінуванні.

Гуманітарне розмінування являє собою комплекс заходів, спрямованих на ліквідацію небезпек, пов'язаних із ВВП. Ці заходи включають нетехнічне та технічне обстеження територій для виявлення потенційних загроз, складення карт, які відображають розташування ВВП, та виявлення і знешкодження цих предметів. Після виявлення ВВП здійснюється їх знешкодження або безпечно вилучення [5].

Вибухові речовини – синтезовані хімічні речовини, здатні під впливом зовнішніх факторів (удар, нагрівання, тертя, детонація) до стрімкого хімічного переходу в інший стан. При цьому вони вивільняють велику кількість енергії та газів.

Швидкість горіння у різних ВР може варіюватися від кількох міліметрів на секунду до сотень метрів на секунду, а швидкість детонації може перевищувати 9 кілометрів на секунду. Важливою характеристикою ВР є їх стійкість, тобто здатність зберігати свої властивості протягом тривалого часу.

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 що найменше 10 років, очищення акваторії Чорного моря від морських

мін – до 7 років. В табл. 1.1 наведено статистику по областях найбільш забруднені від ВМП після початку повномасштабної війни [6].

Таблиця 1.1 – Результати робіт ДСНС у областях України з розмінування

Область	Обстежено територій		Знешкоджено ВМП		Кількість залучень	
	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт
Харківська	22.41	6035.21	84	91144	48	28911
Донецька	9.06	8285.32	270	54749	25	11538
Чернігівська	9.77	40766.33	20	52613	12	5474
Херсонська	51.65	14520.15	50	43869	42	11610
Київська	4.47	29882.69	25	82350	7	10005
Черкаська	0.04	7628.81	3	41091	5	1811

За оцінками міжнародних організацій, таких як ООН та ОБСЄ, забруднені площі у світі сягають мільйони квадратних кілометрів, крім того, на думку експертної групи Асоціації саперів України, потенційно-небезпечні території, які можуть містити ВМП і підлягають обстеженню для визначення рівня забруднення, становлять щонайменше 132 023 км² [7].

Розчищення територій від забруднення ВМП потребує великих фінансових витрат і триває десятиріччями. Відповідно до заяви представників Великої Британії, 2020 р. було повністю завершено розмінування території Фолклендських (Мальвінських) островів, що були забруднені ВМП внаслідок війни між Великою Британією та Аргентиною 1982 р. Процес тривав 38 років і фактична середня швидкість становить трохи більше ніж 320 км² на рік. Королівство Камбоджа, де роботи з очищення території тривають понад 30 років, оголосило, що зможе звільнитися від мін лише до 2025 р.

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 [8].

Показники щодо очищення території України від ВВП по роках, подані в табл. 1.2 [9].

Таблиця 1.2 – Аналіз робіт з очищення території України від ВВП за минулі роки

Період	Кількість залучень піротехнічних підрозділів	Кількість знешкоджених ВВП, од.	Площа очищеної території, га
2014	7090	151100	3030
2015	8081	50152	10667
2016	10327	80011	8153
2017	13167	112728	68836
2018	10917	168812	86720
2019	11891	67415	6949
2020	14166	73375	4939
2021	12909	89614	4552
2022	41226	315068	78180
2023	39373	153859	36145

Метою розмінування є, зниження мінної 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.

1.1.1 Складові системи гуманітарного розмінування

Головними завданнями у проблемі гуманітарного розмінування є пошук та ідентифікація ВВП. В ідеальному варіанті бажано виявляти ВВП на безпечній відстані (70 - 100 метрів від розміщення людей), а розвідку мінних полів бажано вести у будь-який час доби і у будь-яких метеорологічних умовах. Також до актуальних завдань відноситься ідентифікація ВВП на тлі численних перешкод

від неоднорідностей навколишнього середовища і різних сторонніх предметів (гільзи та осколки від снарядів, зброї, металобрухт тощо).

Вимоги можна забезпечити, якщо у системі гуманітарного розмінування застосовувати роботизовані комплекси. Складові системи гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних систем наведені на рис. 1.1.

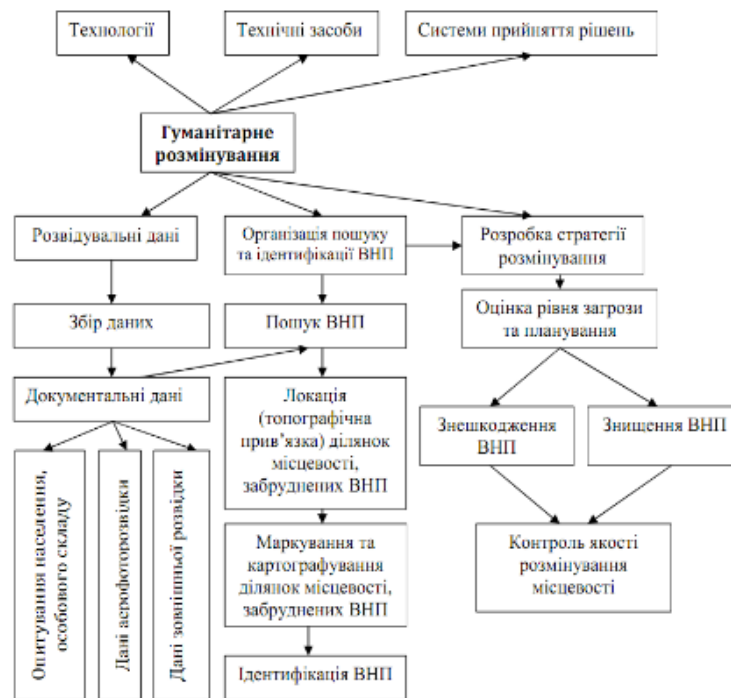


Рисунок 1.1 – Складові системи гуманітарного розмінування [9]

Сучасний стан методів виявлення ВВП характеризується різноманітністю. Аналіз стану методів виявлення ВВП показує, що кожен з них має певні обмеження. Звичайно, при цьому необхідно враховувати як апіорну інформацію про об'єкт пошуку, так і властивості оточуючого середовища [10]. Сучасні методи та детектори виявлення ВВП наведені у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Сучасні методи та детектори виявлення ВВП

Метод	Детектори та обладнання для виявлення ВВП
Електромагнітний	Металошукач (MD)
	Радіолокатор (GPR)
	Електричний імпедансний томограф (EIT)
	Радіометр на міліметрових хвилях (MMWR)
	Мікрохвильовий радіометр (MWR)
	Інфрачервоний спектроскоп (IR)

Продовження таблиці 1.3

Метод	Детектори та обладнання для виявлення ВВП
Оптичний метод	Лідар – детектор отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем (LIDAR)
Ядерно-фізичний	Детектори нейтронного випромінювання
	Ядерний квадрупольний резонанс (NQR)
Акустичний	Детектори акустичних та сейсмічних хвиль (A/S)
	Детектори звукових та ультразвукових хвиль
Механічний	Інженерні машини для виявлення та підриву мін і вибухових пристроїв
	Щупи
Газоаналітичний	Газоаналізатори та детектори парів вибухових речовин
Теплофізичний	Тепловізори
Біологічний	Сенсорна система тварин (собаки, криси, комахи тощо).
Візуальний	БПЛА

В даний час найбільше застосування знайшли такі методи: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплофізичний, механічний (механічного зондування) та візуальний. Саме вони дозволяють створити технічні засоби пошуку ВВП, які можуть бути придатними для гуманітарного розмінування.

Проблеми, які виникають при застосування цих методів – це питання безпеки і зниження часових та матеріальних витрат на розмінування. Інші вимоги: кліматичні, ефективність роботи в темний час доби, стійкість до механічних впливів, електромагнітна сумісність тощо.

Таблиця 1.4 характеризує «глибинність» найбільш практично значимих безконтактних методів пошуку та ідентифікації ВВП, які знаходяться у ґрунті.

Таблиця 1.4 – Глибинність пошуку ВВП

Глибина пошуку	Методи пошуку ВВП	Тип ВВП
Поверхня ґрунту	Електромагнітний, оптичний, газоаналітичний, механічний, теплофізичний, біологічний	Всі типи ВВП
до 0,1 м	радіохвильовий	Всі типи ВВП
	індукційний	Металеві ВВП
до 1 м	короткоімпульсна радіолокація	Всі типи ВВП
	магнітометричний	Феромагнітні ВВП

Для підвищення ефективності виявлення мін доцільно комплексування різних пошукових методів в одному технічному засобі. Один з нових перспективних методів виявлення мін – це параметричний. Він заснований на

реєстрації взаємодії збудливого (силового) і зондуючого (інформаційного) фізичних полів, на об'єктах пошуку штучного походження (мінах). Поєднання цих полів може бути різним.

1.1.2 Класифікація вибухонебезпечних предметів у гуманітарному розмінуванні

Згідно Закону України «Про протимінну діяльність в Україні» – гуманітарне розмінування, це комплекс заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із ВВП, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [11].

Гуманітарне розмінування у першу чергу спрямоване на зменшення шкідливого фактору дії ВВП на життєдіяльність людей. Мета розмінування полягає в тому, щоб знизити мінну небезпеку до рівня, при якому люди можуть жити безпечно; при якому економічний, соціальний і фізіологічний розвиток може здійснюватися безперешкодно, не наражаючись впливу обмежень, що виклиються впливом наземних мін.

Вибухонебезпечні предмети – вибухові матеріали, боєприпаси, що містять вибухові речовини, а також біологічні та хімічні речовини: бомби і боєголовки; керовані і балістичні ракети; артилерійські, мінометні, ракетні боєприпаси і боєприпаси до стрілецької зброї; усі міни, торпеди і глибинні бомби; піротехнічні вироби; касетні бомби і касети; електричні вибухові пристрої; саморобні вибухові пристрої тощо.

Вибухонебезпечні предмети класифікуються за наступними класифікаційними ознаками:

- за призначенням;
- по типу датчика цілі;
- по способу установки;
- по способу приведення в дію;
- за можливістю зняття і знешкодження.

Більш детальна класифікація мін та вибухонебезпечних предметів наведена на рис. 1.2.

