

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації  
та робототехніки

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

«3D-моделювання роботизованої платформи

для гуманітарного розмінування»

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи КТРСм-22-2

Чеснаков Б.О.

Спеціальності 151 Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютеризовані та

робототехнічні системи

Керівник проф. Цимбал О.М

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2024р.

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

11.01.2024 р.



---

(підпис)

Чеснаков Б.О.

---

(ПІБ)

## ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологійКафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та  
робототехнікиРівень вищої освіти перший другий (магістерський)Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технологіїТип програми Освітньо-професійнаОсвітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР \_\_\_\_\_

(підпис)

«» \_\_\_\_\_

2024 р.**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУстудентові Чеснакову Богдану Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи 3D-моделювання роботизованої платформи для  
гуманітарного розмінуванняЗатверджена наказом по університету від 03.11.2023 № 1288 Ст.2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19.01.2024р3. Вихідні дані до роботи Середовище моделювання Fusion 360,  
середовище розробки симуляцій CorptliaSim, мова програмування Lua.4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_  
Вступ;Аналіз сучасного стану роботизованих платформ та вибухонебезпечних  
об'єктів для гуманітарного розмінування;Моделювання конструкцій роботизованої платформи для гуманітарного  
розмінування;Реалізація процесів моделювання гуманітарного розмінування територій за  
допомогою роботизованої платформи;Охорона праці;Висновки;Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.pptx) – 14 с. та відеоматеріал

6. Консультанти розділів роботи

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

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до кваліфікаційної роботи	10.11.23	<i>виконано</i>
2	Вступ	11.11 – 12.11.23	<i>виконано</i>
3	Аналіз технічного завдання	12.11 – 13.11.23	<i>виконано</i>
4	Аналіз інструментів розробки та аналіз технічного завдання	13.11 – 15.11.23	<i>виконано</i>
5	Проектування системи роботизованої платформи	15.11 – 25.11.23	<i>виконано</i>
6	Моделювання системи роботизованої платформи та допоміжних установок для гуманітарного розмінування	25.11 – 21.12.23	<i>виконано</i>
7	Охорона праці	21.12 – 27.12.23	<i>виконано</i>
8	Висновок	27.12 – 29.12.23	<i>виконано</i>
9	Оформлення пояснювальної записки	9.01 – 11.01.24	<i>виконано</i>
10	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	12.01 – 13.01.24	<i>виконано</i>
11	Подання роботи на рецензію	14.01 – 15.01.24	<i>виконано</i>
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри	16.01 – 18.01.24	<i>виконано</i>
13	Подання атестаційної роботи в ЕК	19.01.24	<i>виконано</i>

Дата видачі завдання 10.11.2023 р.

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Чеснаков Б.О.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

проф. Цимбал О.М.

\_\_\_\_\_ (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 8 табл., 78 рис., 4 дод., 32 джерел.

3D МОДЕЛЮВАННЯ, РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА, РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА, ДОПОМІЖНІ УСТАНОВКИ, МАНІПЛЯТОР, КУЛЬТИВАТОР, РОЛИК, КІВШ, ГУМАНІТАРНЕ РОЗМІНУВАННЯ, ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ПРЕДМЕТИ, ЗАСОБИ РОЗМІНОВУВАННЯ.

Мета роботи – покращення методів ефективності розмінування за допомогою комп'ютерних моделей роботизованих платформ.

Об'єкт дослідження – процес моделювання роботизованих платформ, які застосовуються при гуманітарному розмінуванні вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – конструкція роботизованих платформ та їх маніпуляторів для процесу розмінування вибухонебезпечних предметів.

Методи дослідження – аналіз та розробка роботизованих платформ та допоміжних установок для розмінування вибухонебезпечних об'єктів.

Результатом цієї роботи є модель роботизованої платформи та допоміжних установок, спеціально призначених для гуманітарного розмінування замінованих територій. Ці розробки можуть стати прикладом використання у практиці, спрямованій на усунення небезпечних об'єктів.

Отриману модель можна використовувати як основу для створення інноваційної системи розмінування, яка здатна розмінувати вибухонебезпечні предмети з безпекою для людей. Ця робота може послужити важливим фундаментом для подальших досліджень та розвитку схожих систем у цій сфері.

## ABSTRACT

Explanatory note: 91 p., 8 tabl., 78 fig., 4 adj., 32 sources

3D MODELING, ROBOTIC PLATFORM, ROBOTIC SYSTEM, AUXILIARY DEVICES, MANIPULATOR, CULTIVATOR, ROLLER, BUCKET, HUMANITARIAN DEMINING, EXPLOSIVE-SAFE ITEMS, DEMINING TOOLS.

The purpose of the work is to improve methods of demining efficiency with the help of computer models of robotic platforms.

The object of research is the process of modeling robotic platforms that are used in humanitarian demining of explosive objects.

The subject of research is the construction of robotic platforms and their manipulators for the process of demining explosive objects.

Research methods – analysis and development of robotic platforms and auxiliary installations for demining explosive objects.

The result of this work is a model of a robotic platform and auxiliary installations, specially designed for humanitarian demining of mined areas. These developments can become an example of use in practice aimed at eliminating dangerous objects.

The resulting model can be used as a basis for creating an innovative demining system capable of demining explosive objects with safety for people. This work can serve as an important foundation for further research and development of similar systems in this area.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	10
Вступ .....	11
1 Аналіз сучасного стану роботизованої платформи та вибухонебезпечних об'єктів для гуманітарного розмінування .....	13
1.1 Загальний аналіз територій для гуманітарного розмінування .....	13
1.2 Загальний аналіз характеристик вибухонебезпечних предметів .....	17
1.2.1 Загальний аналіз інженерних боєприпасів .....	17
1.2.2 Загальний аналіз авіаційних ракет .....	20
1.2.3 Загальний аналіз артилерійських снарядів .....	21
1.2.4 Загальний аналіз ручних гранат .....	22
1.2.5 Загальний аналіз стрілецьких боєприпасів .....	23
1.3 Загальний аналіз роботизованих платформ для розмінування .....	24
1.4 Аналіз процесів гуманітарного розмінування з застосуванням сучасних методів .....	26
1.4.1 Механічний метод виявлення ВВП .....	29
1.4.2 Оптичний метод виявлення ВВП .....	29
1.4.3 Теплолокаційний метод виявлення ВВП .....	30
1.4.4 Газоаналізаторний метод виявлення ВВП .....	31
1.4.5 Рентгенівський метод виявлення ВВП .....	31
1.4.6 Ядерно-фізичні метод виявлення ВВП .....	32
1.5 Порівняльний аналіз методів виявлення ВВП за допомогою роботизованих платформ .....	33
1.6 Висновки до першого розділу .....	36
2 Моделювання конструкції роботизованої платформи для гуманітарного розмінування .....	37
2.1 Вибір програмного інструментарію для моделювання конструкції роботизованої платформи .....	37

2.2 Модулювання основної частини роботизованої платформи для гуманітарного розмінування .....	38
2.2.1 Моделювання ходової частини роботизованої платформи .....	39
2.2.2 Моделювання камер роботизованої платформи .....	43
2.2.3 Моделювання допоміжних броньових пластин .....	49
2.2.4 Моделювання люків доступу до двигуна .....	51
2.2.5 Моделювання допоміжних частин платформи .....	52
2.3 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу культиватор .....	54
2.4 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу ролик .....	57
2.5 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу ківш .....	59
2.6 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу маніпулятивний хват .....	61
2.7 Висновки до другого розділу .....	65
3 Реалізація процесів моделювання гуманітарного розмінування територій за допомогою роботизованої платформи .....	67
3.1 Модулювання територій гуманітарного розмінування .....	67
3.2 Розрахунки для моделювання роботи роботизованої платформи .....	69
3.2.1 Розрахунки ваги та розмірів роботизованої платформи .....	69
3.2.2 Розрахунки кінематичних параметрів гусеничного рушія .....	72
3.2.3 Розрахунки нерівномірних обертів гусеничного рушія .....	75
3.2.4 Розрахунки теоретичного руху гусеничного рушія .....	77
3.2.5 Розрахунки балансу при нахилі з ґрунтом гусеничного рушія .....	79
3.2.6 Розрахунки поворотів гусеничного рушія .....	82
3.2.7 Розрахунки характеристик роботизованої платформи.....	86
3.3 Розробка схем та алгоритмів для гуманітарному розмінуванні .....	88
3.3.1 Розробка структурних схем платформи при розмінуванні .....	88

3.3.2 Розробка алгоритму для гуманітарного розмінування для визначеної території.....	90
3.3.3 Розробка шляхів розмінування .....	92
3.4 Висновки до третього розділу .....	94
4 Охорона праці .....	96
4.1 Охорона праці при проведенні гуманітарного розмінування роботизованою платформою .....	96
4.2 Висновки до четвертого розділу .....	98
Висновки .....	99
Перелік джерел посилання .....	100
Додаток А Апробація наукових результатів дослідження .....	106
Додаток Б Лістинг програми .....	111
Додаток В Демонстраційний матеріал .....	126
Додаток Г Відомість кваліфікаційної роботи .....	133

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ВНП – вибухонебезпечний предмет;

ВП – вибуховий пристрій;

ВР – вибухонебезпечна речовина;

ДСНС – державна служба України з надзвичайних ситуацій;

ГР – гуманітарне розмінування;

ІЧ – інфрачервоне випромінювання;

ІБП – інженерний боєприпаси;

НВЧ – надвисокочастотне випромінювання;

ПК – персональний комп'ютер;

РКВП – роботизований комплекс військового призначення;

РП – роботизована платформа;

РПДР – роботизована платформа для розмінування;

УФ – ультрафіолетове випромінювання;

ЯКР – ядерний квадрупольний резонанс.

## ВСТУП

На жаль, у сучасному світі заміновані території стали певною нормою. Вони несуть величезну загрозу для безпеки людей та навколишнього середовища. У зв'язку зі зростанням кількості замінованих територій, стає важливим розробити ефективні та безпечні методи їх розмінування.

Актуальність цієї теми посилюється через зростаючу кількість військових конфліктів, які призводять до зруйнування територій та погіршення умов життя людей. Створення системи гуманітарного розмінування стало необхідним для зниження ризиків та відновлення постраждалих територій від наслідків військових дій. Розробка 3D-моделі роботизованої платформи є першим кроком у створенні безпечних та ефективних систем без втрат людських життів. Важливо продовжувати розвивати та вдосконалювати подібні системи, оскільки це сприяє забезпеченню безпеки та відновленню уражених територій, працюючи над важливими завданнями гуманітарного характеру.

Мета роботи – покращення методів гуманітарного розмінування вибухонебезпечних предметів за допомогою спеціально розробленої 3D моделі роботизованої платформи.

Об'єкт дослідження – процес моделювання роботизованих платформ, які застосовуються при гуманітарному розмінуванні вибухонебезпечних предметів.

Предмет дослідження – конструкція роботизованих платформ та їх маніпуляторів для процесу розмінування вибухонебезпечних предметів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану територій для роботизованих платформ при гуманітарного розмінування;
- провести порівняльний аналіз характеристик вибухонебезпечних предметів та методів їх виявлення;

- розробити конструкцію 3D модель роботизованої платформи;
- розробити допоміжні установки для полегшення гуманітарного розмінування;
- створити території для тестування 3D моделі роботизованої платформи та допоміжних установок;
- створити структурні схеми роботизованої системи для гуманітарного розмінування та управління роботизованою платформою;
- розробити алгоритм, який буде описувати робочий процес під час гуманітарного розмінування;
- розробити можливі маршрути руху з метою створення безпечних зон та оптимізації руху платформи в умовах гуманітарного розмінування.

Пояснювальна записка була оформлена згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], [2] за допомогою методичних вказівок [3 - 6], та підтримує політику академічної доброчесності університету [7].

За даною темою магістерської роботи у 2023р. у збірнику "Автоматизація та приладобудування" [8] було опубліковано наукову статтю.

# **1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ТА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ**

## **1.1 Загальний аналіз територій для гуманітарного розмінування**

Гуманітарне розмінування – це процес виявлення, розміщення та видалення вибухонебезпечних об'єктів, таких як міни та снаряди, з метою забезпечення безпеки людей та відновлення нормального функціонування територій, які були заміновані або засмічені під час конфліктів, катастроф чи природних лих.

Розмінування має гуманітарну спрямованість та передбачає сприяння безпеці та відновленню рівня життя цивільного населення. Воно повинна здійснюватися в контексті гуманітарних дій, міжнародних операцій допомоги, а також для забезпечення доступу до основних інфраструктурних об'єктів, таких як школи, лікарні, дороги та водопостачання. Така важка робота виконується кваліфікованими фахівцями (операторами) та роботами з використанням спеціалізованого обладнання та технологій з метою забезпечення безпеки та захисту людей в уражених областях.

Гуманітарне розмінування спрямоване на зменшення потенційно небезпечного впливу вибухових матеріалів на життя людей. Це включає в себе широкий спектр заходів, які проводяться органами безпеки з метою усунення небезпеки, пов'язаної із ВВП. Серед цих заходів входять оцінка та нетехнічне обстеження територій, виявлення і ідентифікація ВВП, їх маркування, пошук та знешкодження, а також оцінювання якості розмінування. Забезпечити життєва важливі об'єкти, території та ландшафти безпекою і нейтралізувати небезпеку, яку створюють ці матеріали після завершення конфліктів або кризових ситуацій. Усі ці етапи процесу гуманітарного розмінування наглядно представлені на рис. 1.1.