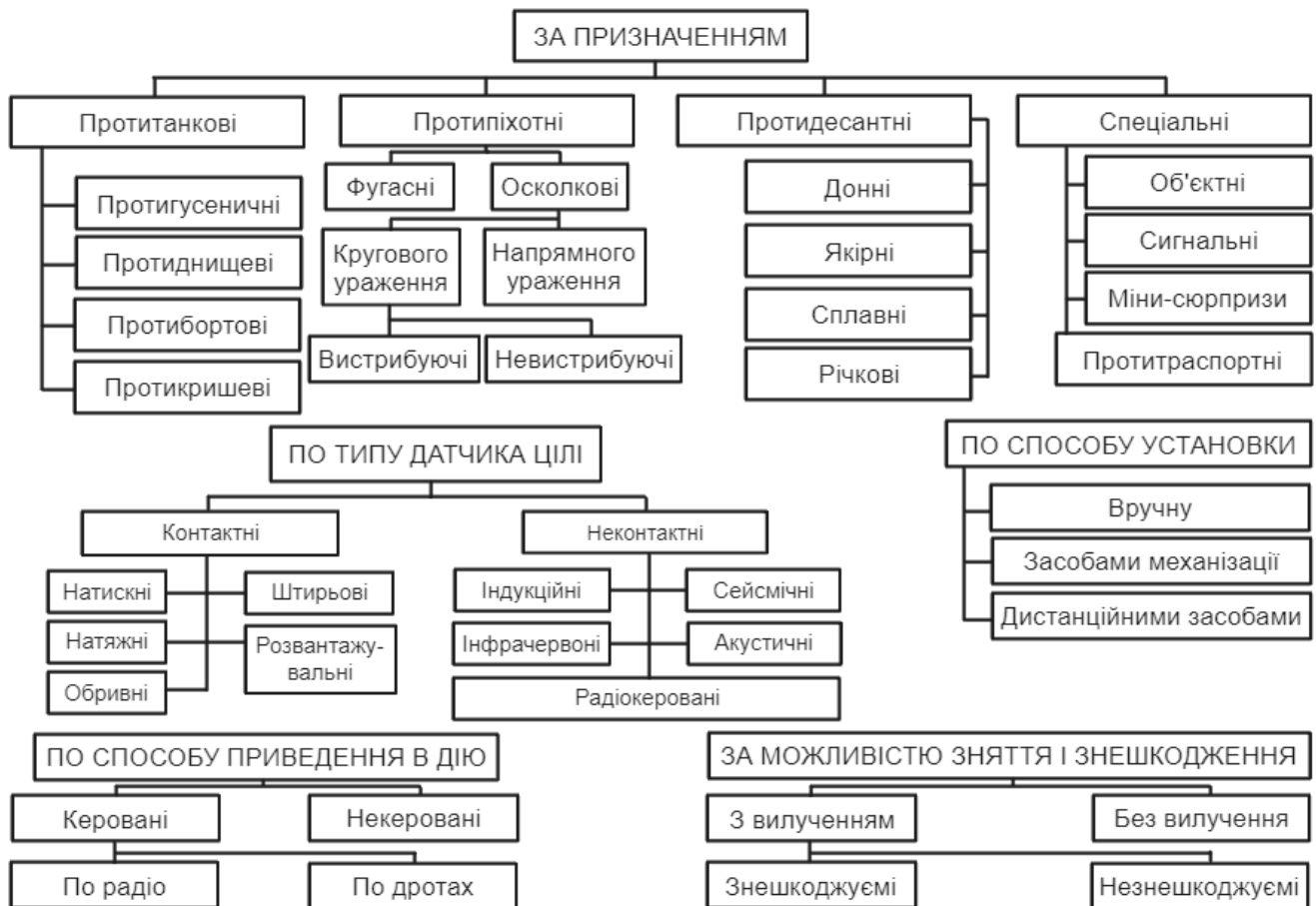


Рисунок 1.2 – Класифікація мін та вибухонебезпечних предметів [11]

Як показав світовий досвід, найбільшу загрозу для життя людей несуть такі типи мін:

- протипіхотні (ППМ);
- протитанкові (ПТМ);
- протитранспортні;
- об'єктні;
- спеціальні.

Найбільш важко виявляються протипіхотні міни. Протипіхотні міни використовуються також для пристрою «мін-сюрпризів» та «мін-пасток». Протитранспортні міни призначаються для мінування автомобільних доріг і залізниць, аеродромів.

Об'єктні міни призначаються для руйнування мостів, тунелів та інших споруд. Вони встановлюються всередині об'єкта в спеціальних мінних колодязях (камерах) або в ґрунті.

Протипіхотні міни – призначені для ураження живої сили, а в деяких випадках легкоброньованої техніки, противника. Поділяються на фугасні та осколкові, останні, в свою чергу бувають прямого та кругового ураження, міни ж кругового ураження можуть бути вистрибуючи та невистрибуючими.

На рис. 1.3 показані найбільш поширені основні типи протипіхотних мін, що активно застосовуються в сучасній російсько-українській війні [6-12].



1, 2, 3, 4 та 5 – протипіхотні фугасні міни натискної дії ПМД-6М, ПМН «Чорна вдова», ПМН-2, ПМН-4 та ПФМ-1(С) «Лепесток», відповідно; 6 – протипіхотна осколкова міна кругового ураження ПОМЗ-2М; 7 – протипіхотна осколкова вистрибуюча міна кругового ураження ОЗМ-72 «Відьма»; 8, 9 та 10 – протипіхотні осколкові міни прямого ураження МОН-50, МОН-90 та МОН-100, відповідно; 11 – протипіхотна осколкова міна кругового ураження ПОМ-2 «Отъок»; 12 – протипіхотна осколкова вистрибуюча міна кругового ураження ПОМ-3 «Медальйон»

Рисунок 1.3 – Основні типи протипіхотних мін, що активно застосовуються в сучасній російсько-українській війні

Протитанкові міни (в світовій практиці частіше використовується термін протитранспортні міни) призначаються для мінування місцевості проти танків та іншої рухомої наземної техніки противника (самохідних ракетних та артилерійських установок, бронетранспортерів вантажних та легкових автомобілів). За призначенням поділяються на: протигусенічні міни; протиднищеві міни; протибортові міни; останнім часом активно почали розроблятися міни для ураження бронетанкової техніки у верхню півсферу.

На рис. 1.4 наведені основні типи протитанкових мін, що активно застосовуються в сучасній російсько-українській війні та широко використовуватися в інших збройних конфліктах на пострадянському просторі та в світі, оскільки поставлялися (продавалися) в багато країн світу [6-12].



1 – протигусенічна міна ТМ-62М; 2 – протигусенічна міна ПТМ-1; 3, 4, 6 та 6 – протиднищеві міни ТМ-72 (з МВН-72), ТМ-89, ПТМ-3 та ПТМ-4, відповідно; 7 – протибортова міна ТМ-83; 8 – міна для ураження бронетанкової техніки у верхню півсферу ПТКМ-1Р

Рисунок 1.4 – Основні типи протитанкових мін, що активно застосовуються в сучасній російсько-українській війні

1.2 Робототехнічні комплекси у системі гуманітарного розмінування

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

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

Для виконання складних завдань необхідно враховувати кількість необхідних камер та їх розташування. Цілком імовірно, що принаймні дві стаціонарні або одну ротаційну камеру потрібно встановити на транспортний засіб, щоб забезпечити круговий огляд під час роботи та для орієнтації на місцевості. Повідомлялося про останні розробки з стереосистемою стеження [13].

Наземні робототехнічні комплекси для знешкодження ВВП. Ця група роботів включає військові машини, такі як гусеничні роботи-маніпулятори та системи віддаленої нейтралізації вибухонебезпечних пристроїв, які рухаються по землі та виконують завдання без прямого керування людиною - сапером.

CENTAUR – дистанційний робототехнічний комплекс, що знаходиться на озброєнні армії США розроблений «FLIR Systems». Робот призначений для роботи пошуку, ідентифікації та розмінуванню ВВП, оборони та розвідки представлений на рис. 1.5.

Система Centaur керується здалеку, використовуючи передові технології та перевірені у реальних умовах рішення для ефективного виявлення різноманітних небезпечних матеріалів. Вони призначені для виявлення різних загроз, таких як хімічні, біологічні, радіологічні та ядерні матеріали, а також вибухонебезпечні речовини з метою ідентифікації та підтвердження їх присутності.



Рисунок 1.5 – Робототехнічний маніпулятор CENTAUR

Використання таких систем дозволяє виявляти наземні міни, не спрацьовані боєприпаси та саморобні вибухові пристрої на шляху маневрених військових сил. Centaur може бути легко розгорнутий та демонтований, забезпечуючи безпечну відстань для оператора.

Однією з ключових особливостей цих систем є міцна камера з можливістю панорамного огляду, нахилу та зуму. Ця камера дозволяє виявляти об'єкти на великій відстані в будь-яких погодних умовах за допомогою термальної та оптичної камер. Технічні характеристики:

- вага: 164 фунтів;
- час роботи до 8 годин;
- швидкість >2,5 миль/год;
- маневреність поворот з нульовим радіусом;
- переміщення по схилам під кутом 30°;
- подолання перешкод висотою до 6 дюймів;
- підйом по сходах під кутом до 43°;
- оптоволоконний трос: 200 м;
- підйом і перенесення 32 фунтів, 15 фунтів при повному розгинанні.

Робототехнічний комплекс CENTAUR використовує датчики CBRN на відстані, що дозволяє йому інтегрувати дані з різних датчиків у дисплей контролера для максимальної ефективності та безпеки [14].

Машина з дистанційним керуванням MV-4 (або M 160) є спеціально розробленою для розмінування, має масу близько 5,31 тони і призначена для очищення від різних типів протипіхотних мін (рис. 1.6). Вона також має захист від протитанкових мін.

Завдяки своїм невеликим розмірам та високій маневреності вона може легко працювати в дворах, садах, лісових дорогах, на берегах річок та інших місцях, куди важко дістатися для великих машин. Разом з цією машиною можуть використовуватися різні інструменти, які допомагають у виконанні робіт з розмінування та обробітку ґрунту, щоб знищити навіть найменші протипіхотні міни та найнебезпечніші осколкові міни.



Рисунок 1.6 – Дистанційно-керована машина для розмінування MV-4

Машина керується дистанційно із броньованого транспортного засобу або з безпечної відстані. Дистанційне керування цим засобом передбачено на відстані до 2 км. Двигун та життєво важливі компоненти машини захищені сталевими пластинами.

Характеристики MV-4:

- легка, гусенична, із системою дистанційного керування;
- розроблена спеціально для гуманітарного розмінування;
- застосовується проти всіх типів протипіхотних мін і боєприпасів, що не розірвалися;

- очищення території з продуктивністю до 2200 м² за годину;
- висока живучість у разі підриву на протитанковій міні.

Стандартний робочий інструмент: начіпний ланцюговий інструмент

Додаткові інструменти: культиватор, каток, маніпулятор для захоплення, відвал.

Керується одним оператором з пульта дистанційного керування

Найпотужніша машина для розмінування у своєму класі з двигуном від 175 до 250 к.с.

Малі габарити та невеликий тиск на ґрунт MV-4 дозволяють машині подолати складний рельєф місцевості, такий як канави, міські райони, канали тощо. MV-4 може керуватися та працювати на сильно нахиленій місцевості як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках та здійснювати:

- очищення поперечних схилів з ухилом 35° вгору та вниз;
- переміщення на поперечних схилах з ухилом 45° вгору та вниз;
- очищення поздовжніх схилів із ухилом 20°;
- переміщення на поздовжніх схилах із ухилом 35° MV-4.

MV-4 може ефективно очищати зони, які знаходяться надзвичайно близько до вертикальних перешкод, таких як будівлі або інші структури, навіть при русі вздовж (на відстані 25 см) чи впоперек (на відстані 75 см). Його робочий інструмент може бути піднятий, опущений, розширений та згорнутий для пристосування до руху через важкодоступні місця, такі як канави, перешкоди або канали.

MV-4 здатний подолати водні перешкоди глибиною до 45 см без необхідності спеціальних заходів, призначених оператором, і може повертатися на місці на 360°. Крім того, він може проїхати через канаву шириною 0,5 м та глибиною 0,3 м, а також подолати вертикальну перешкоду висотою близько 0,3 м. Машина може також самостійно вибратися з канави або каналу за допомогою своїх гідравлічних інструментів [15].

1.3 Принципи побудови сучасних РТКР, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування

Для ефективного виконання складних і різноманітних завдань з розмінування РТКР мають відповідати певним вимогам, що враховують особливості їх бойового використання при існуючому рівні розвитку засобів мінної зброї. Обґрунтування вимог до РТКР необхідно здійснювати, виходячи з оцінок ефективності окремого засобу, у складі інженерної системи підрозділу в цілому.

Ефективність РТКР у залежності від виконання завдань може оцінюватися за різними критеріями і показниками:

- завданий або відвернений збиток;
- імовірність успішного виконання бойового завдання;
- втрата техніки або особового складу.

Через те, що розмінування та подолання МВЗ наділено багатьма процесами, факторами та умовами виконання, у роботі приймемо обмеження щодо дослідження способів пошуку, виявлення та знищення ВВП тільки засобами, які можливо встановлювати на озброєння військової техніки, а також щодо виконання завдань РТКР під час супроводження військових колон.

Для досягнення поставленої мети необхідно врахувати особливості взаємодії РТКР з ВВП та навколишнім середовищем шляхом проведення декомпозиції функціонування РТКР (рис. 1.7). При формалізації розмінування виділено базові процеси, метафункціонування та підсистеми РТКР, в яких вони реалізуються.

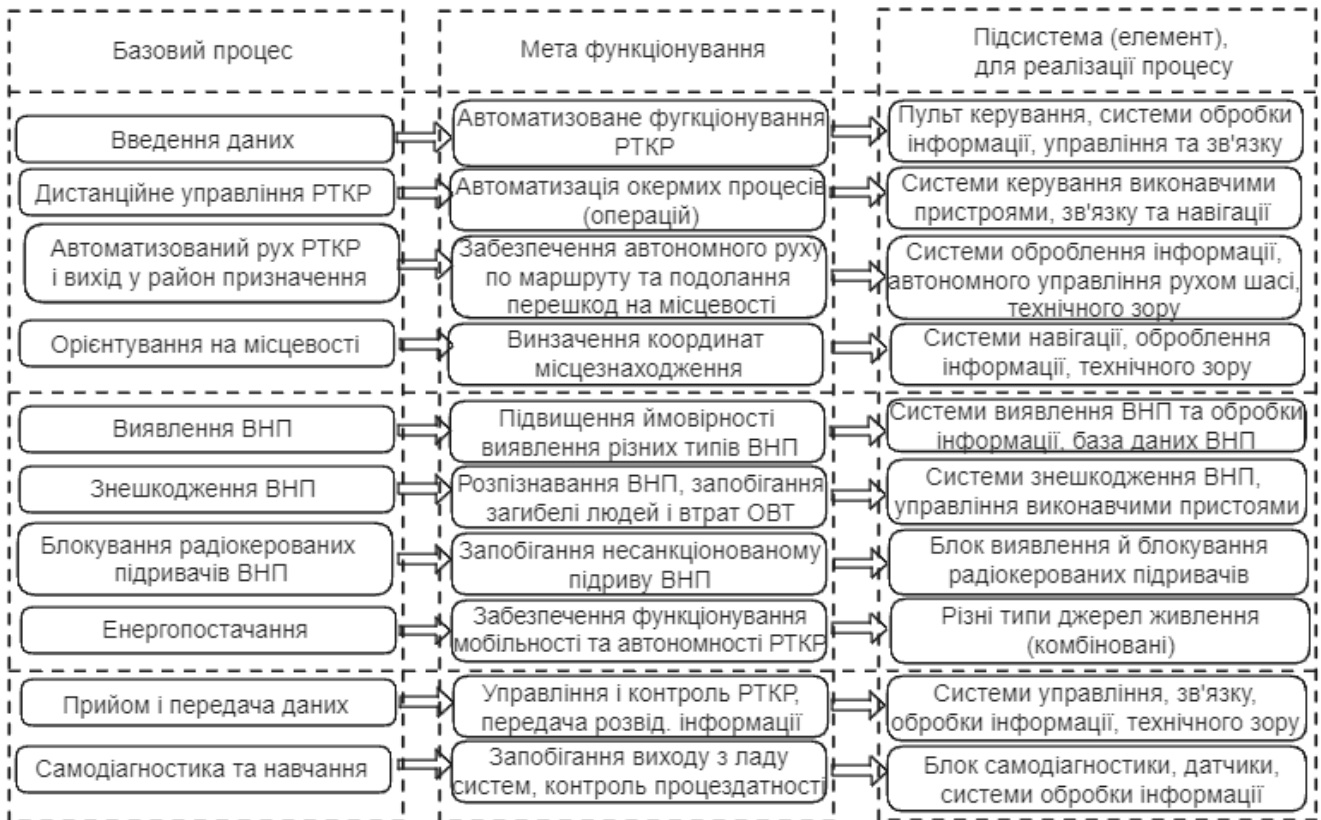


Рисунок 1.7 – Структура декомпозиції процесів розмінування за допомогою робототехнічного комплексу розмінування [16]

Наявні умови застосування засобів розмінування характеризуються низькими темпами виконання завдань через організаційнотехнічні витрати часу, зростаючими обсягами завдань з розмінування переважно ручними засобами, неможливістю забезпечення високопродуктивними, уніфікованими засобами розмінування через велику потребу та вартість.

Разом з тим у залежності від складності обстановки необхідними умовами застосування РТКР є:

- зменшення витрати часу реагування на виникаючі загрози з боку ВВП;
- зменшення кількості засобів пошуку, виявлення, знищення ВВП;
- використання високопродуктивних засобів модульного типу;
- врахування різної складності обсягів виконуваних завдань розмінування наявним ресурсом.

Відповідно до сформульованої мети дослідження представлена структурна схема алгоритму комплексного обґрунтування вимог до РТКР (рис. 1.8).

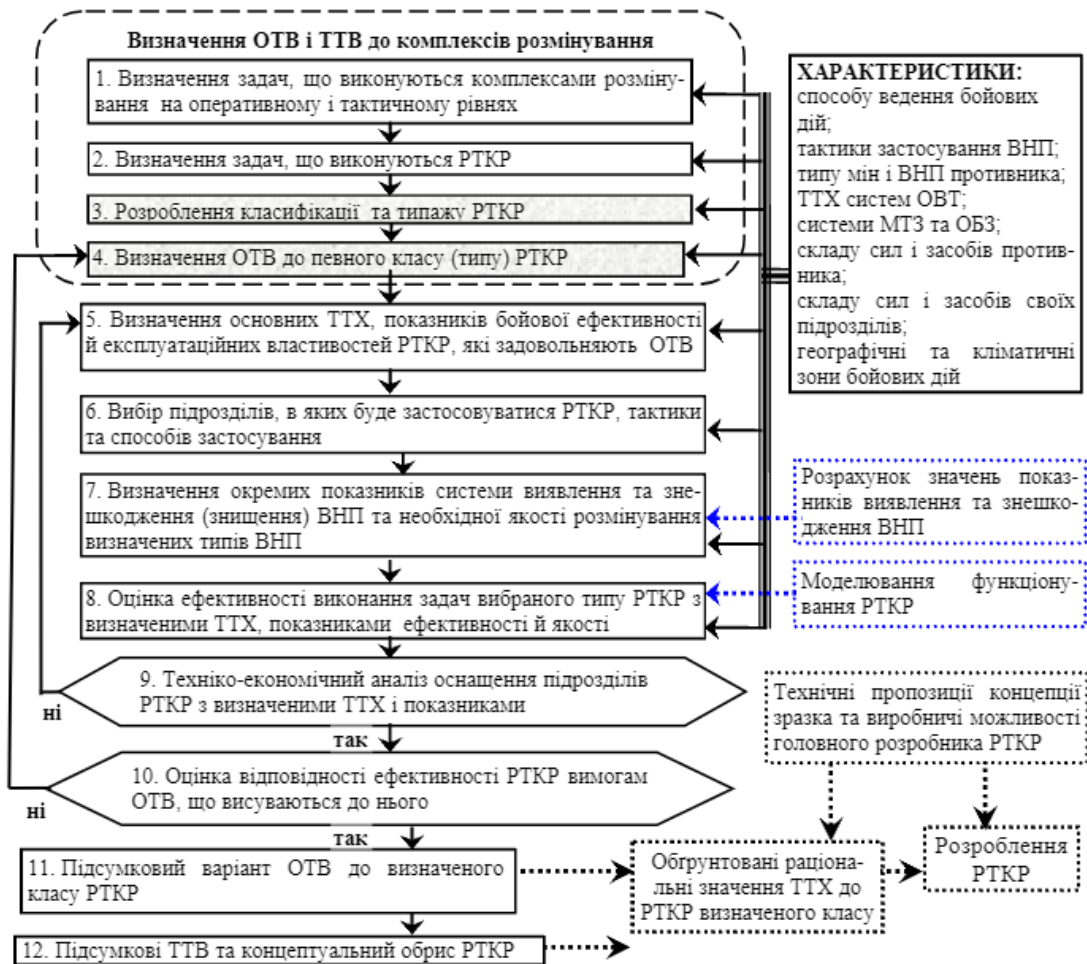


Рисунок 1.8 – Структурна схема алгоритму комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування [16]

Запропонована методика передбачає чотири етапи. На першому етапі проводиться:

- формалізація умов бойового застосування мінної зброї у сучасних збройних конфліктах;
- аналіз розвитку засобів і комплексів розмінування, принципів їх побудови та перспективних напрямів розвитку;
- аналіз попередніх досліджень щодо мінування та розмінування, нормативних документів, які регламентують вимоги до показників якості розмінування;
- визначення факторів, що впливають на функціонування РТКР.

За результатом аналізу обґрунтовується доцільність розроблення визначених типів РТКР, визначаються особливості тактики застосування ВНП, здійснюється вибір часткових і узагальнених функціональних показників РТКР на підставі декомпозиції процесу функціонування РТКР.

Як часткові показники ефективності засобів виявлення обрано:

- імовірність попадання ВНП в зону дії пошукового пристрою, імовірність виявлення одиночного ВНП різними методами;
- імовірність знешкодження ВНП маніпулятором, імовірність влучення уражаючого елемента в корпус ВНП;
- імовірність знищення ВНП уражаючим елементом, кількість пристроїв виявлення та знешкодження ВНП, якими обладнаний РТКР.

Як узагальнений показник обрано показник у вигляді математичного сподівання числа виявлених і знешкоджених типових ВНП на певній ділянці маршруту руху.

Це дозволяє на основі описання основних етапів розмінування РТКР з урахуванням умов його застосування визначити сукупність часткових показників. Зазначений системний підхід дозволяє встановити залежності часткових показників ефективності від характеристик підсистем РТКР, а також отримати необхідний обсяг даних відносно ступеню досягнення заданої мети функціонування.

На другому етапі:

- розроблюються структурна модель та алгоритм функціонування РТКР, математичні моделі (ММ) виявлення та знешкодження ВНП різними способами і методами;
- здійснюється формалізація етапів розмінування РТКР шляхом теоретичного дослідження розроблених ММ;
- проводиться вибір показників і критеріїв ефективності функціонування РТКР.

Основні показники системи виявлення ВВП визначені в рамках досліджень: імовірність виявлення ВВП індукційним, радіохвильовим і оптико-електронним (ОЕ) способом.