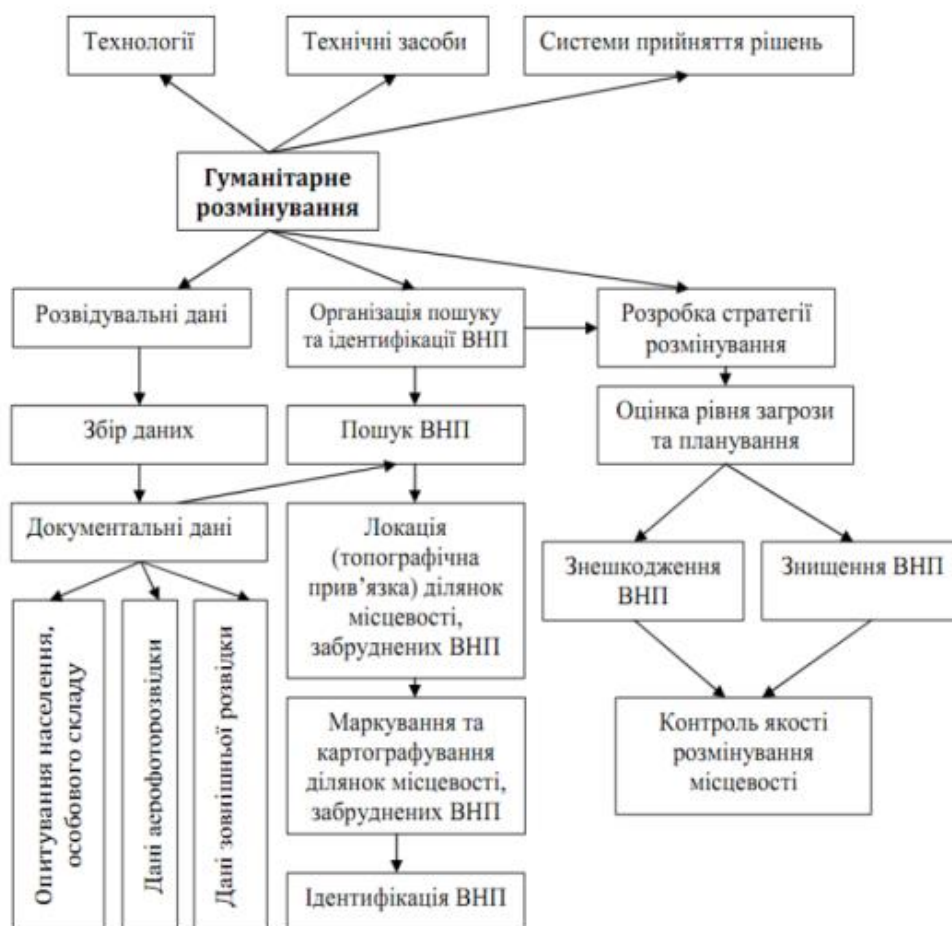


Рисунок 1.1 – Система гуманітарного розмінування [9]

Основними завданнями у гуманітарному розмінуванні є виявлення та ідентифікація вибухових матеріалів та вибухонебезпечних предметів. Виявлення мін та ВВП означає їх розпізнавання за такими характеристиками:

- наявність ВВП;
- наявність маси металу у виробі;
- особливості геометричної форми мін та ВВП;
- ознаки нерівномірності в оточуючому середовищі, де розміщені вибухові предмети.

Починаючи з 2014 року, збільшення кількості вибухонебезпечних об'єктів, вилучених на території України, відбувається надзвичайно швидко. Це привело до необхідності збільшення чисельності професійних саперів або впровадження роботизованих рішень. Дані з рис. 1.2 вказують на зростання

кількості вибухонебезпечних об'єктів, які були вилучені та розміновані за рік 2021.

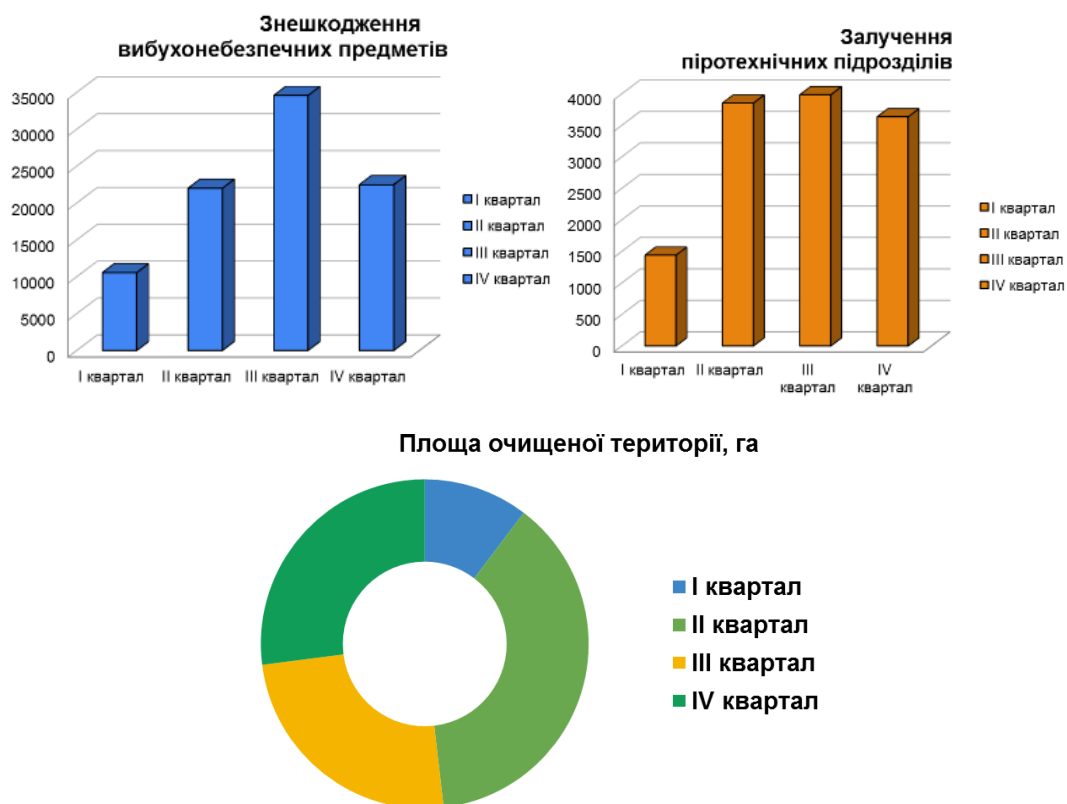


Рисунок 1.2 – Аналіз виконання робіт щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів у 2021 р. [10]

ВНП та не спрацьовані ВНП представляють значну загрозу для цивільного населення і створюють перешкоди для повернення людей до нормального життя та відновлення міст і інфраструктури. Такі ситуація також впливає на роботу сільського господарства [11]. За оцінками Державної служби з надзвичайних ситуацій України, процес розмінування суходолу в країні може зайняти більше 15 років, і очищення акваторії Чорного моря від морських мін може зайняти до 10 років. Для отримання більш детальних статистичних даних по регіонах, які найбільше постраждали від неспрацьованих боєприпасів після початку повномасштабної війни, можна звернутися до рис. 1.3 та табл. 1.1.

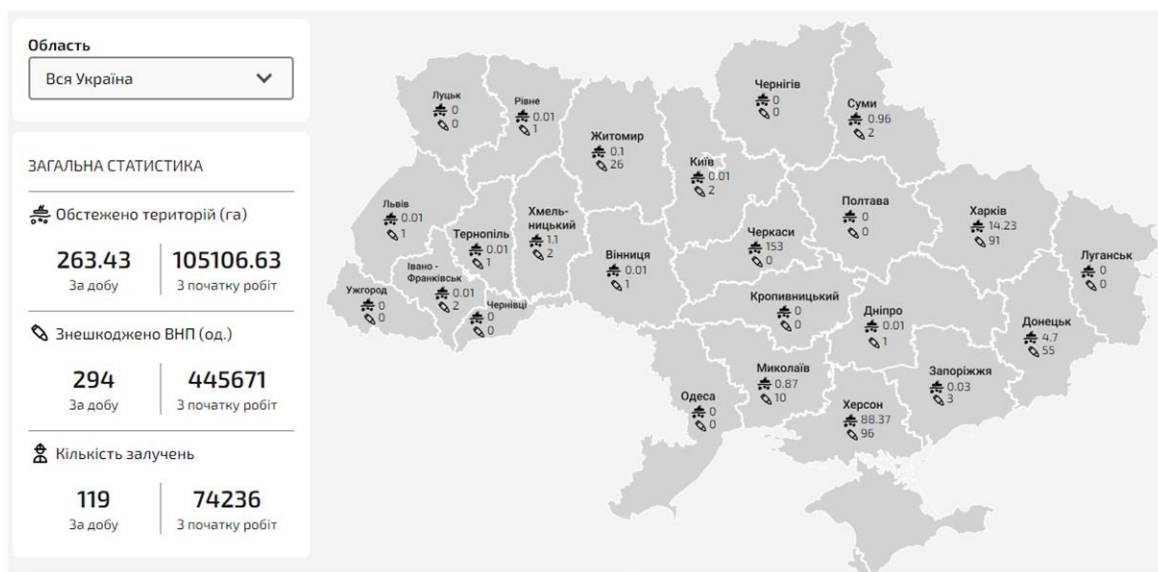


Рисунок 1.3 – Карта розмінування території України за 2023р. [12]

Таблиця 1.1 – Результат розмінування ДСНС території України за 2023р.

Результати робіт у областей України	Обстежено територій		Знешкоджено ВВП		Кількість залучень	
	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт	За добу	З початку робіт
Харківська	14,23	3858,38	91	80846	41	24140
Дніпропетровська	0,01	1243,88	1	7212	1	1067
Київська	0,01	29406,86	2	80000	1	9093
Сумська	0,96	3515,68	2	8721	3	2619
Херсонська	88,37	7376,12	96	36490	29	8507
Запорізька	0,03	293,11	3	3740	3	1403
Одеська	0	84,05	0	5919	0	594
Хмельницька	1,1	664,84	2	36937	1	634
Черкаська	153	8011,02	0	40881	1	1350
Чернігівська	0	74,12	0	67	0	248

## 1.2 Загальний аналіз характеристик вибухонебезпечних предметів

Вибухонебезпечні предмети – це об'єкти, які містять вибухові матеріали або вибухонебезпечні пристрої і представляють собою потенційну небезпеку для людей та навколишнього середовища. Це може включати вибухові пристрої, міни, нерозірвані боєприпаси, бомби, гранати та інші об'єкти, що містять вибухові речовини. Вони залишаються на території після воєнних конфліктів або в зоні конфліктів і можуть становити серйозну загрозу для цивільного населення та рятувальників.

Вибухові речовини – хімічні з'єднання або суміші, здатні під впливом певних зовнішніх дій до швидкого хімічного перетворення, що самі розповсюджуються з виділенням великої кількості енергії та утворенням газів.

Боєприпаси – вироби військової техніки одноразового вживання, призначені для враження живої сили супротивника, в них входять [13]:

- інженерні боєприпаси (протипіхотні та протитанкові міни);
- авіаційні бомби;
- артилерійські снаряди;
- ручні гранати;
- стрілецькі боєприпаси (набої до пістолетів, карабінів, автоматів тощо).

Внаслідок конфлікту в Україні було зафіксовано численні випадки мінування територій. Навіть у випадках, коли на певній території не велися активні бойові дії, існує ризик того, що її можуть спеціально замінити мінами з метою зупинити противника або створити пастку для нього. Тому вельми важливо дотримуватися максимальної обережності та бути уважними при переміщенні чи взаємодії з невідомими територіями.

### 1.2.1 Загальний аналіз інженерних боєприпасів

Протипіхотні міни – це міни, які застосовуються проти людей. Вибухають від присутності чи контакту з людиною.

Залежно від типу міни, вбивають або калічать одну чи більше осіб. Основні характеристики протипіхотних мін складається:

- невеликий розмір;
- спеціальний колір (зелений та коричневий залежить від місцевості);
- спеціальна форма (невелика для кращого маскування);
- без терміну придатності.

Протипіхотні міни поділяються на дві групи вражаючої дії:

- фугасні – це міни основним вражаючим ефектом являється вибухова хвиля, яка руйнує все на своєму шляху;
- осколкові – це міни основним вражаючим ефектом являються ураження елементами та уламками корпусу.

Також їх розрізняють за типом активації, які діляться на реагування завдяки фізичній взаємодії або дистанційне керування.

Найпоширеніші протипіхотні міни фугасного типу «ПМН-2», «ПФМ-1» (ПЕЛЮСТКА) представлені на рис. 1.4, та осколкового типу «ОЗМ-72» (міна-жаба), «МОН-90» на рис. 1.5.

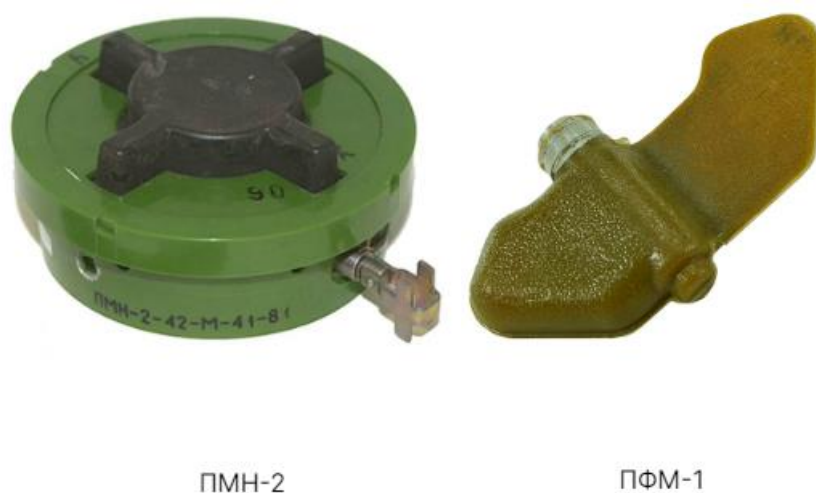


Рисунок 1.4 – Протипіхотні міни фугасного типу [14]



O3M-72



MOH-90

Рисунок 1.5 – Протипіхотні міни осколочного типу [14]

Протитанкова міна – це міна, яка призначена для знищення або виведення з ладу танків та інших броньованих машин.

Основні характеристики протипіхотних мін складається:

- більші за розміром, ніж протипіхотні міни;
- мають тарілкоподібну форму;
- спеціальний колір (зелений та коричневий залежить від місцевості);
- поріг спрацювання – від 150–200 кг.

Найпоширеніші протитанкові міни зображені на рис. 1.6.



TM-62M



TM-62П3

Рисунок 1.6 – Протитанкові міни [15]

### 1.2.2 Загальний аналіз авіаційних ракет

Авіаційна ракета – це вибуховий об’єкт, який призначений для використання авіацією. Боєприпас скидається з повітряного судна з метою атаки на наземні чи морські цілі. Вони можуть мати різну масу та типи вибухових наповнювачів, залежно від їхнього призначення та завдань, які передбачаються для авіаційного наступу.