На третьому етапі: обґрунтовуються вимоги до функціональних показників засобів виявлення та знищення ВВП на основі ММ та експериментальних досліджень; визначається номенклатура основних вимог до спеціального обладнання РТКР.

На заключному етапі проводиться:

- моделювання функціонування РТКР з використанням програмного середовища;
- оцінка бойової ефективності РТКР;
- розроблення рекомендацій щодо технічного обрису, раціональних параметрів та основних вимог до РТКР;
- техніко-економічна оцінка впровадження запропонованих рекомендацій [16].

1.4 Висновки до першого розділу

У ході досліджень першого розділу було приведено:

- загальні характеристики знешкодження вибухонебезпечних предметів у гуманітарному розмінуванні;
- аналіз сучасної обстановки щодо замінування на Україні;
- аналіз складових систем гуманітарного розмінування;
- класифікацію робототехнічних комплексів військового призначення;
- 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 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНИЩЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

2.1 Порівняльний аналіз методів знищення вибухонебезпечних предметів за допомогою роботехнічних комплексів

Автоматизована система управління здатна значно підвищити ефективність процесів виявлення, ідентифікації та нейтралізації вибухонебезпечних предметів, зменшуючи час реакції та знижуючи ризики для людей.

Сучасні методи та технології управління забезпечують інтеграцію різноманітних інструментів і підходів для знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів [17].

Існує кілька методів управління знешкодженням вибухонебезпечних предметів, кожен з яких має свої специфічні переваги та обмеження:

- ручне управління: передбачає знешкодження вибухонебезпечних предметів вручну кваліфікованими спеціалістами, що вимагає великої уваги до деталей та може бути небезпечним для самих спеціалістів;

- роботизовані системи дозволяють видаляти вибухонебезпечні предмети на відстані, знижуючи ризик для людей, використовуючи дистанційне керування та різні інструменти для нейтралізації;

- контрольовані вибухи, метод включає використання вибухових пристроїв, розміщених поруч із вибухонебезпечним предметом, для його віддаленої нейтралізації;

- електричні системи виявлення застосовують сенсори та детектори для автоматичного виявлення та сигналізації про наявність вибухових матеріалів;

- хімічні методи для нейтралізації використовують спеціальні реагенти, що вимагає точності у виборі та можуть застосовуватись для різних видів вибухонебезпечних матеріалів;

– використання лазерів для точного впливу на вибухонебезпечний предмет з метою його нейтралізації.

Вибір найбільш ефективного методу залежить від конкретної ситуації, типу вибухонебезпечного предмета та наявності технічних ресурсів [18-19].

Проведемо порівняльний аналіз переваг та недоліків кожного з вище перерахованих методів, результат якого представлено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих методів та технологій управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів [20]

Метод/ Технологія	Опис	Переваги	Недоліки
Ручне управління	Знешкодження вручну кваліфікованими спеціалістам	Контроль та увага до деталей	Небезпека для спеціалістів, обмежений доступ до важкодоступних місць
Роботизовані системи	Видалення віддалено з використанням роботів	Зменшення ризику для людей, можливість обстеження та нейтралізації важкодоступних об'єктів	Вартість розробки та підтримки, можливість технічних неполадок
Контрольовані вибухи	Використання контрольованих вибухів для нейтралізації	Ефективність в нейтралізації вибухонебезпечних предметів	Ризик вибуху, потрібна велика точність в розміщенні вибухових пристроїв
Електричні системи виявлення	Використання сенсорів та детекторів для виявлення вибухонебезпечних предметів	Автоматичне виявлення вибухонебезпечних матеріалів	Можливість помилок детекторів, залежність від умов оточуючого середовища
Хімічні методи	Використання хімічних реагентів для нейтралізації вибухонебезпечних речовин	Ефективність у нейтралізації різних видів вибухонебезпечних матеріалів	Потрібно точне знання характеристик матеріалів, можливий ризик забруднення навколишнього середовища
Використання лазерів	Вплив лазерів на вибухонебезпечний предмет для його нейтралізації	Точність впливу на об'єкт, можливість працювати на віддаленій відстані	Високі витрати на обладнання та утримання, потрібні спеціалізовані навички для обслуговування та налаштування

Виходячи з вище перерахованих переваг та недоліків, в рамках даних досліджень пропонується використовувати комбінований метод управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів, який включає роботизовані системи, електричні системи виявлення та використання лазерів для підриву [21-22].

Знешкодження вибухонебезпечного предмета – спеціальні дії щодо блокування або нейтралізації виконавчих механізмів підривників вибухонебезпечного предмета (вилучення підривників з вибухонебезпечного предмета, вилучення вибухонебезпечного предмета з місця встановлення), спрямовані на приведення вибухонебезпечного предмета у безпечний стан, що виключає можливість його ненавмисного вибуху.

Знищення вибухонебезпечного предмета – переведення вибухонебезпечного предмета у недієздатний (безпечний) стан шляхом підриву, спалювання, механічного чи іншого повного або часткового руйнування з обов'язковим дотриманням вимог протимінної діяльності та запобіганням і мінімізацією негативних для населення, інфраструктури та довкілля наслідків.

Запропоноване рішення має такі переваги:

- комплексний підхід. Комбінація роботизованих систем, електричного виявлення та лазерного підриву надає комплексний підхід до проблеми знешкодження вибухонебезпечних предметів. Кожен елемент системи може виконувати свою унікальну функцію, сприяючи ефективності та безпеці процесу;

- зменшення ризику для людей. Роботизовані системи дозволяють видалення вибухонебезпечних предметів з віддаленої відстані, зменшуючи ризик для людей. Електричні системи виявлення можуть автоматично виявляти вибухонебезпечні матеріали, а лазери можуть бути використані для точного та безпечного підриву;

- точність та швидкість. Лазери можуть забезпечити точний вплив на вибухонебезпечний предмет, що сприяє швидкій та ефективній його нейтралізації. Роботизовані системи можуть оперативно виконувати завдання в областях, де люди можуть стикатися з ризиком;

– автоматизація та інтелект. Електричні системи виявлення можуть використовувати алгоритми машинного навчання для постійного вдосконалення процесу виявлення вибухонебезпечних предметів. Роботизовані системи можуть використовувати автономні алгоритми для ефективної взаємодії з оточуючим середовищем;

– гнучкість та адаптабельність. Комбінований підхід дозволяє адаптувати стратегію в залежності від конкретної ситуації. Наприклад, використання лазерів може бути ефективним для точної нейтралізації конкретних компонентів вибухонебезпечних предметів.

2.2 Концепція гарантованого виявлення й розпізнавання вибухонебезпечних предметів

Аналіз існуючих методів виявлення вибухонебезпечних предметів виявляє суперечність між необхідністю підвищення продуктивності обстеження територій з високою ймовірністю наявності різних типів вибухонебезпечних предметів і забезпеченням необхідної достовірності їхньої ідентифікації для знешкодження, а також наявністю методів і технологічних рішень мобільних роботизованих комплексів, зокрема флотів БПЛА, з одного боку, та відсутністю цілісної концепції, методів, засобів і технологій створення і використання багатоцільових надійних і безпечних інтелектуальних систем БПЛА для пошуку та розпізнавання вибухонебезпечних предметів, з іншого боку.

Для подолання цієї суперечності важливо, насамперед, розробити концепцію, яка стане основою для створення методології, моделей та інформаційних технологій гарантованого виявлення і розпізнавання вибухонебезпечних предметів з використанням мобільних розподілених багатOVERсійних інтелектуальних систем [23-24].

Концепція ґрунтується на двох положеннях, що поєднують прагнення забезпечити високу продуктивність і достовірність пошуку, виявлення та розпізнавання ВВП для їхнього подальшого знешкодження.

По-перше, високопродуктивне виявлення ВВП на визначеній території забезпечується шляхом:

- застосування багатофункційного флоту БПЛА, оснащеного різними типами інформаційно-вимірювальних засобів;
- планування оптимальних маршрутів руху БПЛА з урахуванням багатопараметричного покриття під час виконання поставлених завдань.

По-друге, висока достовірність виявлення і розпізнавання ВВП досягається шляхом:

- дворівневого інтелектуального оброблення інформації в розподіленій архітектурі літальних граничних обчислень (Flying Edge Computing) з урахуванням кореляції інформації, отриманої від БПЛА з різними інформаційно-вимірювальними засобами;
- донавчання відповідних нейромережних структур упродовж виконання завдань на різних територіях.

Запропонована концепція гарантованого пошуку та розпізнавання ВВП дає змогу сформулювати завдання, що необхідно розв'язати для її реалізації:

- розробити методологію (концепцію, принципи та структуру взаємозв'язків моделей, методів, програмно-апаратних засобів та інформаційних технологій) створення та використання надійних і безпечних ББІС пошуку та знешкодження ВВП;
- розробити системні моделі та комплекс показників ефективності надійних і безпечних ББІС;
- розробити та дослідити моделі та ієрархічні структури бортових комплексів ББІС для пошуку, ідентифікації та знешкодження ВВП із різними варіантами розподілу функцій та конфігурування апаратних і програмних компонентів;
- удосконалити методи пошуку та виявлення ВВП із застосуванням ББІС;
- розробити та вдосконалити методи планування використання ББІС пошуку та знешкодження ВВП на територіях із фіксованою конфігурацією та типами ВВП;

- розробити та дослідити моделі та методи підвищення надійності ББІС та їхніх компонентів;
- розробити структуру та засоби ІТ для створення, планування використання та забезпечення надійного функціонування ББІС пошуку та знешкодження ВНП;
- розробити та дослідити модель і метод аналізу та оцінювання ризику виникнення небезпечного стану "підрив на вибухонебезпечному предметі".

Використання мовних моделей у роботизованих комплексах з камерами для виявлення ВНП значно підвищує ефективність та точність цих систем. Мовні моделі можуть аналізувати системи розпізнавання зображень, забезпечуючи точніший контекстуальний аналіз та автоматичне створення текстових описів зображень, що містять підозрілі предмети.

Це покращує точність ідентифікації ВНП та сприяє швидкій реакції на потенційні загрози. Інтеграція мовних моделей з іншими технологіями, зокрема Інтернетом речей, забезпечує аналіз даних у реальному часі, підвищуючи загальну ефективність системи.

2.3 Системи управління, які застосовуються робототехнічними комплексами для знищення вибухонебезпечних предметів

Створення автоматизованої системи управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів вимагає використання робототехнічних комплексів, що складаються з різноманітних компонентів.

Кожен модуль може мати свої вхідні та вихідні параметри, а також виконувати певні завдання, пов'язані з обробкою інформації, керуванням рухом робота, сприйманням оточуючого середовища тощо.

Модуль системи – це функціонально самостійна частина системи робототехнічного комплексу, яка відповідає за виконання певної функції або набору функцій. Вона може бути реалізована як програмне забезпечення, апаратна частина, або комбінація обох.

Основними характеристиками модуля системи є:

- використання різноманітних датчиків (наприклад, рентгенівські, магнітні, акустичні тощо) для виявлення вибухонебезпечних предметів у різних середовищах;
- ідентифікація та аналіз вибухонебезпечних предметів з метою визначення їхнього типу, характеристик та ступеню небезпеки;
- генерування плану дії для безпечного та ефективного знешкодження вибухонебезпечних предметів. Вона керує роботами для знешкодження або нейтралізації матеріалів, використовуючи відповідне обладнання та технології;
- забезпечення постійного моніторингу процесу робіт та генерування звіту про виконану роботу, результати аналізу та іншу інформацію;
- забезпечення безпеки операторів та навколишнього середовища під час проведення робіт з вибухонебезпечними матеріалами. Система має вбудовані механізми аварійного управління та захисту.