Основні характеристики авіаційних ракет:

- великий калібр;
- коефіцієнт наповнення діючим матеріалом( звичайним, ядерним, хімічним і.т.д);
- характеристичний час роботи;
- високий показник ефективності;
- великий діапазон бойового застосування.

Авіаційні ракети поділяють на основні та допоміжні. Основний використовується безпосередньо для знищення цілей. Допоміжні для вирішення бойових цілей і навчання військ.

Авіаційні ракети за характером вражаючої дії поділяються:

- фугасні;
- осколкові;
- бронебійні – це снаряд, призначені для ураження броньованих кораблів і цілей з міцним бетонним і залізобетонним захистом;
- запалювальні – це снаряд, застосовують для створення пожеж і враження вогнем;
- хімічні – це снаряди, які споряджають бойовими отруйними речовинами.

Авіаційні ракети також розрізняють за масою, вказаною в кілограмах або фунтах для неядерних бомб та потужністю у кілотоннах або мегатоннах тротилового еквіваленту для ядерних бомб. Авіабомби бувають керовані за допомогою коригування оператора, або некеровані вільно падаючі.

Детальніше авіабомби зображене на рис. 1.7.

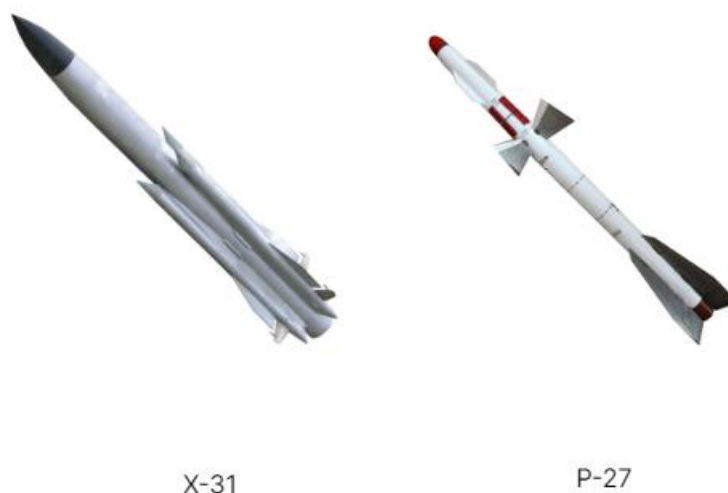


Рисунок 1.7 – Авіаційні ракети [16]

### 1.2.3 Загальний аналіз артилерійських снарядів

Артилерійські снаряди – це вибухові боєприпаси, які призначені для використання артилерією, такою як гармати, гаубиці або міномети (рис 1.8). Ці снаряди використовуються для атаки на наземні цілі і можуть мати різні типи вибухових чи інших наповнювачів, залежно від їхнього призначення та завдань, які передбачаються для артилерійських вогневих установок.

Основні характеристики артилерійських снарядів:

- калібр артилерійських снарядів буває: 23 мм, 30 мм, 45 мм, 76 мм, 85 мм, 100 мм, 105 мм, 115 мм, 122 мм, 125 мм та 152 мм;
- забезпечуються вибуховими пристроями або системами дистанційного управління;
- наявністю стабілізуючих засобів у вигляді поясу на корпусі снаряду або знімного оперення.

Дії, які суворо заборонені з артилерійських снарядів без спеціаліста, включають:

- будь-які механічні, термічні або інші втручання у корпус снаряду;
- пересування снарядів з їхнього початкового місця розташування;

- виконання будь-яких робіт у безпосередній близькості до снарядів;
- намагання відкручувати будь-які компоненти снаряду;
- самостійну нейтралізацію снарядів.



Рисунок 1.8 – Артилерійські снаряди [17]

#### 1.2.4 Загальний аналіз ручних гранат

Ручна граната – це ручний вибуховий пристрій, який має застосування в ручному киданні. Вона зазвичай складається з корпусу, запалювана та вибухового заряду (рис. 1.9). Ручні гранати використовуються військовими, правоохоронцями та іншими силами для підсилення або збільшення сили удару в бойових ситуаціях або при виконанні різних завдань, включаючи гранатометні атаки, захист від ворожих сил або вибухове знешкодження об'єктів. Ручні гранати можуть мати різні типи запалювачів та вибухових зарядів, що визначає їх функціональні можливості та ефективність.

Основні характеристики ручних гранат:

- мають невеликі розміри;
- обладнанні запалом для дистанційного або ударно-дистанційного вибуху.



Рисунок 1.9 – Ручна граната [18]

#### 1.2.5 Загальний аналіз стрілецьких боєприпасів

Патрон – це спеціальний боєприпас, який складається з кулі (або іншого виду снаряду), пороху та запалювача, зазвичай у герметичній обгородці (рис. 1.10). Він призначений для вогнепальної зброї, такої як рушниця або пістолет, і використовується для вистрілу. Патрони надійно закривають та зберігають компоненти, необхідні для пострілу, і сприяють безпечному та ефективному використанню вогнепальної зброї.



Рисунок 1.10 – Стрілецькі боєприпаси

### 1.3 Загальний аналіз роботизованих платформ для розмінування

Ручне розмінування може бути надзвичайно небезпечним для людей, які здійснюють цю роботу, оскільки вони стикаються з невизначеністю та ризиком вибуху. Це може призвести до серйозних травм або навіть загибелі.

Сучасні методи розмінування використовують різноманітні технології дистанційно керованих систем і автономних роботів, які дозволяє зменшити ризик для людей. Роботи можуть досліджувати небезпечні зони та видаляти вибухонебезпечні предмети без прямого контакту з ними. Проте ці технології також мають свої власні обмеження, такі як складність роботи в ускладнених умовах та необхідність високоточної координації.

Класифікація видів робототехнічних платформ для пошуку вибухонебезпечних предметів можна виділити на три окремі категорії:

– платформа сухопутного пошуку – у цю групу входять військові машини (роботи-маніпулятори на гусеничному ході, система віддаленої нейтралізації вибухонебезпечних предметів на колісному ході) що пересуваються по землі та працюють без участі людини – сапера (рис. 1.11);



Рисунок 1.11 – Сухопутний робот для розмінування [19]

– платформа небесного пошуку – група складається безпілотно літальних апаратів (БПЛА) для виконання надземних задач: для спостереження та збору даних, огляд території перед операцією, надземний пошук вибухонебезпечних предметів (рис. 1.12);



Рисунок 1.12. – Безпілотник для розвідки території [20]

– платформа морського пошуку – група містить надводні та підводні роботизовані платформи, які використовуються для спостереження, розвідки, та пошуку вибухонебезпечних предметів у морі (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Морський робот для розмінування [21]

#### 1.4 Аналіз процесів пошуку гуманітарного розмінування з застосуванням сучасних методів

Збройні конфлікти та війни залишають після себе небезпечні сліди у вигляді мін, бомб та інших ВНП, які стають справжньою загрозою для населення, що повертається на конфліктні території. Відсутність доступу до безпечних зон і можливість ведення робіт на забруднених вибухонебезпечними об'єктами та територіями ускладнюють процес гуманітарного розмінування. Проте завдяки сучасним технологіям, інженерним розробкам та інноваційним підходам, гуманітарне розмінування стає більш ефективним та безпечним.

В даному аналізі ми розглянемо процеси пошуку гуманітарного розмінування та застосування сучасних методів для подолання цієї складної глобальної проблеми. Проведемо огляд новітніх технологій та інженерних рішень, які дозволяють зменшити ризики для гуманітарних робітників і забезпечують безпеку для повертаючихся громадян.

Роботизована платформа гуманітарного розмінування повинна виконувати задачі:

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

Основними завданнями, пов'язаними з проблемою гуманітарного розмінування, є виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів (ВНП). Це означає проведення пошуку та ідентифікації мін та ВНП на підставі їх характерних ознак та знаків їх маскування [22]:

- наявність вибухової речовини;
- наявність локально розташованої маси металу;
- характерна геометрична форма мін та ВНП;

– неоднорідність середовища, де розміщений ВНП (порушення поверхні ґрунту, дорожнього покриття, стіни будівлі, порушення кольору рослинності або снігового покриву тощо).

Основні системи виявлення та ідентифікації мін та ВНП наведена на рис. 1.14. Систему можна розділити на 2 типи [23]:

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

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

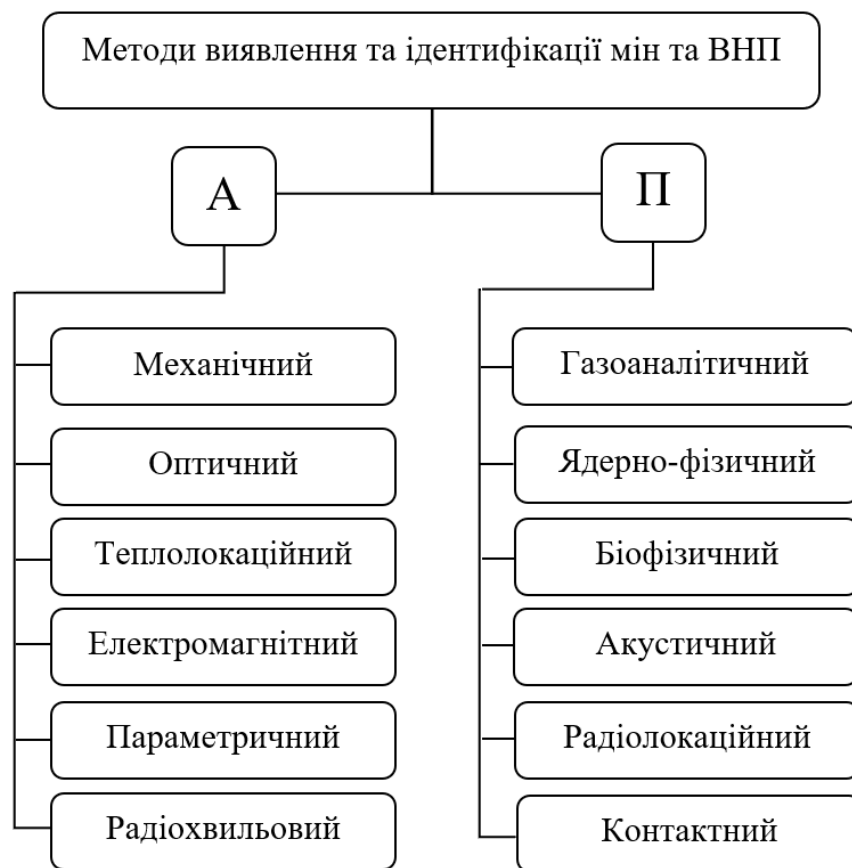


Рисунок 1.14 – Методи виявлення мін та ВНП

Розглянемо декілька найпопулярніших методів виявлення ВНП та складемо таблицю ефективності їх роботи.

### 1.4.1 Механічний метод виявлення ВНП

Механічний метод розмінування використовує механічні засоби, такі як спеціальні робочі обладнання та інструменти, для пошуку, виявлення та нейтралізації вибухонебезпечних об'єктів, таких як міни, боєприпаси та інші вибухові пристрої. Цей метод включає в себе використання механічної сили та інженерного обладнання для знешкодження та безпечного видалення ВНП, зазвичай з дотриманням великої обережності та відстані від небезпечних об'єктів. Механічний метод розмінування може бути дуже ефективним, але вимагає високої кваліфікації спеціалістів та відповідного обладнання для проведення операцій безпеки.

Один з таких механічних засобів є магніто-механічне обладнання (рис. 1.15). Пристрій дозволяє швидко та ефективно обстежити місце вибуху і зібрати уламки, осколки та інші металеві елементи вибухового пристрою чи боєприпасу, розкидані на великій площині. Зазвичай такі пристрої керуються вручну, має форму мобільної платформи, яку можна пересувати вручну. На кінці платформи знаходяться магніти, що обертаються. Магніти мають захисні металеві оболонки, які можна легко відкрити, щоб швидко зібрати знайдені уламки. Ці оболонки виконують також функцію захисту від механічних пошкоджень, які можуть виникнути під час процесу збирання.



Рисунок 1.15 – Магнітний пошуковий пристрій [23]

#### 1.4.2 Оптичний метод виявлення ВНП

Оптичний метод виявлення ВНП базується на використанні оптичних технологій та пристроїв для їх виявлення та ідентифікації. Цей метод використовує світлові принципи для аналізу об'єктів і виявлення специфічних ознак, що можуть свідчити про наявність ВНП (рис. 1.16). Оптичний метод може включати в себе застосування камер, спектрометрів, лазерних пристроїв та інших оптичних засобів для збору та обробки інформації. Цей підхід дозволяє швидко сканувати та аналізувати території на наявність ВНП, що допомагає підвищити безпеку та ефективність гуманітарних розмінувань.

Оптичні пристрої такі як ендоскопічні шукачі ВНП мають широкий асортимент гнучких волоконно-оптичних фіброскопів та відеоскопів, систем передачі зображень, жорстких бороскопів, портативних відеосистем і відеоаналізаторів, що дозволяє проводити візуальний огляд недоступних місць і одержувати високоякісні зображення. Основним і найважливішим для цих пристроїв є мініатюрний об'єктив на кінці тонкого гнучкого рукава або жорсткої трубки. Зображення передається через волоконно-оптичний кабель або за допомогою багатокомпонентних лінз. В окулярній частині може бути встановлена мініатюрна камера з ПЗЗ-матрицею, і сигнал з неї передається через кабель до блока обробки сигналу і, в кінцевому підсумку, на телевізійний монітор. Гнучкі фіброскопи (ендоскопи) з легкістю пройдуть через важкодоступні канали, і, що дуже важливо, при цьому не виникають іскри, навіть при терті з різними предметами, що може спричинити спрацювання вибухових пристроїв. Такі гнучкі ендоскопи призначені для огляду внутрішніх чи важкодоступних місць складної форми, об'єктів різного призначення, також і для розмінування. Ендоскопи можуть комплектуватися блоками підсвічування з живленням від електромережі або акумуляторів. Тривалість роботи з акумуляторним блоком підсвічування – не менше як дві години.