Робототехнічний комплекс представляє собою систему, що включає в себе управлінську систему, сенсори, програмне забезпечення та інші технічні засоби, які дозволяють здійснювати взаємодію та виконання завдань в автоматизованому або напівавтоматизованому режимі [25].

Сенсори в контексті робототехнічного комплексу є елементами, які забезпечують збір інформації про навколишнє середовище та об'єкти, що підлягають розмінуванню. Сенсори можуть включати різноманітні типи, від оптичних та акустичних до теплових та хімічних, здатних реєструвати різноманітні аспекти навколишнього середовища.

Програмне забезпечення, з свого боку, виконує функцію аналізу отриманої від сенсорів інформації. Вони оброблюють ці дані, використовуючи різноманітні алгоритми та моделі, для виявлення потенційно небезпечних об'єктів, їхньої класифікації. На основі цього аналізу програмне забезпечення приймає рішення щодо подальших кроків, включаючи реагування на небезпеку та керування діями робототехнічного комплексу. На рис. 2.1 зображений приклад загальної схеми РТК для знищення ВНП.

Підхід до проектування робототехнічних комплексів для розмінування передбачає глибоке розуміння складових системи та їх взаємодії. Система об'єднує в собі алгоритми, програмне забезпечення та апаратне забезпечення, необхідне для ефективного керування РТК.

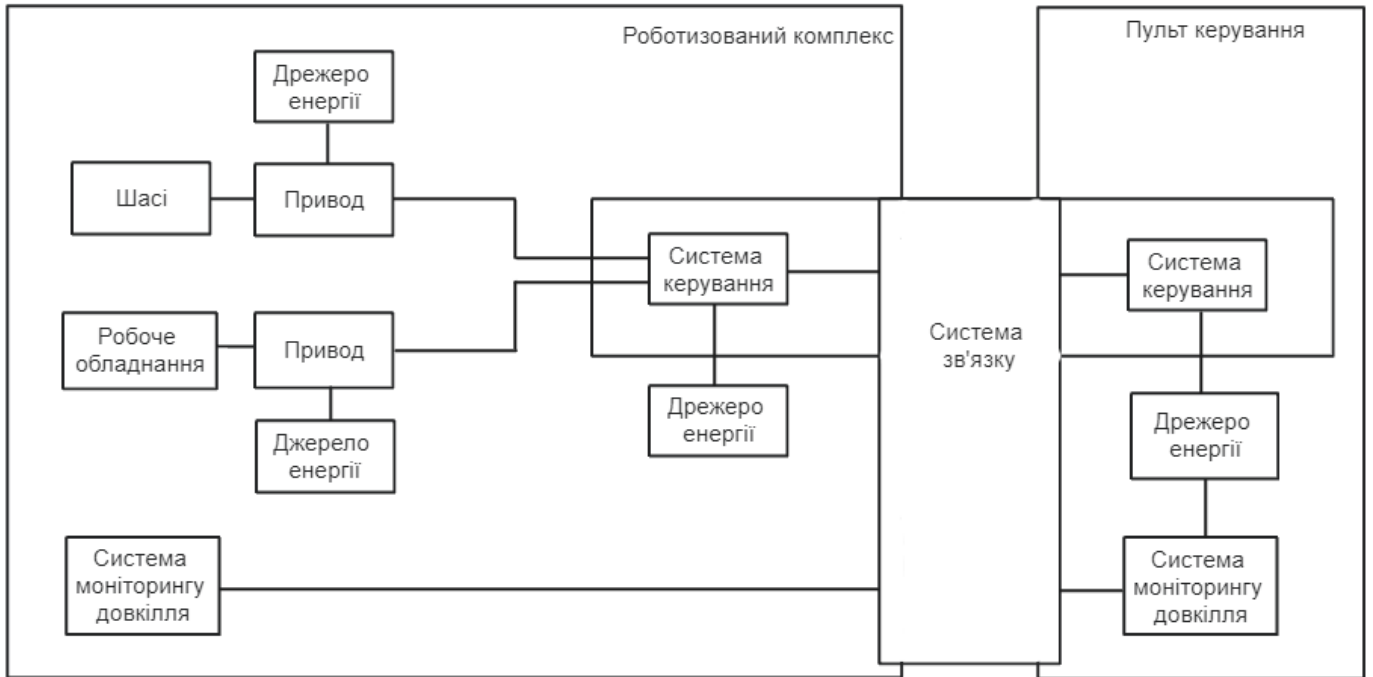


Рисунок 2.1 – Схема РТК для знищення ВНП

Система управління забезпечує взаємодію різних компонентів комплексу, включаючи сенсори, актуатори та інші пристрої. Вона приймає вхідні дані від сенсорів, аналізує їх, приймає рішення на основі заданих алгоритмів та керує відповідними діями РТК. Це може включати керування рухом, маніпулювання об'єктами, виконання специфічних завдань розмінування тощо [26].

2.4 Висновки до другого розділу

За результатами виконаного аналізу методів виявлення ВНП можна зробити висновки, що:

– зростання кількості та інтенсивності озброєних конфліктів і війн у світі, висока інтенсивність застосування боєприпасів різних типів та інтенсивність використання призводить до збільшення площі територій, забруднених ВВП;

– низька продуктивність наявних методів не дозволяє швидко й ефективно розчищати забруднені ВВП території, що призводить до значної кількості уражень і загибелі людей унаслідок підриву ВВП;

– самостійне використання окремих методів не може суттєво підвищити ймовірність виявлення ВВП;

– для підвищення продуктивності та безпеки виконання робіт із пошуку та знешкодження ВВП доцільно використовувати безпілотні інтелектуальні платформи доправлення інформаційно-вимірювальних засобів.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РТК ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

3.1 Метод використання мовної моделі системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів

Використання мовної моделі на мікроплаті для програмного модуля системи автоматизації робота з вибухонебезпечними предметами обумовлена кількома ключовими факторами:

– обчислювальні обмеження мікроплати зумовлюють необхідність використання легких та ефективних алгоритмів обробки даних. Мовні моделі, які мають невелику кількість параметрів і вимагають незначних обчислень для роботи, підходять для цієї мети;

– точність та надійність виявлення вибухонебезпечних предметів. Мовні моделі, завдяки своїм алгоритмам машинного навчання та нейронним мережам, можуть досягати високої точності в класифікації об'єктів на зображеннях, що є критичним для ефективної роботи системи автоматизації робота з вибухонебезпечними матеріалами.

У програмному модулі системи автоматизації робота мовна модель буде використовуватися наступним чином: спочатку дані з сенсорів, таких як відеокамера, будуть отримані та передані на мікроплату для обробки. Після цього мовна модель аналізуватиме зображення з метою виявлення потенційно небезпечних об'єктів.

При наявності підозрілих предметів система прийматиме відповідні рішення, щоб нейтралізувати небезпеку, активуючи механізми видалення або сигналізації. Дані про результати роботи системи збиратимуться для подальшого аналізу та вдосконалення алгоритмів дії. Такий підхід дозволить створити ефективну та надійну систему автоматизації, забезпечуючи безпеку в роботі з

вибухонебезпечними предметами при мінімальному використанні обчислювальних ресурсів мікроплати. Алгоритм реалізації виявлення та знищення ВНП представлена на рис. 3.1.

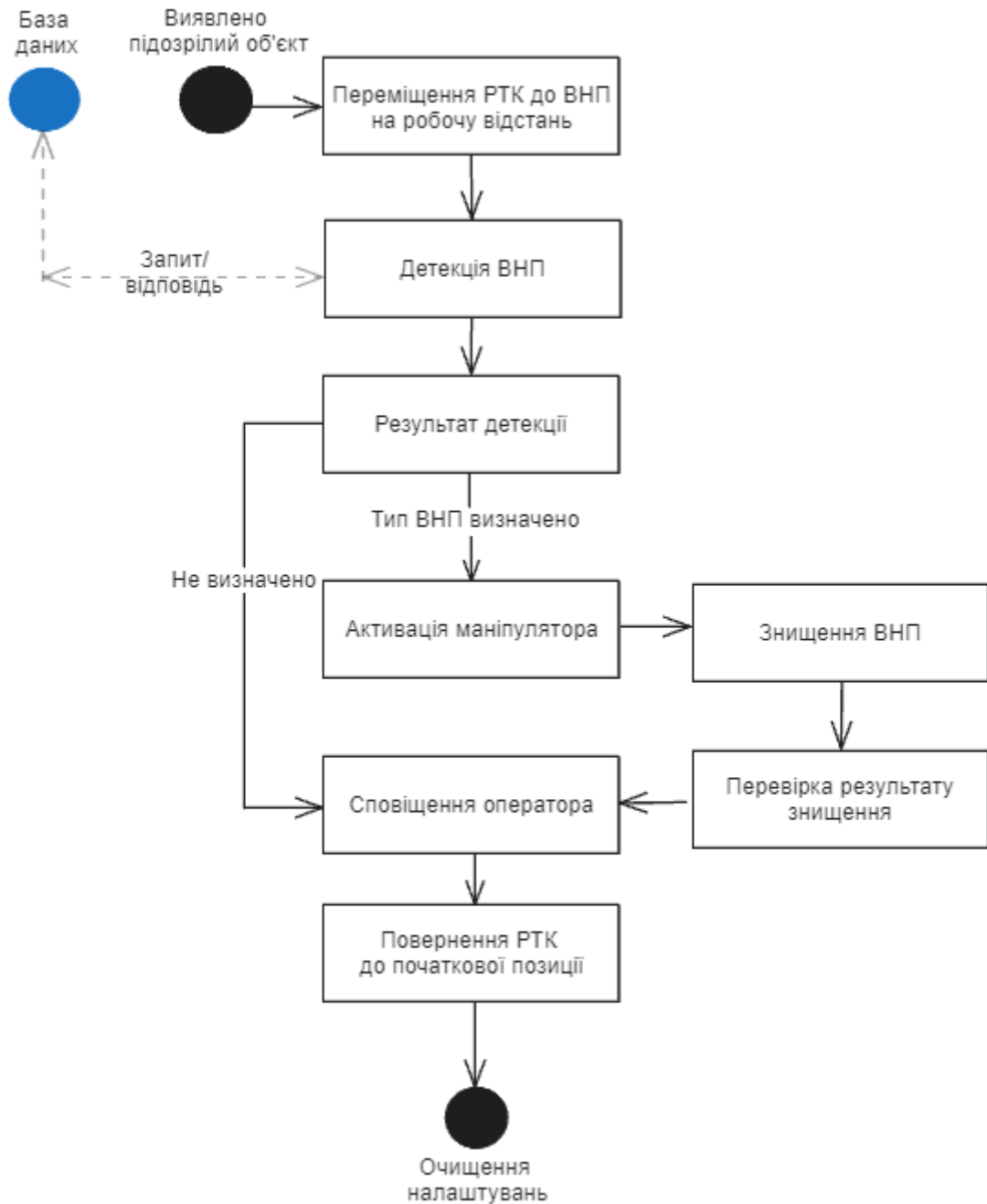


Рисунок 3.1 – Алгоритм реалізації виявлення та знищення ВНП

Модель YOLO є оптимальною для використання мікроплат. YOLO – це потужна нейронна мережа, яка вимагає значних обчислювальних ресурсів для швидкої та ефективної роботи.

У рамках вибору мовної моделі буде використана саме модель YOLOv8n з наступних причин:

- YOLOv8n вирізняється своєю компактністю та ефективністю, будучи спрощеною версією стандартної моделі YOLO. Це робить її менш ресурсоемною, що є важливим для застосувань, де обчислювальні ресурси обмежені, зокрема у вбудованих системах або на мобільних пристроях;

- завдяки своїй оптимізованій архітектурі, YOLOv8n забезпечує високу швидкість обробки зображень, що критично важливо для застосувань у реальному часі, таких як відео спостереження та інші;

- незважаючи на свою компактність, YOLOv8n зберігає достатню точність детекції об'єктів, пропонуючи прийнятний компроміс між швидкістю та точністю, що робить її придатною для широкого спектра завдань;

- YOLOv8n включає найсучасніші поліпшення та оптимізації, розроблені на основі попередніх версій YOLO, що включають покращення в обробці зображень, більш ефективні алгоритми навчання та вдосконалені методи інтерпретації результатів.

Мовна модель YOLOv8 працює, розділяючи вхідне зображення на сітку комірок. Для кожної комірки сітки модель прогнозує обмежувальні рамки (bbox) разом з ймовірностями належності до різних класів об'єктів. Після цього застосовується алгоритм NMS, щоб зменшити перекриття рамок.

Придушення немаксимумів NMS – це алгоритм постобробки, який використовується для відсіювання надлишкових і перекриваючихся передбачень об'єктів на зображенні.

Наприклад, якщо на зображенні є кілька автомобілів, що можуть мати перекриваючіся рамки, алгоритм NMS допомагає відібрати лише найбільш впевнені рамки для кожного об'єкта, зменшуючи вплив перекриття на результат

виявлення. На рисунку 3.2 представлені два ВПП, які ще не пройшли алгоритм розпізнавання.



Рисунк 3.2 – ВПП, які ще не пройшли алгоритм розпізнавання

Архітектура YOLO включає три основні блоки, які працюють разом для виявлення об'єктів на зображеннях.

Перший блок, хребет (Backbone), відповідає за вилучення важливих ознак з вхідних даних. Хребет виявляє прості візерунки, такі як краї та текстури, на початкових шарах, і працює на різних масштабах для збору ознак з різних рівнів абстракції. Це забезпечує ієрархічне представлення вхідних даних, що є важливим для подальшого аналізу.

Другий блок, шия (Neck), діє як міст між хребтом і головою мережі. Шия об'єднує піраміди ознак, отриманих від хребта, шляхом агрегації карт функцій. Вона використовує конкатенацію або злиття ознак різних масштабів, щоб мережа могла ефективно виявляти об'єкти різних розмірів. Крім того, шия інтегрує контекстну інформацію, що дозволяє підвищити точність виявлення, враховуючи більший контекст сцени.

Останній блок, голова (Head), є завершальною частиною мережі YOLO і відповідає за генерацію вихідних даних. Голова створює обмежувальні рамки для потенційних об'єктів на зображенні і призначає їм оцінки достовірності. Ці рамки сортуються за категоріями об'єктів, що дозволяє зручно аналізувати результати виявлення. На рисунку 3.3 представлені обмежувальні рамки, які створені алгоритмом розпізнавання.



Рисунок 3.3 – Обмежувальні рамки, які створені алгоритмом розпізнавання

Архітектура YOLO приймає підхід до обробки зображень, спрямований на аналіз локальних ознак, а не на розглядання зображення в цілому. Ця стратегія спрямована на зниження обчислювальних затрат і забезпечення здатності до виявлення об'єктів у реальному часі. Для отримання карт ознак, необхідних для виявлення об'єктів, у YOLO використовуються повторювані згорткові шари, які послідовно аналізують зображення на різних рівнях деталізації.

Середня точність (AP) є показником ефективності систем виявлення об'єктів. Вона використовується для оцінки, наскільки добре модель впоралася з

виявленню об'єктів на зображеннях. Середня точність узагальнює криву Precision-Recall, яка генерується зміною порогу виявлення.

Точність (Precision) визначає, яка частина виявлених об'єктів є справжніми, тобто об'єктами, що дійсно присутні на зображенні, серед усіх виявлених. Recall (запам'ятовування) показує, яка частина справжніх об'єктів була виявлена моделлю серед усіх фактично присутніх об'єктів на зображенні.

Середня точність обчислюється як середнє значення точності для різних рівнів запам'ятовування від 0 до 1. Оцінка середньої точності може коливатися від 0 до 1, де більше значення вказує на кращу продуктивність моделі у виявленні об'єктів.

Використовується середня точність (mAP), як обчислення середньої точності для кожного класу об'єктів і потім бере середнє значення цих середніх точностей. Це дозволяє отримати загальний показник ефективності моделі на всьому наборі даних з різними класами об'єктів.

Вірогідність виявлення об'єктів за допомогою мовної моделі, залежить від кількох ключових факторів, таких як архітектура моделі, навчальний набір даних, розмір моделі та оптимізація. YOLOv8 є покращеною версією попередніх моделей YOLO і використовує більш ефективні архітектурні рішення, що дозволяє досягти вищої точності при меншій кількості обчислень. Модель навчена на великому та різноманітному наборі даних, такому як COCO (Common Objects in Context), що дозволяє їй добре розпізнавати широкий спектр об'єктів. Версія YOLOv8n є найменшою і найлегшою, що робить її придатною для використання на обмежених пристроях, таких як Raspberry Pi.

Однак, вона може мати трохи нижчу точність порівняно з більшими версіями моделі (наприклад, YOLOv8l або YOLOv8x). Оптимізація моделі за допомогою TensorFlow Lite або OpenVINO, а також використання технік квантування, може вплинути на точність моделі.

Використовуючи мовну модель для РТК оснащений камерою, яка захоплює відеопотік навколишнього середовища. Зображення з камери надходять на обчислювальний модуль мікроплати для попередньої обробки. Мовна модель

обробляє кожен кадр відеопотоку, розділяючи зображення на сітку і прогножуючи межі для різних об'єктів та їх ймовірність належності до певного класу.

Виявлення об'єктів здійснюється в режимі реального часу, для швидкого реагування на потенційні загрози. Кожен виявлений об'єкт класифікується за типом ВНП, що дозволяє системі відрізнити вибухонебезпечні предмети від інших об'єктів.

На основі результатів класифікації, система приймає рішення щодо подальших дій. Маніпулятор, для знищення ВНП система активує відповідний інструмент на маніпуляторі, такий як дистанційно керований вибуховий пристрій, який приводиться в дію для знищення ВНП на безпечній відстані.

У випадках, коли знищення не є доцільним, система виконує знешкодження об'єкта, наприклад, від'єднуючи детонатор або переміщуючи ВНП у безпечне місце для подальшої обробки.

Враховуючи ці фактори, вибір моделі YOLOv8n поєднує у собі компактність, високу швидкість та достатню точність, що відповідає вимогам завдання знищення ВНП у реальному часі.

3.2 Вибір апаратної частини програмного модуля системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів

Вибір мікроплати для взаємодії з мовною моделю у програмному модулі системи автоматизації робота з вибухонебезпечними предметами. Розглянемо детально основні критерії вибору мікроплати та її використання в програмному модулі.

Одним із ключових факторів при виборі мікроплати є її обчислювальна потужність. Отже, мікроплата повинна мати достатню обчислювальну потужність для виконання алгоритмів YOLO в реальному часі.

Другим важливим аспектом є наявність вбудованих інтерфейсів для взаємодії зі сенсорами, такими як відеокамери або радари, які використовуються для збору даних про вибухонебезпечні предмети. Мікроплата повинна мати

достатню кількість портів та інтерфейсів для підключення інструментів зі збору даних.

Крім того, енергоефективність є важливим аспектом, оскільки програмний модуль системи автоматизації робота може бути використаний у мобільних або автономних пристроях. Тому мікроплата повина споживати мінімальну кількість енергії для тривалої роботи без заряду.

При виборі мікроплати для виконання завдання знищення ВНП за допомогою моделі YOLO була врахована її потужність та здатність ефективно виконувати обчислювальні операції.

Для реалізації розробки програмного модуля системи автоматизації робота для знищення вибухонебезпечних предметів було обрано мікроплату Raspberry Pi 4 Model B.

Дане рішення ґрунтується на декількох ключових критеріях, які забезпечують оптимальний баланс між продуктивністю, вартістю та доступністю. В таблиці 3.4 представлена характеристика Raspberry Pi 4 Model B.

Таблиця 3.4 – Характеристики Raspberry Pi 4 Model B

Параметр	Характеристика
Процесор	Чотирьохядерний ARM Cortex-A72 (ARM v8) 64-бітний SoC з тактовою частотою 1.5 ГГц
Оперативна пам'ять	2 ГБ, 4 ГБ або 8 ГБ LPDDR4-3200 SDRAM
Графіка	Broadcom VideoCore VI, підтримка OpenGL ES 3.0, відтворення відео 4K H.265
Зберігання даних	Слот для карт microSD
Мережа	Гігабітний Ethernet, підтримка 802.11ac Wi-Fi, Bluetooth 5.0
Порти	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0, 2 x Micro-HDMI (до 4K відео на двох моніторах), 3.5 мм аудіо/відео комбінований роз'єм
Інтерфейси	GPIO (40 контактів), двосмуговий DSI дисплейний порт, двосмуговий CSI порт для камери, 4-полюсний стерео аудіо та композитний відеопорт
Живлення	USB-C роз'єм (5V 3A)

Raspberry Pi 4 оснащений чотирьохядерним процесором Cortex-A72 (ARM v8) з тактовою частотою 1.5GHz, оперативною пам'яттю від 2GB до 8GB LPDDR4-3200 SDRAM та графічним процесором VideoCore VI, який підтримує OpenGL ES 3.0. Використання легших версій моделі, таких як YOLOv8-tiny, може значно знизити час розпізнавання. Використовуючи менші розміри вхідного зображення, наприклад, 320x320 або 416x416 пікселів, також допомагають знизити час обробки.

Використання бібліотек, оптимізованих для ARM-архітектури, таких як TensorFlow Lite або OpenVINO, може прискорити обчислення. Крім того, впровадження технік квантування (перетворення моделей з плаваючою точкою на цілі числа) може прискорити обробку за рахунок незначного зниження точності.

Типовий час розпізнавання для YOLOv8 на Raspberry Pi 4 без оптимізації може займати від 3 до 5 секунд для обробки одного зображення розміром 640x640 пікселів. Використання компактної версії YOLOv8-nano з розміром зображення 320x320 може знизити цей час до 1-2 секунд.

Конвертування моделі YOLOv8 в TensorFlow Lite і використання оптимізованої версії для ARM-архітектури може знизити час обробки до приблизно 0.5 - 1 секунди для компактних моделей. Використання технік квантування може знизити час обробки на додаткові 20-30%, що призведе до приблизно 0.4 - 0.8 секунди для обробки одного зображення.