Рисунок 1.16 – Оптичний пошуковий пристрій [23]

#### 1.4.3 Теплолокаційний метод виявлення ВВП

Метод теплолокації для виявлення вибухонебезпечних предметів базується на вимірюванні теплового випромінювання, яке виділяється об'єктом або предметом через інфрачервону технологію (ІЧ) (рис. 1.17). Цей підхід дозволяє виявляти предмети, що мають відмінності в температурі від оточуючого середовища. На основі аналізу теплового випромінювання можна ідентифікувати вибухонебезпечні об'єкти та призначити їм рівень загрози. Теплолокаційний метод може бути використаний для безпеки і розмінування на різних територіях, де існує загроза наявності вибухових предметів.



Рисунок 1.17 – Теплолокаційний пошуковий пристрій [23]

#### 1.4.4 Газоаналізаторний метод виявлення ВВП

Метод газоаналізу використовується для ВВП шляхом аналізу хімічного складу газів, які виділяються з об'єкта. Коли вибуховий об'єкт розпадається або активується, він може виділяти характерні гази або пари, які є своєрідними "слідами" вибухового процесу (рис. 1.18).

Метод газоаналізу використовує газоаналізатори або детектори газів, які можуть виявити наявність цих характерних речовин у навколишньому повітрі. Цей метод є надзвичайно чутливим і дозволяє виявити навіть дуже малі концентрації газів, що свідчать про наявність вибухового об'єкта.

Газоаналізатори можуть використовувати різноманітні сенсори та технології для аналізу газів, такі як мас-спектрометрія, хроматографія та інші. Цей метод широко використовується в сферах безпеки, розмінування та вибухобезпеки для виявлення і ідентифікації потенційно небезпечних предметів на різних територіях [23].



Рисунок 1.18 – Газоаналізаторний пошуковий пристрій [23]

#### 1.4.5 Рентгенівський метод виявлення ВВП

Рентгенівський метод виявлення ВВП ґрунтується на використанні рентгенівського випромінювання для проникнення в об'єкт та отримання деталізованого зображення його внутрішньої структури (рис. 1.19). Цей метод може бути використаний для виявлення внутрішніх компонентів ВВП, таких як заряди або інші елементи, що містять металеві складові.

Принцип роботи полягає в наступному: рентгенівське випромінювання проходить через об'єкт (підозрілий предмет), а потім реєструється на детекторі. Рентгенівські промені проходять крізь матеріал об'єкта і поглинаються різними шариками, включаючи металеві компоненти. Інтенсивність і образи, отримані на детекторі, обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням для візуалізації та аналізу.

Цей метод надзвичайно корисний для виявлення невидимих загроз, оскільки він дозволяє перевіряти внутрішні структури без руйнування об'єкта. Рентгенівський метод використовується в аеропортах для контролю багажу, на в'їздах до об'єктів для перевірки автомобілів та на інших об'єктах безпеки для виявлення ВНП.



Рисунок 1.19 – Рентгенівський пошуковий пристрій [23]

#### 1.4.6 Ядерно-фізичні метод виявлення ВНП

Ядерно-фізичний метод виявлення ВНП базується на використанні ядерних реакцій (ЯКР) та вимірюванні параметрів взаємодії атомів з об'єктом для виявлення підозрілих об'єктів або матеріалів (рис. 1.20). Цей метод може використовувати ядерні реакції, які відбуваються між ядерними частинками та матеріалами об'єкта для виявлення аномалій у структурі або складі матеріалу. Як приклади можна навести методи, які використовують рентгенівське

випромінювання, ядерний магнітний резонанс, ядерну резонансну спектроскопію та інші.

Для виявлення ВНП за допомогою ядерно-фізичних методів можуть використовуватися різні прилади та детектори, які здатні реєструвати та аналізувати взаємодію атомів з об'єктом. Ці методи можуть виявляти як металеві, так і неметалеві ВНП, і вони широко застосовуються на пунктах контролю безпеки, в аеропортах, на кордонах та в інших місцях для забезпечення безпеки та виявлення потенційних загроз [23].

### 1.5 Порівняльний аналіз методів виявлення ВНП за допомогою роботизованих платформ

Висновки аналізу методів розмінування ВНП представлені в табл. 1.2 та табл. 1.3, що містить плюси та мінуси різних методів розмінування.

Таблиця 1.2 – Аналіз властивості методів виявлення ВНП

Метод виявлення ВНП	Тип роботи системи	Проникна здатність пошуку	Швидкість пошуку	Тип пошуку ВНП
Механічний метод виявлення	Активний	Поверхня ґрунту	150 м/год	Всі типи ВНП
Оптичний метод виявлення	Активний	Поверхня ґрунту	350 м/год	Всі типи ВНП
Теплолокаційний метод виявлення	Активний	Поверхня ґрунту	100 м/год	Всі типи ВНП
Газоаналізаторний метод виявлення	Пасивний	Поверхня ґрунту	200 м/год	Всі типи ВНП

## Продовження таблиці 1.2

Метод виявлення ВВП	Тип роботи системи	Проникна здатність пошуку	Швидкість пошуку	Тип пошуку ВВП
Рентгенівський метод виявлення	Пасивний	–	300 м/год	Всі типи ВВП
Ядерно-фізичні метод виявлення	Пасивний	Поверхня ґрунту	250 м/год	Всі типи ВВП

Таблиця 1.3 – Плюси та мінуси методів виявлення ВВП

Метод виявлення ВВП	Плюси	Мінуси
Механічний метод виявлення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– віддалене розмінування;</li> <li>– зменшення ризику для саперів;</li> <li>– підходить для широко-го спектру територій.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ризик пошкодження корисних об'єктів;</li> <li>– тривалий процес розмінування.</li> </ul>
Оптичний метод виявлення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– можливість віддалено-го огляду;</li> <li>– висока якість відображення;</li> <li>– виявлення сін з високою точністю.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– сильно залежить від видимості;</li> <li>– обмежений в ночі або в темояві.</li> </ul>

## Продовження таблиці 1.3

Метод виявлення ВМП	Плюси	Мінуси
Теплолокаційний метод виявлення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– виявлення мін, навіть якщо вони замасковані;</li> <li>– робота при різних погодних умовах;</li> <li>– висока чутливість до змін температури.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– висока ціна обладнання;</li> <li>– вимагає певних кліматичних умов для ефективності.</li> </ul>
Газоаналізаторний метод виявлення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– виявлення хімічних викидів, характерних для вибухових речовин;</li> <li>– можливість виявлення ВМП, навіть якщо вони не видимі з поверхні землі.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вплив зовнішніх факторів, які змінюють газовий склад атмосфери;</li> <li>– чутливість до зовнішніх впливів, таких як вітер і температура.</li> </ul>
Рентгенівський метод виявлення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– висока роздільна здатність;</li> <li>– можливість відображення внутрішньої структури ВМП.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– радіаційна безпека;</li> <li>– обмеження в перевірці великих масштабів територій.</li> </ul>
Ядерно-фізичні метод виявлення	<ul style="list-style-type: none"> <li>– можливість виявлення різних матеріалів, включаючи матеріали ВМП.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вимагає спеціалізованого обладнання;</li> <li>– дуже висока ціна.</li> </ul>

Після проведення аналізу можна зробити висновки що не існує універсального високоефективного засобу для пошуку та ідентифікації ВР та ВМП. Досягнення задовільного рівня надійності виявлення цих об'єктів

можливе лише через комплексне використання різноманітних технічних засобів та з урахуванням безпеки операторів, особливо в умовах можливого застосування реальних вибухових пристроїв.

## 1.6 Висновки до першого розділу

У ході досліджень було проаналізовано сучасний стан предметної області платформ та вибухонебезпечних об'єктів гуманітарного розмінування. Були виконанні наступні завдання:

- проаналізовано загальний стан територій для гуманітарного розмінування;
- проаналізовано існуючих вибухонебезпечних предметів;
- проаналізовано сучасні методи для розмінування вибухонебезпечних предметів;
- проаналізовано роботизовані платформи, які використовуються для гуманітарного пошуку;
- розроблено таблиці властивостей методів пошуку вибухонебезпечних предметів та плюсів та мінусів методів розмінування.

У результаті виконання роботи було сформовано основну мету роботи створення 3D-моделі роботизованої платформи спеціального призначення для гуманітарного розмінування вибухонебезпечних предметів. Конструкція платформи буде наземного типу. Платформа складатиметься з гусеничних рушіїв, дозволить їй маневрувати, антену зв'язку та системи відеоспостереження для дистанційного курування. Крім цього, було прийнято рішення розробити додаткові змінні установки для платформи, які спростять процес гуманітарного розмінування.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ РОБОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

### 2.1 Вибір програмного інструментарію для моделювання конструкції роботизованої платформи

Моделювання конструкції роботизованої платформи для гуманітарного розмінування є ключовим етапом у розробці пристроїв, які здатні зменшити ризики для людей, що займаються розмінуванням, та забезпечити ефективну обробку територій, забруднених вибухонебезпечними предметами.

Враховуючи складність та небезпеку ситуацій у зоні розмінування, роботизованої платформи не лише повинні мати високу технічну функціональність, але й бути досить маневреними, міцними та надійними для виконання різноманітних завдань. Інноваційні технології у цій галузі мають спрямовуватися на забезпечення точності роботи, мобільності, стійкості та можливості виявлення вибухонебезпечних об'єктів у найрізноманітніших умовах.

Цей розділ описує розробку конструкції та рішення роботизованої системи для гуманітарного розмінування, яка оснащена допоміжними установками. Моделі розроблялись в програмі Fusion 360 [24]. Тестування проводилось середовище симуляцій CoppeliaSim [25].

Fusion 360 – унікальний інструмент для створення та моделювання, здатний зробити багато в галузі моделювання. Він має широкий функціонал для розробки інженерно точних моделей. Також його поєднання універсальності, простоти використання та можливостей для колективної роботи робить його ідеальним вибором для створення різноманітних систем гуманітарного розмінування.

Fusion дозволяє створювати моделі, конвертувати їх у різні формати файлів, що забезпечує інтеграцію з іншими програмами, які підтримують

моделі такого ж формату, та надає різноманітні можливості для прототипування та випробувань, наприклад, з CorptliaSim.

Програма для моделювання та тестування роботизованих систем – CorptliaSim. Ця програма має велику кількість інструментів для тестування роботизованих платформ. Одна з головних причин її використання в проекті – величезний набір вбудованих модулів для врахування властивостей фізики, кінематики та динаміки об'єктів. Це дозволило скоротити час для побудови такої програми з нуля та відвести більше часу на тестування об'єднання та взаємодії різних компонентів системи.

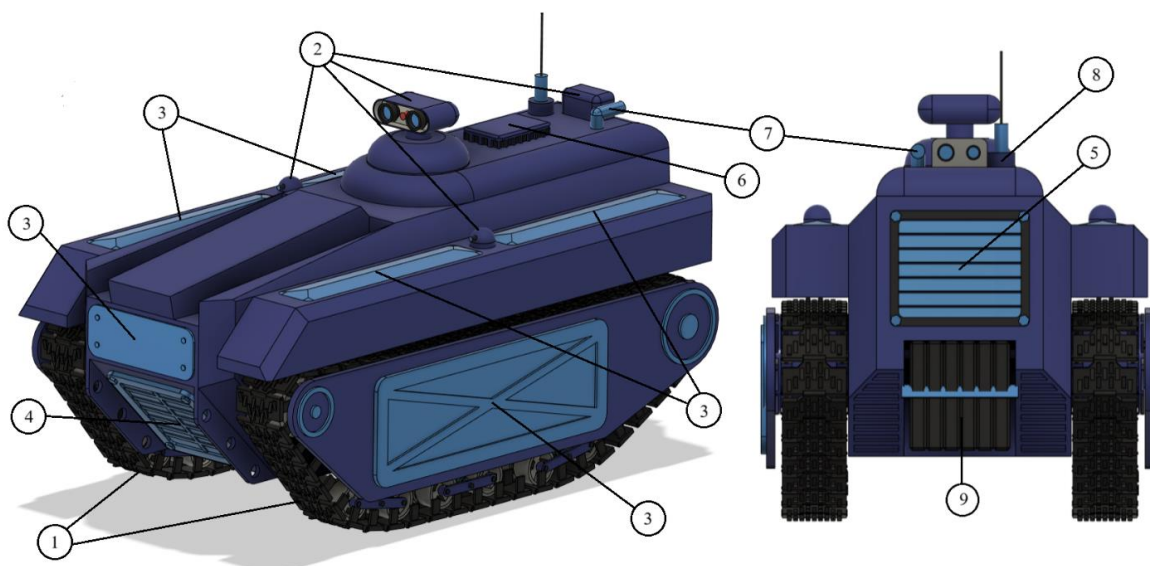
CorptliaSim надає можливість візуалізації та симуляції в реальному часі, що є важливою можливістю для перевірки працездатності та ефективності створених моделей. Це дозволяє виявити та усунути проблеми ще до фізичної реалізації роботизованої платформи.

## 2.2 Модулювання основної частини роботизованої платформи гуманітарного розмінування

Проектована роботизована платформа спеціального призначення повинна відрізнятися своїми універсальністю, габаритами та високою стійкістю до різноманітних навколишніх умов. Оснащена передовою системою управління, робот має можливість ефективно пристосовуватися до різних ландшафтів і здійснювати точні маневри під час робочих операцій.

Габарити конструкції були розраховані так щоб за потребою на території після швидкого гуманітарного розмінування зміг проїхати легковий автомобіль, або група людей у кількості 3 людей у ряд. Установлені габарити дозволяють роботу бути мобільним та маневровим що дозволяє йому працювати на територіях з підвищеною кількістю різноманітних об'єктів, такі узлісся, поля, міські вулиці і. т. д.

Основна конструкція роботизованої платформи представлена рис. 2.1.



1 – гусеничній рушій; 2 – камери спостереження; 3 – допоміжні броньовані пластини; 4 – люк доступу до мотора управління допоміжної установки; 5 – люк доступу до двигуна; 6 – решітка для виходу тепла; 7 – труба виходу шкідливих газів; 8 – антена зв'язку; 9 – обтяжувачі

Рисунок 2.1 – Тривимірна модель корпусу роботизованої платформи

Загальна габарити роботизованої платформи для гуманітарного розмінування представлені на рис. 2.2.