Хоча плата не є найпотужнішою серед представлених на ринку, її можливостей достатньо для впровадження менш ресурсозатратних моделей, таких як YOLO, у режимі реального часу. Для покращення продуктивності також можливо використовувати Google Coral USB Accelerator, який значно прискорює обробку даних за рахунок вбудованого TPU (Tensor Processing Unit).

Tensor Processing Unit – це спеціальна інтегральна схема прискорювача штучного інтелекту, розроблена Google для машинного навчання нейронної мережі за допомогою власного програмного забезпечення Google TensorFlow.

Raspberry Pi має 40 універсальних виводів вводу/виводу цифрових сигналів (GPIO), що дозволяє використовувати декілька цифрових датчиків у вбудованих

проектах. Крім того, він підтримує широкий спектр мов програмування, включаючи C, C++, Java, Ruby, Python і C#.

Raspberry Pi сумісна з широким спектром програмного забезпечення та бібліотек для машинного навчання, таких як TensorFlow, OpenCV, PyTorch та інші. Це дозволяє легко інтегрувати існуючі моделі та алгоритми, а також адаптувати нові рішення для конкретних завдань проекту. Крім того, велика спільнота користувачів Raspberry Pi забезпечує доступ до безлічі ресурсів, керівництв та підтримки, що спрощує процес розробки та налаштування системи.

Порівняно з попередніми моделями Raspberry Pi, такими як Raspberry Pi 3 та Raspberry Pi 2, модель Raspberry Pi 4 пропонує значні покращення. Вона має більш потужний процесор, більший обсяг оперативної пам'яті (до 8 ГБ порівняно з максимумом 1 ГБ у Raspberry Pi 3) та підтримує швидкісний інтерфейс USB 3.0, що дозволяє підключати швидкісні периферійні пристрої. Крім того, Raspberry Pi 4 підтримує відеовихід 4K, що робить її ідеальною для медійних центрів та завдань, що вимагають високої якості відео.

Raspberry Pi 4 пропонує значні переваги порівняно з платформами Arduino та NVIDIA, а також іншими моделями Raspberry Pi. Вона забезпечує достатню продуктивність, низьку вартість, енергоефективність, високу сумісність з програмним забезпеченням, гнучкість, портативність. Ці переваги роблять Raspberry Pi 4 оптимальним вибором у порівнянні з платформами Arduino, які обмежені у продуктивності та можливостях підключення, та з потужними, але дорогими платформами NVIDIA.

Розглянувши різноманітні аспекти та вимоги дослідження, вибір мови програмування для написання коду було здійснено на користь Python. Вибір Python обумовлений кількома факторами, що включають його широке застосування в сфері машинного навчання, простоту та зручність у використанні, а також наявність широкої підтримки спільноти розробників.

Python є популярною мовою програмування у сфері наукових досліджень, а також відома своєю легкістю у вивченні та розумінні коду. Його велика кількість бібліотек та фреймворків, зокрема для машинного навчання, також робить його

привабливим вибором для реалізації складних алгоритмів, таких як модель YOLO. Таким чином, Python є оптимальним вибором для написання коду в рамках кваліфікаційної роботи.

3.3 Програмний код модуля системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів

Програмний код для модуля знищення вибухонебезпечних предметів, написаний для Raspberry Pi на мові Python. Цей програмний код можливо використовувати для РТК, який використовує плату Raspberry Pi та маніпулятор. Саме для маніпулятора був виконаний модуль для системи автоматизації РТК для знищення ВНП.

Програмний код модуля, який виконує функцію обробки зображення та відеопотоку в реальному часі, знаходження ВНП, аналізування та знищення ВНП наведено у додатку А.

Спочатку відбувається підключення необхідних бібліотек та налаштування GPIO пінів для керування маніпулятором:

- `import cv2`: Бібліотека OpenCV для роботи з комп'ютерним зором;
- `from ultralytics import YOLO`: Бібліотека для завантаження моделі YOLOv8;
- `import RPi.GPIO as GPIO`: Бібліотека для роботи з GPIO пінінами на Raspberry Pi;
- `import time`: Бібліотека для роботи з часом (затримки).

Використовуються бібліотеки `cv2` для обробки зображень, `ultralytics` використовується для роботи з моделлю YOLO, `RPi.GPIO` для керування GPIO пінінами.

`GPIO.setmode(GPIO.BCM)`: Встановлюємо режим нумерації пінів. Визначаємо піни для різних дій маніпулятора:

- захоплення (`GRAB_PIN`);
- переміщення (`MOVE_PIN`);

- знищення (DESTROY_PIN);
- повернення (RETURN_PIN);
- відпускання (RELEASE_PIN).

Після налаштування GPIO пінів створюється клас «DetectionAlgo», який містить основні методи для роботи з моделлю YOLO, детекції об'єктів, керування маніпулятором, який знищує вибухонебезпечний предмет.

Метод «detect_from_image» виконує детекцію об'єктів на зображенні, а detect_from_camera – на відеопотоці з камери. Метод «move_manipulator» керує маніпулятором, використовуючи GPIO піни.

Обробивши файл функцією «detect_from_image», ми зберігаємо файл за допомогою функції «result.save» який був оброблений. Після оброблення та збереження файла ми можемо його переглянути у програмному інтерфесі, який наведено на рис 3.4.

Використовуючи функцію «detect_from_camera» захоплює відеопотік з камери, детектує об'єкти в реальному часі, відображаючи результати оброблення.

Після обробки зображення за допомогою функції «detect_from_image» ми відправляємо функцію «self.process_change(result) » обробляє картинку і зберігає за допомогою функції result.save. На рис 3.5 представлена збережений рисунок результату в інтерфесі користувача.



Рисунок 3.4 – Інтерфейс користувача



Рисунок 3.5 – Збережений рисунок результату

Після обробки функції «result.save» виводиться рисунок, який виявляється та ідентифікується за допомогою мовної моделі $uolov8n$ представлений на рис 3.6.



Рисунок 3.6 – Виявлення та ідентифікація ВВП

Метод «process_change» аналізує результати детекції, зберігає зображення з результатами, якщо виявлено вибухонебезпечний предмет з впевненістю 75% і більше викликає функцію «destroy_bomb».

Для знищення вибухонебезпечних предметів використовується функція «destroy_bomb», що виконує послідовність команд РТК:

- захоплює дистанційно керований вибуховий пристрій;
- переміщується до ВНП;
- відпускає маніпулятор з керованим вибуховим пристроєм;
- переміщується до безпечної зони;
- виконує знищення ВНП.

На завершення, створюється екземпляр класу «DetectionAlgo», викликається метод для детекції на зображенні та очищуються налаштування GPIO.

3.4 Висновки до третього розділу

Використання моделі YOLOv8n на мікроплаті Raspberry Pi 4 у системі автоматизації робота для знищення вибухонебезпечних предметів дозволяє досягти високої точності виявлення та класифікації об'єктів в реальному часі з мінімальними ресурсами. YOLOv8n забезпечує ефективний аналіз даних з сенсорів і нейтралізацію небезпечних об'єктів з мінімальними ризиками.

Програмний модуль написаний на Python для Raspberry Pi 4 обробляє зображення за допомогою YOLO, керує маніпулятором через GPIO та реалізує алгоритми знищення, забезпечуючи інтеграцію з сенсорами та процедури безпеки, створюючи надійну систему.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

При розробці програмного модуля для систем автоматизації робота для знищення вибухонебезпечних предметів, важливо враховувати умови праці операторів і технічного персоналу.

Оператори працюють у середовищі з підвищеним рівнем ризику, що вимагає високого рівня концентрації та точності дій.

Робочі місця повинні бути ергономічно облаштовані для мінімізації фізичного навантаження, а також оснащені сучасними засобами зв'язку та управління.

Важливо забезпечити належне освітлення та вентиляцію, що сприятиме зменшенню стомлюваності та підтриманню оптимальної продуктивності.

Крім того, необхідно враховувати можливі впливи електромагнітного випромінювання, шуму та інших факторів, що можуть негативно вплинути на здоров'я працівників.

Регулярні медичні огляди та профілактичні заходи допоможуть запобігти професійним захворюванням.

Забезпечення промислової безпеки при розробці та експлуатації систем автоматизації. Для створення безпечного робочого середовища необхідно дотримуватися ряду вимог.

Робоче середовище має відповідати стандартам безпеки, включаючи належну вентиляцію, освітлення та температурний режим.

Важливо впроваджувати системи контролю доступу до виробничих приміщень, щоб запобігти несанкціонованому проникненню та знизити ризик аварій.

Обладнання робочих місць захисними екранами, бар'єрами та іншими засобами, які допоможуть мінімізувати ризик травмування працівників.

Регулярні інструктажі з промислової безпеки та навчання працівників діям у випадку надзвичайних ситуацій є важливим заходом для підвищення рівня безпеки.

Постійний моніторинг стану обладнання та виробничого середовища дозволить своєчасно виявляти та усувати потенційні небезпеки, забезпечуючи безпеку працівників.

4.2 Захист від шкідливого впливу факторів виробничого середовища та трудового процесу

Для забезпечення захисту працівників від шкідливих факторів виробничого середовища необхідно використовувати комплексний підхід. Електромагнітне випромінювання, яке виникає під час роботи з комп'ютерним обладнанням, може негативно впливати на здоров'я.

Кожне місце оснащено робочим столом площею 1,3 м², персональним комп'ютером або ноутбуком та м'яким кріслом. Персональний комп'ютер включає монітор, системний блок, клавіатуру і графічний планшет, відповідно до стандартів з площею 10 м² і об'ємом 20 м³ на робоче місце.

З метою поліпшення організації робочих місць програмістів рекомендується:

- встановлення робочих столів з регульованою висотою для забезпечення комфорту під час роботи;
- збільшення розміру робочої поверхні столу до не менше 1500 мм у довжину та 1100 мм у ширину, щоб забезпечити достатній простір для роботи;
- під столом повинен бути достатній простір для комфортної роботи ніг;
- стіл робітника має мати підставку для ніг, розташовану під кутом 20 градусів до поверхні столу, що сприяє зручному розміщенню ніг під час роботи.

Важливо також враховувати відстань від краю стола до клавіатури, яка повинна бути більше 30 см, але не перевищувати 70 см, щоб уникнути навантаження на спину та шию програміста. Правильно підібрана відстань забезпечить зручну опору для передпліччя.

Відстань від очей до екрану монітора також має бути в межах 50-70 см для забезпечення оптимального комфорту роботи.

Робочі стільці, призначені для використання програмістами, повинні мати м'яку підстілку і відповідну висоту (46-56 см), що дозволяє користувачам займати комфортне положення під час тривалої роботи.

Висота спинки стільця не менше 30 см, а ширина не менше 38 см, що сприяє підтримці здоров'я та зручності під час сидячої роботи.

З метою зменшення напруження на тіло, рекомендується скорочувати час витрачений за монітором і робити перерви для відпочинку очей кожні 50 хвилин при загальній тривалості зміни в 8 годин. Ці заходи сприятимуть збереженню здоров'я та підвищенню продуктивності програмістів.

4.3 Заходи безпеки ураження електричним струмом

Електричне обладнання на виробничих підприємствах є потенційно небезпечним для працівників, оскільки людські органи чуттів не можуть на відстані виявити електричну напругу.