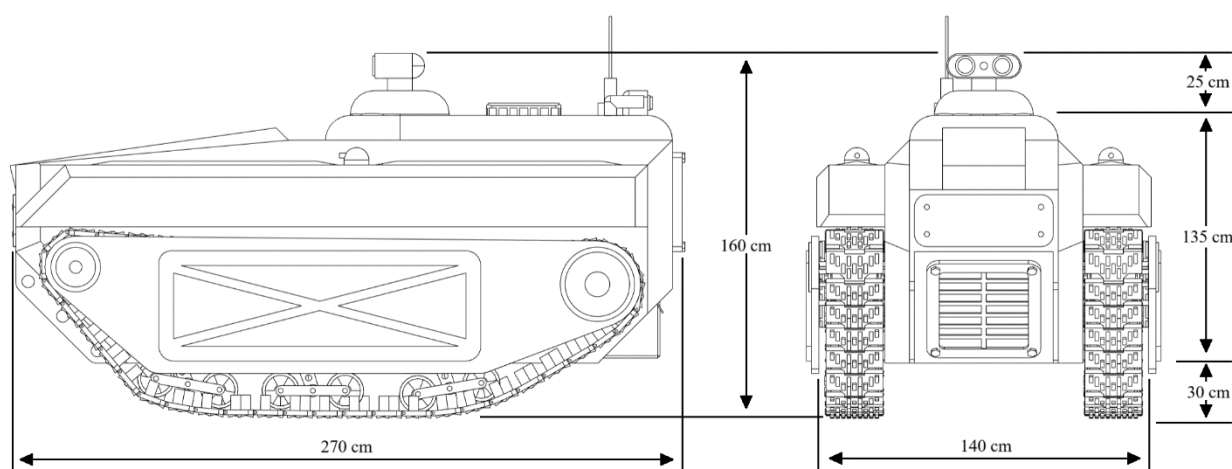
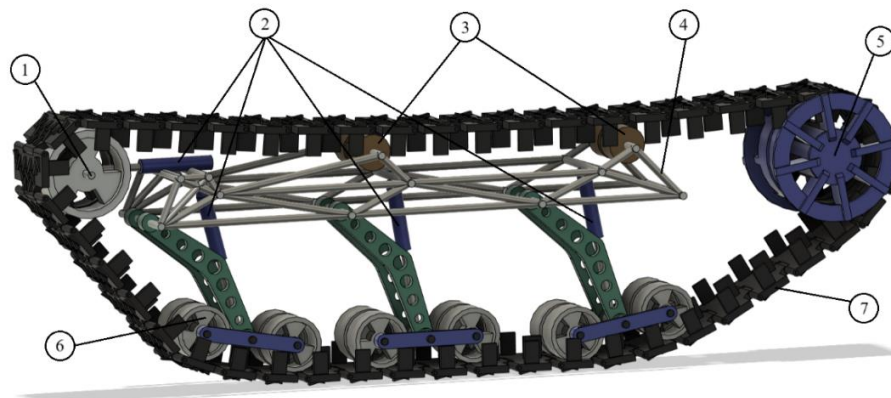


Рисунок 2.2 – Розміри моделі роботизованої платформи

### 2.2.1 Моделювання ходової частини роботизованої платформи

Гусеничний рушій 1 (рис. 2.1) призначений для пересування усїєї конструкції робота складається з двох ходових частин – правою та лївою гусеницею [26]. Ходова частина представлена на рис. 2.3.



1 – напрямне колесо; 2 – гїдравлїчний амортизатор; 3 – пїдтримуючий коток; 4 – об'єднувальний каскад; 5 – ведуче колесо; 6 – опорний коток; 7 – гусенична стрїчка

Рисунок 2.3 – Тривимїрна модель ходової частини

Розмїри основних деталей ходової частини представленї на рис. 2.4 з метою наочного вїдображення їхнїх конфїгурацїї та взаємного розмїщення для подальшого аналізу та оцїнки їх взаємодїї.

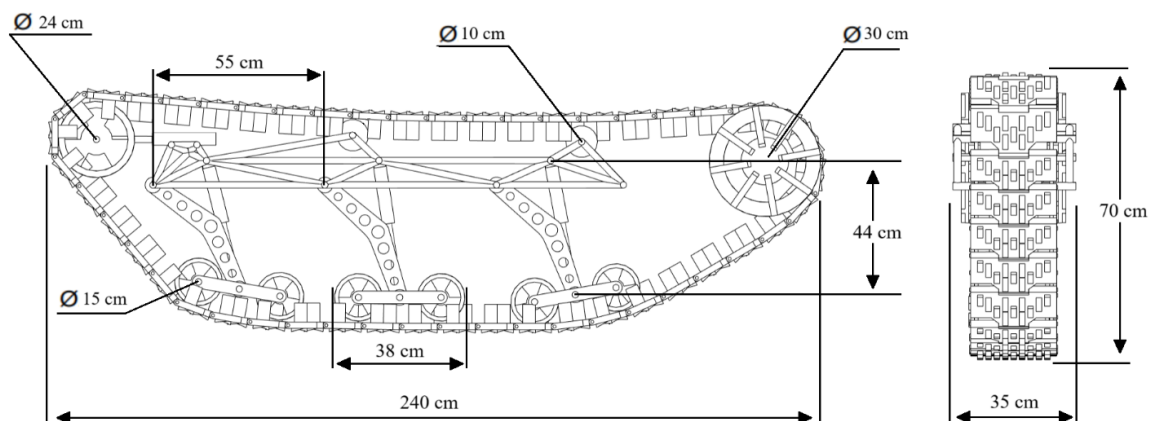


Рисунок 2.4 – Розмїри моделї ходової частини

Напрявне колесо 1 (рис. 2.3) ставиться на передній частини корпусу і відповідає за направлення гусениці. Також спільно з переднім гідравлічним амортизатором 2 (рис. 2.3) виступає у ролі – механізму для натягу гусеничної стрічки. Напрявне колесо 1 (рис. 2.3) складається з двох скріплених між собою циліндрами. Між циліндрами встановлено гідравлічний амортизатор 2 (рис. 2.3). У середині циліндрів розміщені підшипники, які кріпляться до стрижня, а стрижень статично до переднього гідравлічного амортизатора.

Гідравлічні амортизатори 2 (рис. 2.3) глушать коливання робота, які виникають при його роботі. Загалом робот має вісім амортизаторів, чотири на кожен з ходових частин: два горизонтальних амортизатори відповідають за натяг стрічки та шість вертикальних, які відповідають за плавність руху. Всі амортизатори кріпляться до каскаду 4 (рис. 2.3). Гідравлічний амортизатор складається циліндрами, які розміщені один в одному, та робочій рідині. Робоча рідина перетікає з однієї частини циліндра до іншої через спеціальні отвори. Завдяки цьому всередині з'являється опір, який зменшує коливання. Принцип їх роботи полягає в тому, що при роботі на нерівних територіях опорні катки 6 (рис. 2.3) змінюють своє положення, відповідно поршень всередині гідравлічного амортизатора, який прикріплений до опорного катка, теж змінює своє положення.

Підтримуючі катки 3 (рис. 2.3) потрібні для підтримки та напрямку верхній частині гусеничної стрічки при їх оберті. Складається із циліндра, який покритий шаром гумою, та підшипника в середині. Розташовані на верхній частині каскаду дві пари по два диска на одну ходову частину с виступом по середині для проходу гусеничної стрічки.

Об'єднувальний каскад 4 (рис. 2.3) – це металева конструкція, функція якої полягає в об'єднанні основного каркасу з гусеничним рушієм. Жорстко зафіксований каркас забезпечує стабільний та ефективний рух гусеничного рушія. Це допомагає уникнути розриву конструкції, забезпечує стійкість та маневреність усієї роботизованої платформи під час руху навіть в важких умовах експлуатації.

Ведуче колесо 5 (рис. 2.3), безпосередньо з'єднане з двигуном. Завдяки двигуну ведуче колесо отримує обертання. Гусенична стрічка, що знаходиться в зачепленні з ведучим колесом, набуває поступальний рух. В результаті поступального руху вся конструкція роботехнічної платформи може пересуватися. Конструкція ведучого колеса з двох циліндричних частин, які скріплені між собою. З боків конструкції кріпляться зубчасті вінці для зчеплення з гусеничною стрічкою. Ведуче колесо кріпиться до двигуна за допомогою хвостовика та пробки для фіксації ведучого колеса.

Опорні котки 6 (рис. 2.3) використовуються для розподілу усієї ваги роботехнічної платформи що підтримує поверхню гусениці. Одиначна конструкція опорної системи складається з чотирьох дисків по парно зафіксованих металевим кріпленням, гідравлічним амортизаторам та балансованим обмежувачем ходу. Гідравлічний амортизатор та балансований обмежувач ходу з одної сторони кріпляться до об'єднувального каркаса 4, а з іншого до металевого кріплення дисків. На диск вставляється гумове кільце, а в центрі підшипник. Такі опорні системи розвложені по обидві сторони роботехнічної платформи в кількості трьох штук на сторону ходової частини.

Гусенична стрічка 7 (рис. 2.3) складається з сорока п'яти траків з'єднанні між собою стрижнями та шарніром. Траки – це ланка гусеничної стрічки, має вигляд фігурної пластини котра може добре з'єднуватись з такою ж пластиною. З внутрішній стороні трак має три гребні, один по центрі та два по сторонах, для фіксації всієї стрічки в ходовій частині. Зовнішньої сторони виступають ґрунтозачіпки, завдяки їх формі вони збільшують зчеплення ходової частини та землею.

На поверхні трака розташовано одинадцять ґрунтозачіпок. Вони розташовані в шаховому порядку (рис. 2.5). Шість виступів нахилені в одну сторону (червоні), п'ять в іншу (сині). Такий вид моделюванні зовнішньої поверхні забезпечує максимальну можливу міцність та ефективність хвату. Точніше розміри деталі представлені на рис. 2.5.

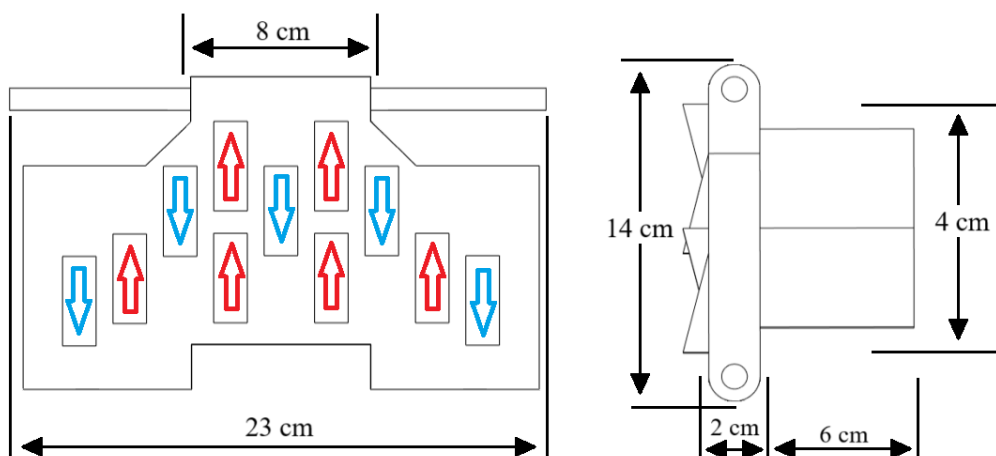
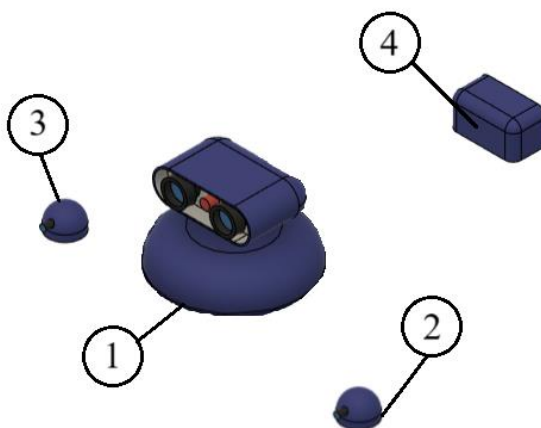


Рисунок 2.5 – Розміри моделі траку

### 2.2.2 Моделювання камер роботизованої платформи

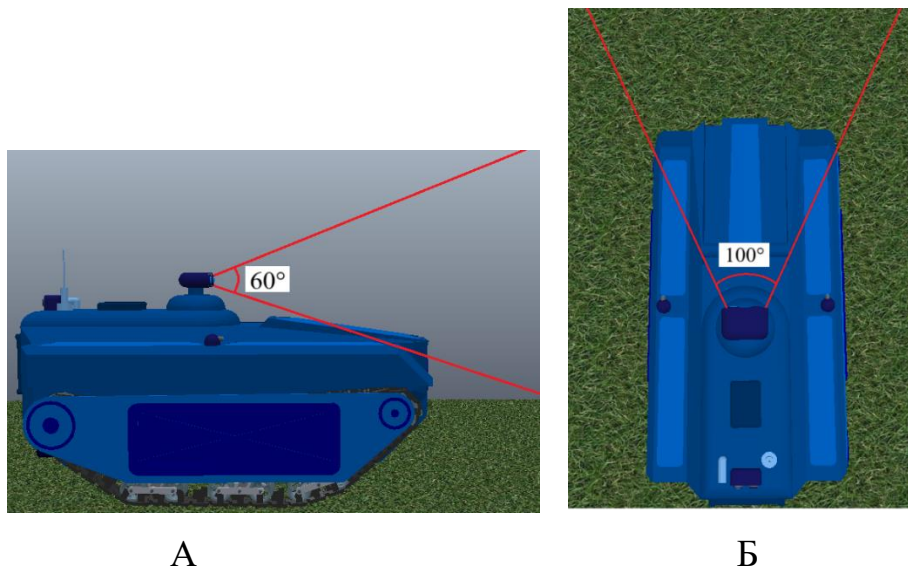
Камери спостереження 2 (рис. 2.1). Роботизована платформа має систему камер (рис. 2.6) для віддаленого контролю оператором. Система складається з чотирьох камер з різними кутами огляду. Завдяки кутам огляду камери можна охарактеризувати такими назвами: вільна камера 1, камера правого боку 2, камера лівого боку 3, камера заднього виду 4.