Тяжкість наслідків дії електричного струму на людину залежить від величини струму, його роду і частоти, електричного опору тіла, тривалості дії, напрямку проходження струму через тіло, індивідуальних властивостей людини, схеми доторкання до ланцюга струму та умов навколишнього середовища.

Навколишнє середовище значною мірою визначає наслідок дії електричного струму на людину. Опір перегрітого організму знижується, тому з підвищенням температури тяжкість ураження струмом підвищується.

Небезпечність ураження електричним струмом зростає з підвищенням вологості та забрудненості повітря. Вологість, струмопровідний пил, їдка пара та газу руйнівні діють на ізоляцію електрообладнання, знижуючи її опір. Це створює потенційну небезпеку переходу напруги на конструктивні елементи електрообладнання (корпуси, станини, кожухи), до яких можуть торкатися люди.

Усі приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом поділяються на три класи:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні.

Приміщення без підвищеної небезпеки – це сухі, незапилені приміщення з нормальною температурою повітря та ізолюючими підлогами.

Монтаж електричних установок у таких приміщеннях можна виконувати, застосовуючи дроти без підвищеної ізоляції та встановлюючи будь-які вимикачі, штепсельні розетки і світильники.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються вологістю повітря, що перевищує 75%, температурою повітря, яка постійно або періодично (більше однієї доби) перевищує 35 °С, виділенням струмопровідного пилу, який може осідати на дротах, проникаючи всередину електричних машин і апаратів, наявністю струмопровідних підлог та можливістю одночасного доторкання до металоконструкцій і металевих корпусів електрообладнання.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються особливою вологістю повітря близькою до 100%, наявністю хімічно активного або органічного середовища, що містить агресивну пару, газу, рідини, відкладення або плісняву, які руйнують ізоляцію і струмоведучі частини електрообладнання. В таких приміщеннях одночасно можуть бути присутні кілька умов, властивих приміщенням з підвищеною небезпекою.

Категорію приміщень і умов роботи за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом визначають відповідальні за електрогосподарство особи, виходячи з місцевих умов і відповідно до наведеної класифікації.

Заземлення обладнання, регулярна перевірка стану ізоляції проводів, використання захисних пристроїв – все це є необхідними заходами для забезпечення безпеки.

При виникненні несправностей або аварійних ситуацій персонал повинен мати чіткі інструкції та плани дій для швидкого реагування.

Крім того, необхідно проводити регулярні інструктажі та тренінги для працівників з питань електробезпеки, щоб підвищити їхню обізнаність та готовність до можливих небезпек.

4.4 Пожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки на виробничих підприємствах є одним з ключових аспектів охорони праці. Важливо дотримуватись всіх протипожежних норм та правил, зокрема, забезпечити наявність пожежних виходів, встановити системи автоматичного пожежогасіння та сигналізації, провести навчання персоналу з питань пожежної безпеки.

У приміщеннях, де є висока небезпека виникнення пожежі, слід розміщувати вогнегасники та інше пожежне обладнання у доступних місцях, а також регулярно проводити огляди й обслуговування систем пожежної безпеки. Персонал повинен бути ознайомлений з планами евакуації та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння.

На підприємстві кожен співробітник повинен дотримуватись вимог пожежної безпеки. Організація та контроль цих вимог покладаються на посадових осіб, визначених керівництвом, і прописуються в їхніх посадових інструкціях та положеннях структурних підрозділів.

В інструкціях зазначаються конкретні території, ділянки, зони та об'єкти, за які відповідає співробітник. Відповідальні особи повинні розробити, впровадити та підтримувати протипожежний режим та інструкції відповідно до нормативних актів. Також передбачено створення підрозділів добровільної пожежної охорони та пожежно-рятувальної команди.

Важливо також враховувати специфіку виробничих процесів та обладнання при розробці заходів з пожежної безпеки.

4.5 Безпека під час гуманітарного розмінування

Забезпечення безпеки під час гуманітарного розмінування з використанням роботизованих платформ є надзвичайно важливим, оскільки неслідкування правил може призвести до серйозних наслідків для працівників, операторів та навколишнього середовища. Тому дотримання цих правил та інструкцій є обов'язковим для забезпечення безпеки всіх учасників процесу.

Охорона праці при використанні РТК для гуманітарного розмінування базується на кількох ключових аспектах:

- навчання та підготовка персоналу: працівникам необхідно отримати докладні інструкції щодо роботи з роботизованою платформою, включаючи навички користування пультом керування та реагування на аварійні ситуації;
- використання захисного обладнання: персонал повинен мати належне захисне спорядження, таке як захисний одяг та інші засоби, що зменшують ризики травматизму;
- дотримання стандартів безпеки: важливо дотримуватися установлених стандартів безпеки, які визначаються на рівні різних регулюючих організацій;
- оцінка загроз та ризиків: перед початком робіт проводиться оцінка потенційних небезпек та ризиків для визначення відповідних запобіжних заходів;
- контроль середовища: систематичний моніторинг допомагає вчасно виявляти можливі небезпеки та уникнути негативних наслідків;
- технічне обслуговування: регулярний технічний огляд та обслуговування платформи перед роботою допомагає уникнути технічних неполадок та аварій;
- надзвичайні ситуації та аварії: розробка і впровадження процедур безпеки допомагають управляти можливими небезпечними ситуаціями та мінімізувати їх наслідки;
- документування та відповідальність: важливо вести документацію щодо заходів безпеки та відстежувати їх виконання;

– співпраця з експертами та владними органами: при необхідності слід залучати фахівців з безпеки та співпрацювати з місцевими органами влади для забезпечення максимальної безпеки на робочій території.

Погодні умови можуть значно ускладнити та уповільнити роботу роботизованої платформи, яка використовується для розмінування. Наприклад, сильний вітер може порушити стабільність системи, особливо коли вона збирає дані з сенсорів або камер.

Туман або дощ можуть знизити видимість, ускладнюючи процес установки та розмінування території. Грозові умови зазвичай вимагають припинення роботи з метою забезпечення безпеки персоналу та обладнання.

Екстремальні температури також можуть мати негативний вплив, перегрів обладнання від високих температур або вплив низьких температур на роботу акумуляторів, що обмежує тривалість роботи платформи.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного модуля систем автоматизації робота для знищення вибухонебезпечних предметів. Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені такі завдання:

- у першому розділі досліджено сучасну систему гуманітарного розмінування, включаючи аналіз сучасних робототехнічних комплексів (РТК), які застосовуються в гуманітарного розмінуванні. Також розглянуто поширені вибухонебезпечні предмети (ВНП) та їх ідентифікаційні ознаки;

- у другому розділі проведено аналіз методів знищення ВНП за допомогою РТК та концепції гарантованого виявлення ВНП;

- в третьому розділі розроблена модель системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів, яка застосовується з метою ідентифікації та знищення ВНП. Обрано апаратну частину, яка є складовою вибраної моделі та розроблений програмний код для модуля системи автоматизації РТК для знищення вибухонебезпечних предметів;

- в четвертому розділі були описані питання з охорони праці, спрямовані на аналіз умов праці на робочому місці.

Основна сфера застосування РТК – роботи зі знищення вибухонебезпечних предметів у системі гуманітарного розмінування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 30 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. 55 с.
3. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Київ–58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2022. – 245 с.
4. Положення про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ / nure.ua.
URL : https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf (дата звернення : 12.05.2024).
5. 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.
6. Щодо розмінування підрозділами ДСНС території України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/map-demining> (дата звернення: 14.04.2024).
7. Ukraine: Mine Action – 5W Situation Report (as of 01 June 2022). URL: <https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-mine-action-5w-situation-report-01-june-2022> (дата звернення: 14.04.2024).
8. Landmine Monitor 2022. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/reports/2022/landmine-monitor-2022.aspx> (дата звернення: 14.04.2024).

9. Янушкевич Д. А., Іванов Л. С. Сучасні тенденції застосування роботизованих систем для гуманітарного розмінування [Електронний ресурс] / Д. А. Янушкевич, Л. С. Іванов // Збірник матеріалів III форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» АЕРТ-2021. – Режим доступу: <https://mts.nure.ua/conferences-ua/forum/aert-2021>.

10. Аналіз виконання робіт щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів у 2024 році. URL: <https://dsns.gov.ua/protiminna-diyalnist/gumanitarne-rozminuvannya/analiz-vikonannya-robit-schodo-ochischennya-teritoriyi-ukrayini-vid-vibuhonebezpechnih-predmetiv-po-rokah> (дата звернення: 14.04.2024).

11. Про протимінну діяльність в Україні [Електронний ресурс] : Закон України від 6 грудня 2018 року № 2642-VIII // Верховна Рада України : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://bit.ly/2RD1yF7>. – Назва з екрана.

12. Найбільш розповсюджені вибухонебезпечні предмети [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mine.dsns.gov.ua/>.

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

14. Teledyne FLIR Defense Delivers 1000th MTRS Inc II // Army Technology. URL: <https://www.flir.com/products/centaur/?vertical=ugs&segment=uis> (дата звернення: 16.04.2024).

15. M160 is an improved version of the Commercial Off-The-Shelf DOK-ING MV-4 Mechanical Anti-Personnel Mine Clearing System. URL: <https://eokhub.org/index.php/topics/equipment/42-dok-ing-demining-machine-mv-4>. (дата звернення: 16.04.2024).

16. Гусяков О.М. Методика комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування. URL: https://www.researchgate.net/publication/327148939_Metodika_kompleksnogo_obgrun

tuvanna_vimog_do_robototehnicnogo_kompleksu_rozminuvanna (дата звернення: 14.05.2024).

17. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.

18. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906

19. Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.

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

21. T Maragatham, P Balasubramanie and M Vivekanandhan (2021). IoT Based Home Automation System using Raspberry Pi 4. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1055 012081. DOI 10.1088/1757-899X/1055/1/012081

22. Lailis Syafa'ah; Agus Eko Minarno; Fauzi Dwi Setiawan Sumadi; Dwi Angraini Puspita Rahayu (2019). ESP 8266 For Control And Monitoring In Smart Home Application. In *International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)*. Conference Location: Jember, Indonesia. DOI: 10.1109/ICOMITEE.2019.8921287.

23. Kharchenko, V., Kliushnikov, I., Rucinski, A., Fesenko, H., Illiashenko, O. (2022), "UAV Fleet as a Dependable Service for Smart Cities: Model-Based Assessment and Application", *Smart Cities*, Vol. 5, Issue 3, P. 1151–1178. DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities5030058>

24. Sun, Y., Fesenko, H., Kharchenko, V., Zhong, L., Kliushnikov, I., Illiashenko, O., Morozova, O., Sachenko, A. (2022), "UAV and IoT-Based Systems for the Monitoring of Industrial Facilities Using Digital Twins: Methodology, Reliability Models, and Application", *Sensors*, Vol. 22, Issue 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22176444>

25. Шишанов М.О. Комплексне моделювання процесу розмінування з використанням засобів інженерного озброєння [Електронний ресурс] / В.І. Коцюруба, О.М. Гусяков, Центр. наук.-дослід. ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ.

26. Робототехнічний комплекс [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9F_%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%96%D1%94%D0%B2%D0%B0/page22.html. Дата звернення (12.05.2024)

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

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

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