1 – камера вільного спостереження; 2 – камера спостереження правого боку; 3 – камера спостереження лівого боку; 4 – камера спостереження заднього виду

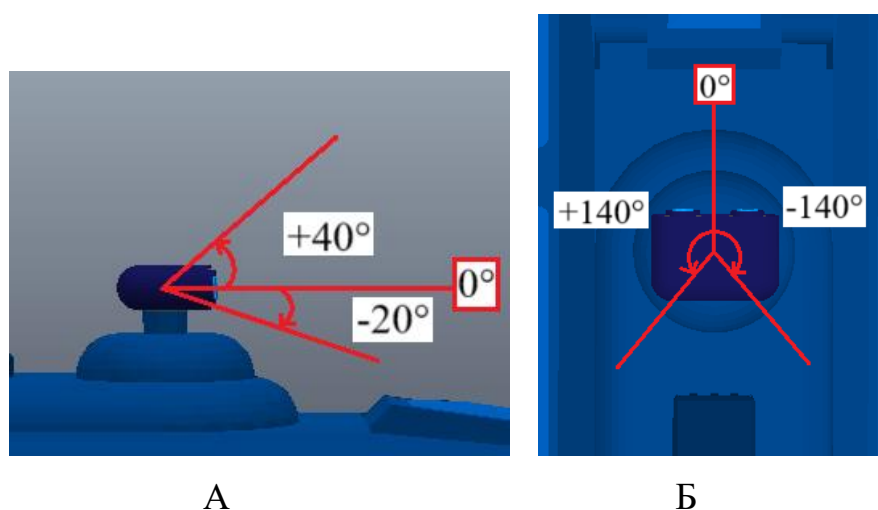
Рисунок 2.6 – Тривимірна модель камер

Камера вільного спостереження 1 (рис. 2.6) є самою інформативною. Зображення, яке відображає камера, має кут огляду  $60^\circ$  по вертикалі (рис. 2.7 А) та  $100^\circ$  по горизонталі (рис. 2.7 Б). Камера може рухатися навколо своєї осі. Кут руху маніпуляції камери складається  $280^\circ$  по горизонталі (от  $0^\circ$  до  $+140^\circ$ , от  $0^\circ$  до  $-140^\circ$ ) (рис. 2.8 А), та  $60^\circ$  по вертикалі (от  $0^\circ$  до  $+40^\circ$ , от  $0^\circ$  до  $-20^\circ$ ) (рис. 2.8 Б). Завдяки пульта контролю оператор керує камерою і більш точно розуміє ситуацію на території для розмінування.



А – вертикальний кут огляду; Б – горизонтальний кут огляду

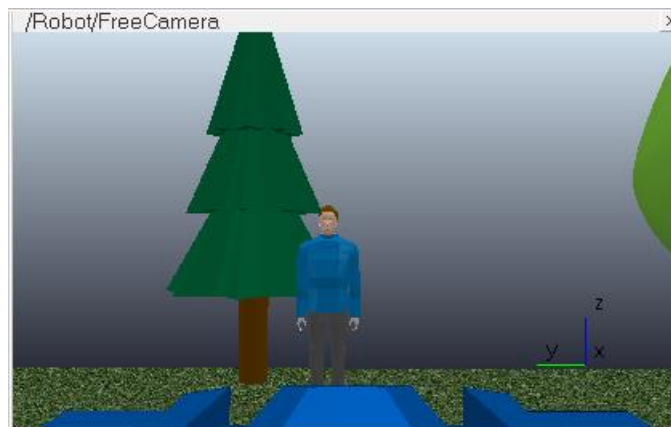
Рисунок 2.7 – Кути огляду камери вільного спостереження



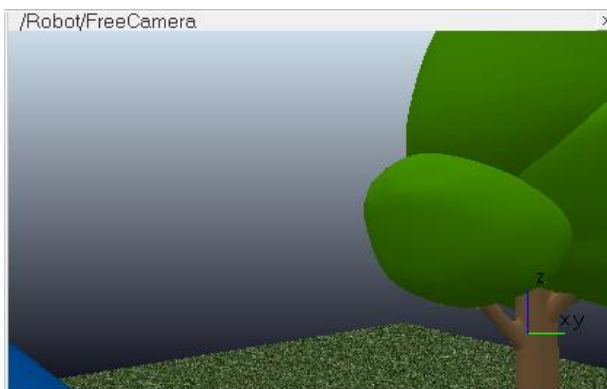
А – вертикальний кут руху; Б – горизонтальний кут руху

Рисунок 2.8 – Кути руху камери вільного спостереження

На рис. 2.9 представлені зображення роботи вільної камери в горизонтальному режимі. Де зображення А виступає в ролі початкової точки камери. Зображення Б – показує поворот на  $140^\circ$  відносно початкової точки. Зображення В – поворот в іншу сторону, а саме  $-140^\circ$  відносно початкової точки. Такий результат вийшов за допомогою пульта контролю та клавіш, які відповідають за правий та лівий рух камери.



А



Б



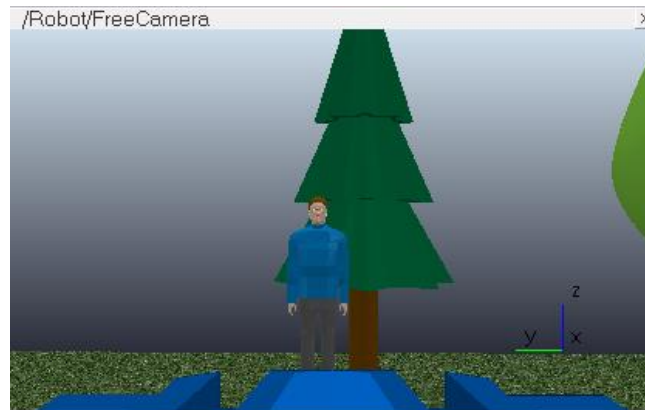
В

А – зображення  $0^\circ$ ; Б – зображення  $140^\circ$ ; В – зображення  $-140^\circ$

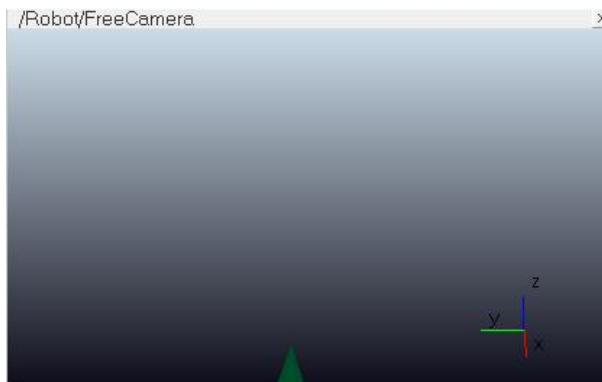
Рисунок 2.9 Зображення камери вільного спостереження  
горизонтального руху

Відповідно до рис. 2.9, на рис. 2.8 представлені зображення роботи вільної камери у вертикальному режимі. Зображення А також виступає в ролі початкової точки камери. Зображення Б – це підйом камери на  $40^\circ$  відносно

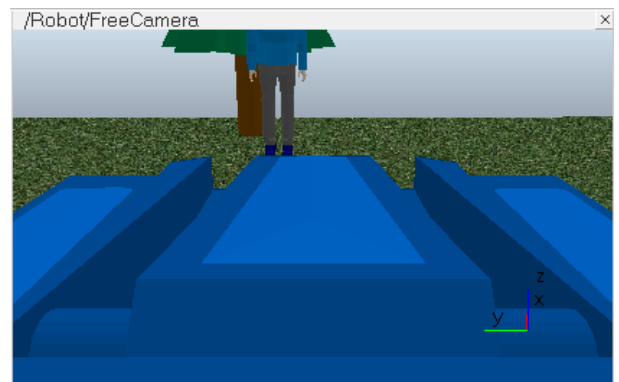
початкової точки на зображенні А. Зображення В – зниження на  $-20^\circ$  відносно початкової точки на зображенні А. Результати було отримано за допомогою маніпуляцією пультом контролю та клавіш, які відповідають за рух камери вгору та вниз.



А



Б



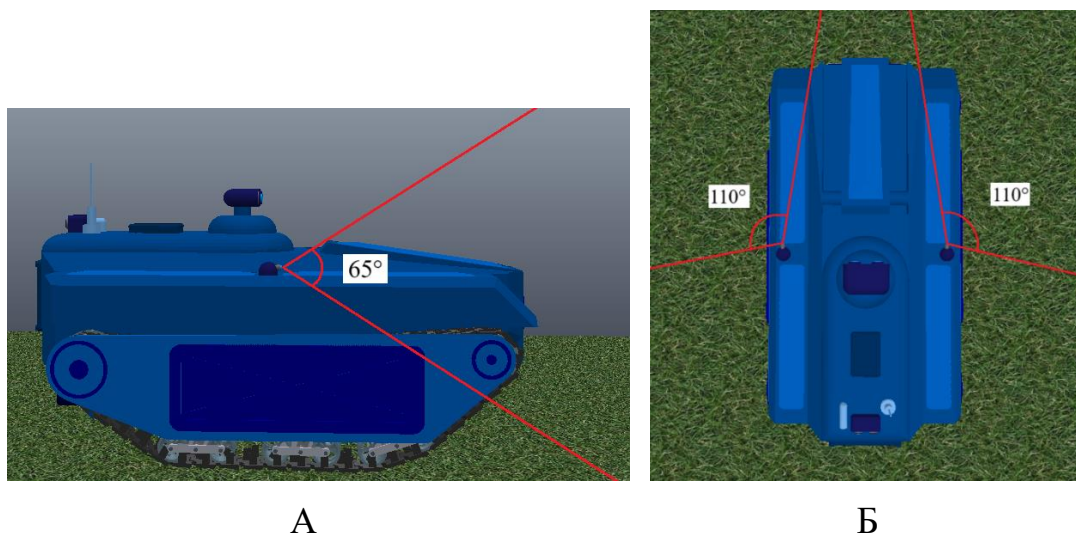
В

А – зображення  $0^\circ$ ; Б – зображення  $40^\circ$ ; В – зображення  $-20^\circ$

Рисунок 2.10 – Зображення камери вільного спостереження вертикального руху

Наскільки б не була чудова камера вільного спостереження, але і вона має сірі зони. Сірі зони – це ділянка, яку не можна побачити через конструкційні обмеження. Камера спостереження правого боку 2 і камера спостереження лівого боку 3 (рис. 2.6) допомагають мінімізувати сірі зони. Камери бокового спостереження охоплює ту частину котру інші камери не зможі. Камери розташовані по центру боків для кращого бокового нагляду.

Зображення що відображає камери має кути огляду  $65^\circ$  по вертикалі (рис. 2.11 А) та  $110^\circ$  по горизонталі (рис. 2.11 Б). Рух бокових камер обмежений. Він складає  $180^\circ$  в горизонтальній площині (рис. 2.12).



А – вертикальний кут огляду; Б – горизонтальний кут огляду

Рисунок 2.11 – Кути огляду бокових камери спостереження

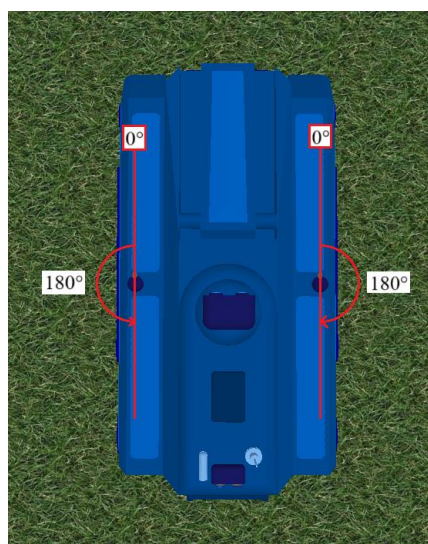
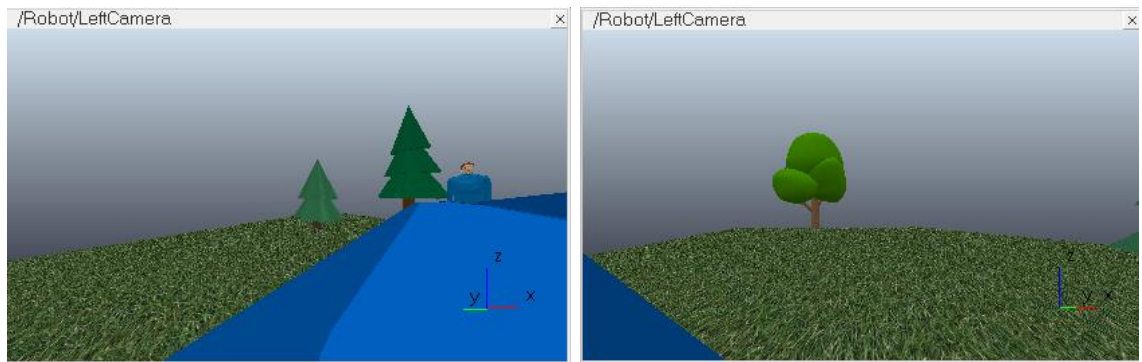


Рисунок 2.12 – Кути руху камери вільного спостереження

Функціонування бокових камер зображено на рис. 2.13 та 2.14. На них продемонстровано інформація з камер, в мінімально можливому куті  $0^\circ$  зображення А та максимально можливому  $180^\circ$  зображення Б.



А

Б

А – зображення  $0^\circ$ ; Б – зображення  $180^\circ$

Рисунок 2.13 – Зображення руху камери спостереження лівого боку



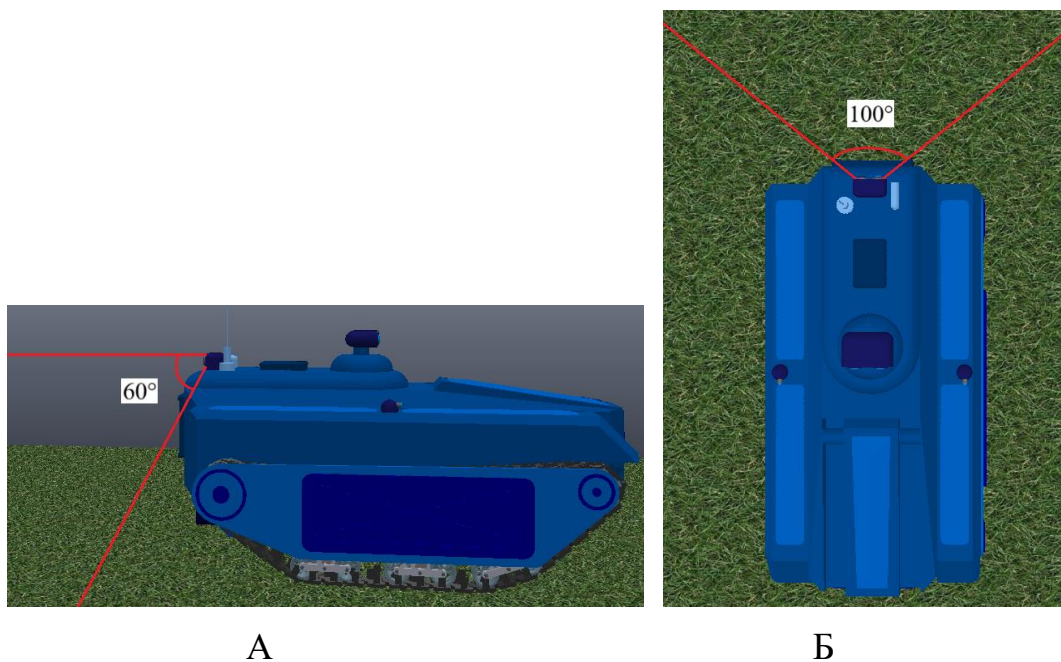
А

Б

А – зображення  $0^\circ$ ; Б – зображення  $180^\circ$

Рисунок 2.14 – Зображення руху камери спостереження правого боку

Камера спостереження заднього виду 4 (рис. 2.6) розташована на задній частині роботизованої платформи. Забезпечує додатковий огляд задньої території під час праці. Використання такої камери допоможе полегшити процес керування і зробити його більш безпечним і зручним. Зображення камери надає кут огляду  $60^\circ$  по вертикалі (рис. 2.15 А) та  $100^\circ$  по горизонталі (рис. 2.15 Б). Камера заднього виду є статичною – це означає, що її положення не змінюється автоматично і залишається фіксованим у певному положенні без можливості руху чи коригування з боку оператора під час праці. На рис. 2.16 представлено зображення, яке демонструє відображення функціонування камера спостереження за допомогою системи спостереження.



А – вертикальний кут огляду; Б – горизонтальний кут огляду  
Рисунок 2.15 – Кути огляду камери спостереження заднього виду

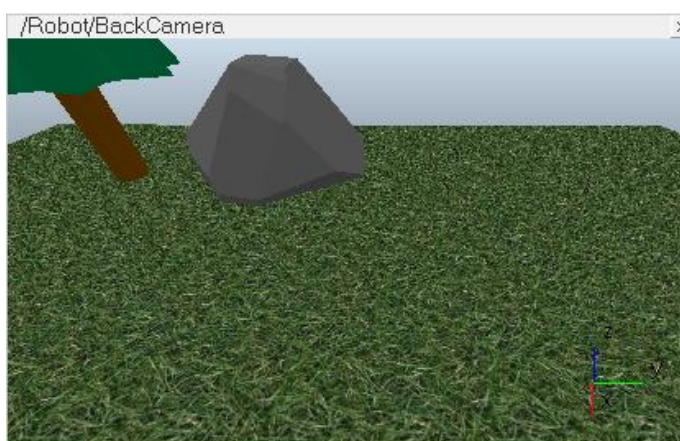


Рисунок 2.16 – Зображення камери спостереження заднього виду.

### 2.2.3 Моделювання допоміжних броньових пластин

Допоміжні броньовані пластини 3 (рис. 2.1). Основна частина роботизованої платформи складається зі сталі (загартована сталь високої міцності, але не броньована). Таке рішення було прийнято для об'легшення конструкції. Допоміжні броньовані пластини 3 (рис. 2.17) мають високу стійкість до вибухонебезпечних об'єктів. Вони зменшують ймовірність

великих пошкоджень при спрацюванні ВНП. Це вдосконалення забезпечує підвищену безпеку платформи та робить її менш вразливою до ризиків, пов'язаних із вибуховою дією.

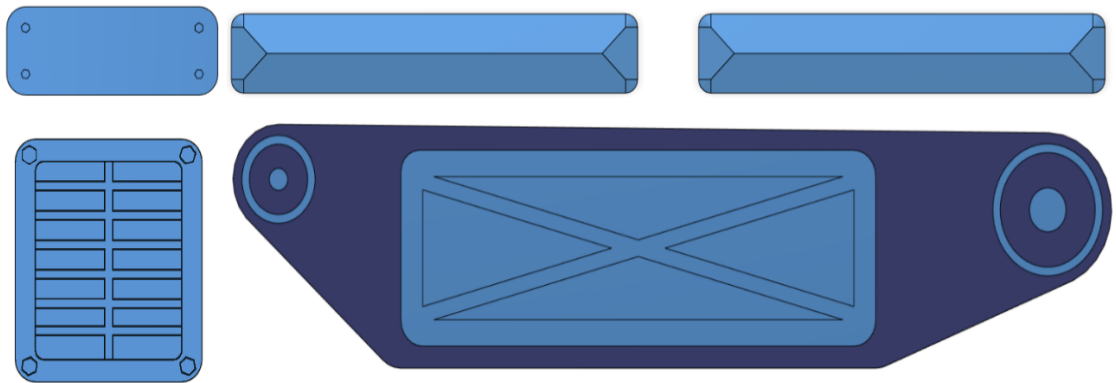


Рисунок 2.17 – Моделі допоміжних броньованих пластин

Компоненти броньовані пластини бувають:

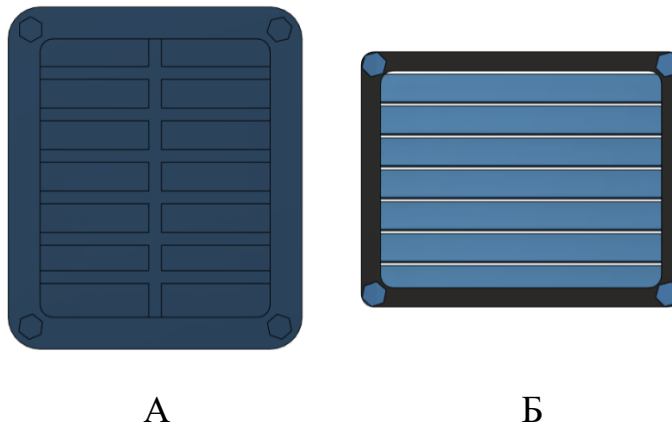
- титанові пластини – виготовлюють зі сплавів спеціальної сталі та титану, такі пластини мають підвищену міцність при фізичному втручанні;
- керамічні пластини – матеріали з додавання оксид алюмінію чи бориди, використовуються для підвищення міцності при прониканні дрібних осколків та інших загроз;
- композитні пластини – складаються з поєднанні скловолокна або волокна, які містять вуглець, та полімерних матеріалів, пластини виготовлені таким методом мають не тільки чудову міцність, а й гнучкість;
- склопластикові пластини – пластини, які включають у свій склад скло та посилене волокнами, забезпечує добрий захист від ушкоджень.

Матеріали, що використовуються для створення допоміжних броньованих пластин, призначені для захисту від: малих, нормальних та деяких великих калібрів; гранат; вибуху протипіхотних та танкових мін. Від авіабомб та калібрів спеціального призначення та ін. ймовірність захисту

низька. Також якщо вибуховий об'єкт знаходиться безпосередньо всередині роботизованої платформи ймовірність захисту низька.

#### 2.2.4 Моделювання люків доступу до двигуна

Двигун відповідає за рух роботизованої платформи та систему управління допоміжними установками. Ці системи розділені всередині платформи: управління в передній частині, а рух платформи – в задній. Для ремонту та корекцій були розроблені люки доступу (рис. 2.18). Ці люки розташовані для зручності доступу до обох систем.



А – люк доступу до мотора управління допоміжної установки;

Б – люк доступу до двигуна

Рисунок 2.18 – Моделі люків доступу

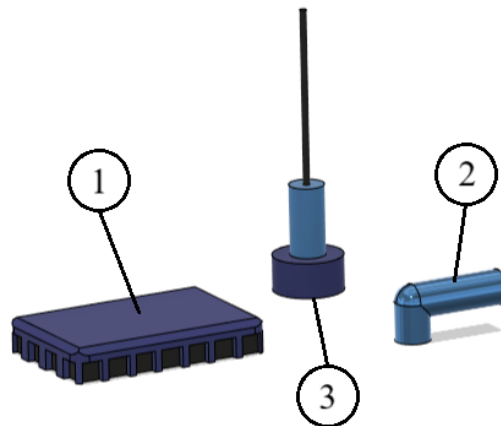
Люк доступу до мотора управління допоміжної установки 4 (рис. 2.1) знаходиться в передній частині платформи. Він складається з широкої та товстої бронебійної пластини, кришка якої є змінною і закріплена чотирма болтами. Для доступу до мотора управління потрібно відкрутити чотири болти та зняти кришку. Такий простий механізм дозволяє легко та швидко отримати доступ до моторної системи для обслуговування чи ремонту.

Люк доступу до двигуна 5 (рис. 2.1) розташований в задній частині роботизованої платформи. Він схожий на двері за зовнішнім виглядом: петлі розташовані справа, а вбудований замок – зліва. Конструкція заднього люка

виготовлена із нахилених невеликих броньованих панелей, що мають між собою невеликі прорізи. Ці прорізи виконують важливу роль у вентиляції та охолодженні двигуна, забезпечуючи ефективний обмін повітря та відведення тепла, що допомагає підтримувати оптимальну температуру роботизованої платформи.

### 2.2.5 Моделювання допоміжних частин платформи

Допоміжні частини – це компоненти (рис. 2.19), що доповнюють та підтримують роботу роботизованої платформи. Вони охоплюють елементи системи, спрямовані на підтримку безперебійної роботи роботизованої платформи та її ефективність, безпеку та надійність роботи. Важливість цих компонентів полягає в їхньому впливі на загальну функціональність роботизованої системи.



1 – решітка для виходу тепла; 2 – труба виходу шкідливих газів;  
3 – антена зв'язку

Рисунок 2.19 – Тривимірні моделі допоміжних частин

Решітка для виходу тепла 6 (рис. 2.1) розташована у верхній частині машини з метою ефективного відведення тепла. Це пояснюється тим, що гаряче повітря, що є менш щільним порівняно з холодним, має природну тенденцію підійматися вгору. У поєднанні з решіткою люка доступу до

двигуна 5 (рис. 2.1), вона формує систему вентиляції, що сприяє охолодженню двигуна та захисту від перегрівання.

Труба для виходу шкідливого газу 7 (рис. 2.1) відіграє важливу роль у виведенні газів, що утворюються під час внутрішнього спалювання. Основним завданням цієї труби – ефективно видаляти шкідливі викиди, що виникають у процесі роботи двигуна. Виведення шкідливих газів забезпечуючи стабільність роботи двигуна та додатково підтримує охолодження системи.

Антенa зв'язку 8 (рис. 2.1) є необхідною для здійснення віддаленого керування. Віддалене керування є важливим аргументом при виконанні не тільки при розмічувальних робіт, але й робіт на межі життя. Це забезпечує безпеку команди та оператора, які керують платформою на відстані. Застосування спеціального контролера та віддалених камер спостереження дозволяє здійснювати керування роботизованої платформи ефективніше.

Обтяжувачі 9 (рис. 2.1) – це важкі пластини, що закріплюються на задній частині конструкції роботизованої платформи (рис. 2.20). Основне їх призначення – забезпечити стабільність платформи.

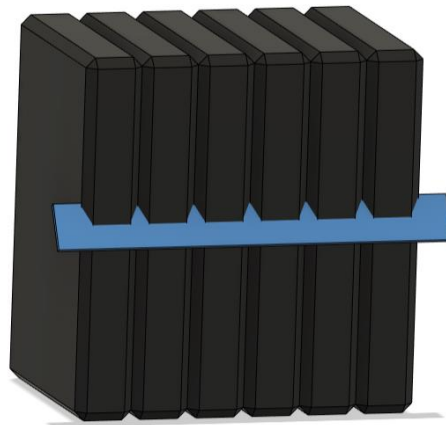


Рисунок 2.20 – Обтяжувачі

На передній частині розміщені різноманітні допоміжні установки, кожна з яких має власні розміри, форму та вагу. Ці відмінності призводять до зміни центру ваги, що може спричиняти нахил вперед основної конструкції. Змінні обтяжувачі розв'язують цю проблему: вони додаються або знімаються для досягнення балансу при зміні допоміжних установок, що забезпечує стабільну рівновагу при роботі платформи.

### 2.3 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу культиватор

Спеціальна установка для розмінування розроблена для розмінування прихованих вибухонебезпечних об'єктів, що знаходяться в ґрунті (рис. 2.21). За допомогою лез, які обертаються та проникають у ґрунт. Розпушуючи ґрунт основна частина ВВП детонує. Після чого залишає поверхню готовою для подальшого обстеження та роботи на небезпечній території.

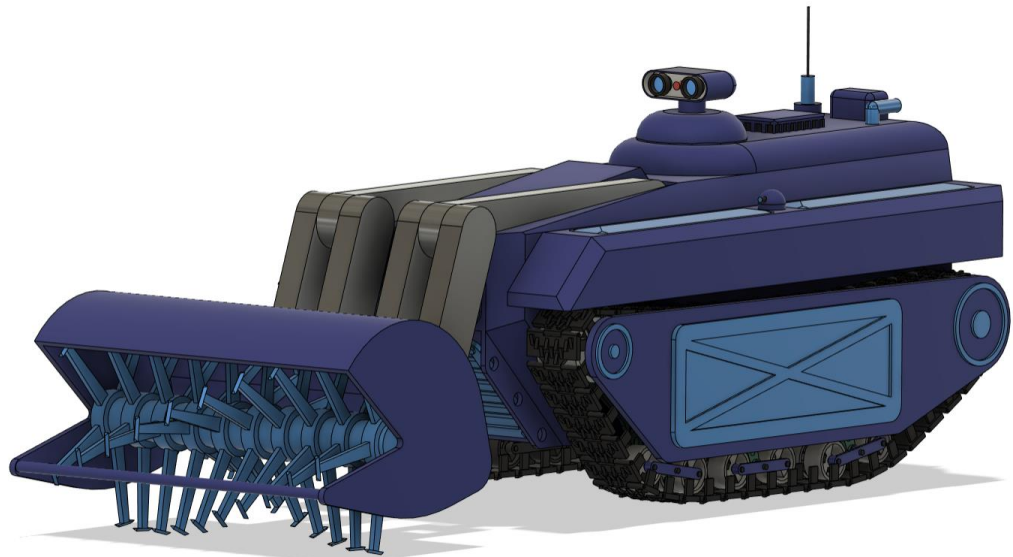


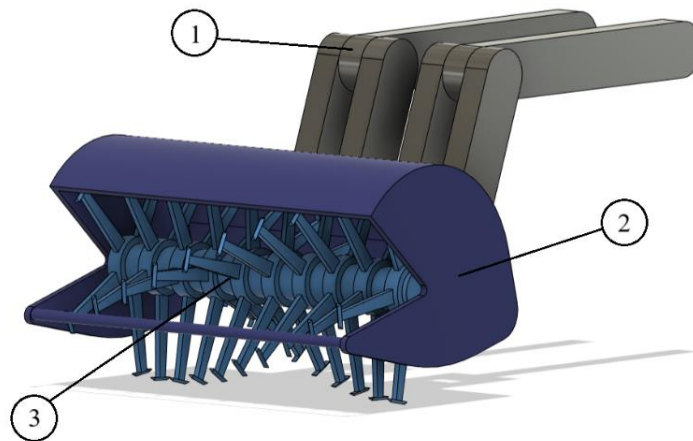
Рисунок 2.21 – Тривимірна модель роботизованої платформи та допоміжної установки типу культиватор

Установка типу культиватора має три складові (ланки): основне кріплення 1, захисний кожух 2 та лезо 3 (рис. 2.22).

Основне кріплення 1 (рис. 2.22) надає стійке кріплення між роботизованої платформою та установкою типу культиватор.

Захисний кожух 2 (рис. 2.22), виготовлений із броньованих матеріалів, призначений для захисту основної частини платформи від можливих пошкоджень від вибухонебезпечних предметів.

Лезо 3 (рис. 2.22) складається з десяти дисків, які розташовані рівномірно віддалені один від одного, та зафіксовані одним циліндром. Вони обертаються та входять у ґрунт, що дозволяє розмінувати територію.



1 – основне кріплення; 2 – захисний кожух; 3 – лезо

Рисунок 2.22 – Тривимірна модель установки типу культиватор

Конструкція типу культиватор використовують на території, яка має м'яких ґрунтів. Зазвичай це поля, полісся та дороги без покриття. Небажано використовувати там де є великі кам'яні ділянки або територія покрита твердим матеріалом.

На рис. 2.23 наведено відображення розмірів установки типу культиватора з метою кращого розуміння об'ємів та взаємного розташування в роботизованій платформі.

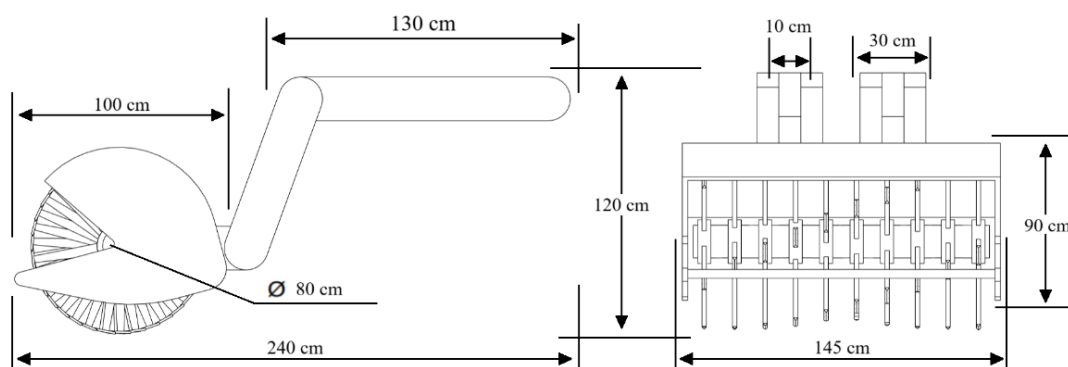


Рисунок 2.23 – Розміри моделі допоміжної установки типу культиватор

Установка типу культиватор має три ланки та два ступеня свободи маніпуляції по вертикальній осі (рис. 2.24).

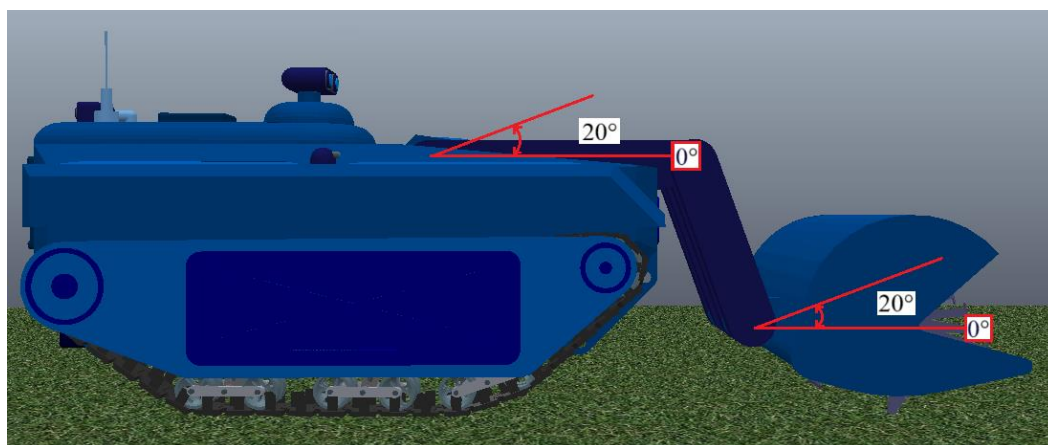


Рисунок 2.24 – Кути руху установки типу культиватор

Перший ступінь (рис. 2.24) охоплює три ланки та піднімає всю установку. Максимальний кут нахилу дорівнює  $20^\circ$ . Це потрібно для проходження ділянок з твердим ґрунтом, щоб запобігти пошкодженню леза установки.

Другий ступінь (рис. 2.24) регулює глибину занурення леза в ґрунт і включає дві ланки. Для оператора доступно  $20^\circ$ , щоб контролювати положення леза, цього достатню для виявлення ВНП.

## 2.4 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу ролик

Установка типу ролик (рис. 2.25) використовується для розмінування маршрутів із твердої поверхні, такий як камінь, асфальт, бетон та ін за допомогою своєї ваги.

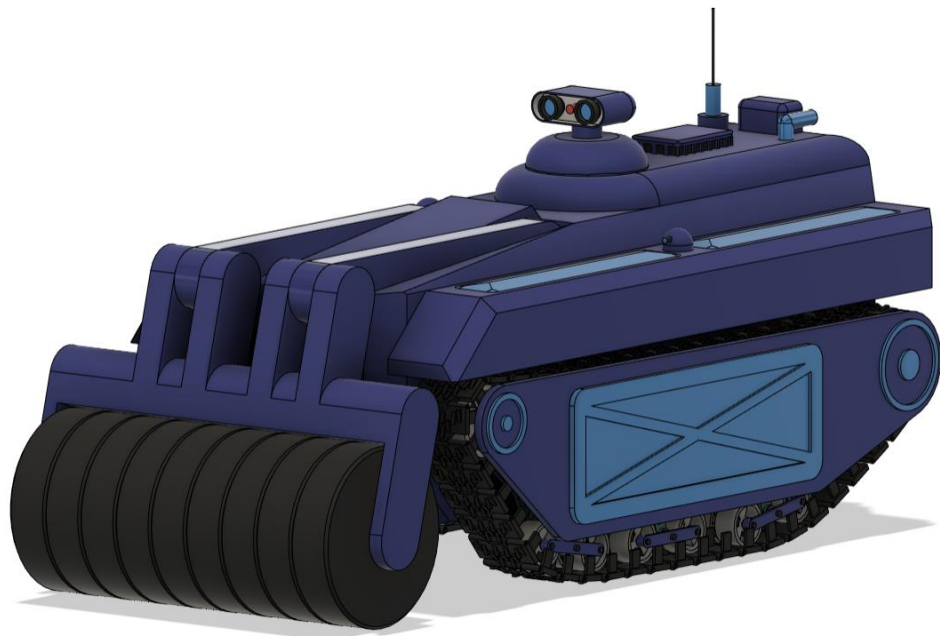
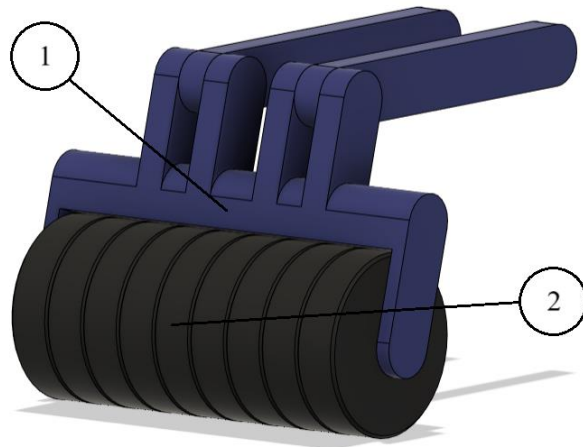


Рисунок 2.25 – Тривимірна модель роботизованої платформи та допоміжної установки типу ролик

Установка типу ролик складається з двох частин (ланок): основне кріплення 1, ролик 2 (рис. 2.26).

Основне кріплення 1 (рис. 2.26) є конструкцією з кріпленням вільного руху, яка з'єднує роботизовану платформу та ролик.

Ролик 2 (рис. 2.26) з'єднаний так, щоб він міг вільно обертатися навколо своєї осі. Важкий ролик проходить по території, завдяки своїй ваги розмінує маршрут. Це швидкий та ефективний метод для очищення території від ВНП.



1 – основне кріплення; 2 – циліндр ролика

Рисунок 2.26 – Тривимірна модель установки типу ролик

На рисунку 2.27 представлена інформація щодо розмірів установки типу ролик, щоб краще усвідомити їх обсяги та розташування в роботизованій платформі.

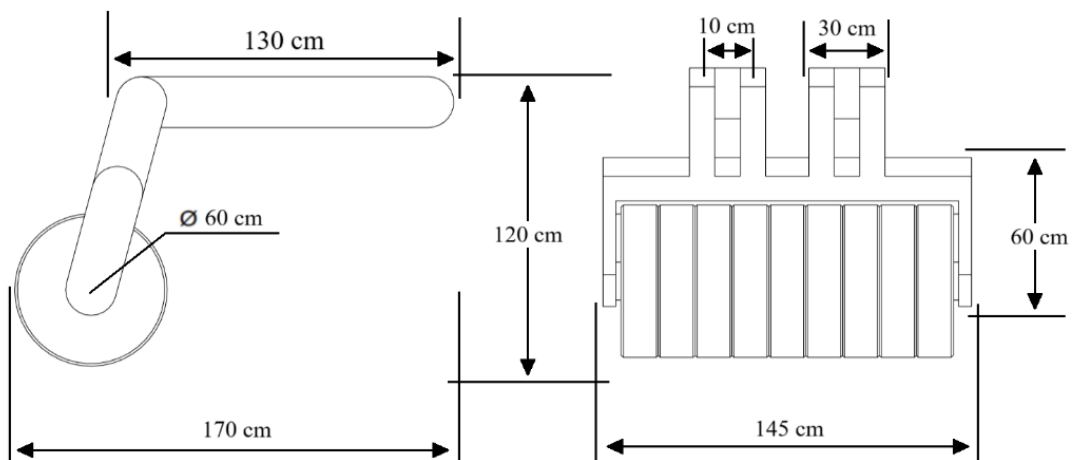


Рисунок 2.27 – Розміри моделі допоміжної установки типу ролер

Допоміжна установка типу ролер складається з двох ланок і не має керованих ступенів. Завдяки своїй конструкції, роботизована платформа стимулює рух ролера вперед. Під час цього руху ролер обертається та рухається вперед, що дозволяє йому розмінювати територію.

## 2.5 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу ківш

Допоміжна установка типу ківш (рис. 2.28) є ситуативним інструментом, оскільки він допомагає розчищати територію від сміття, уламків та інших непізнаних та небезпечних об'єктів. Ківш дозволяє швидко виконувати великі обсяги роботи з пересування важких об'єктів. Конструкція та функціонал спрямовані на максимальне уникнення небезпеки та мінімізацію ризиків для команди, що виконує небезпечну роботу.

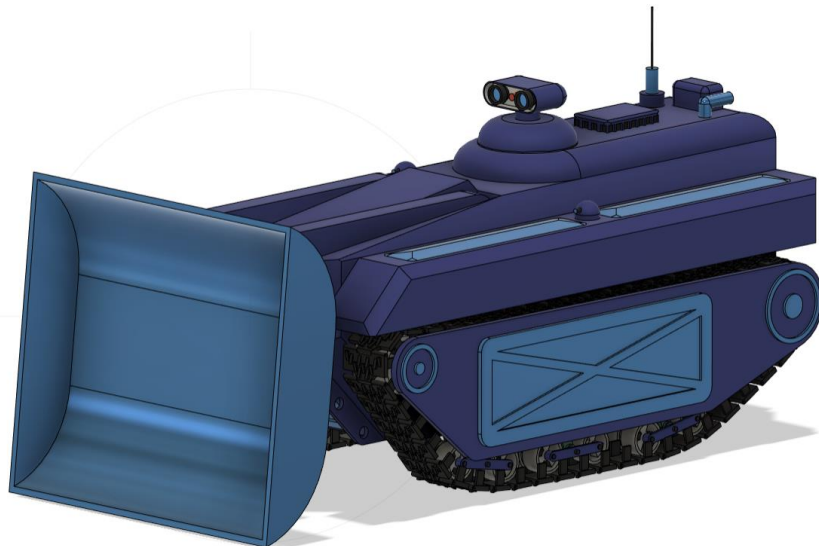
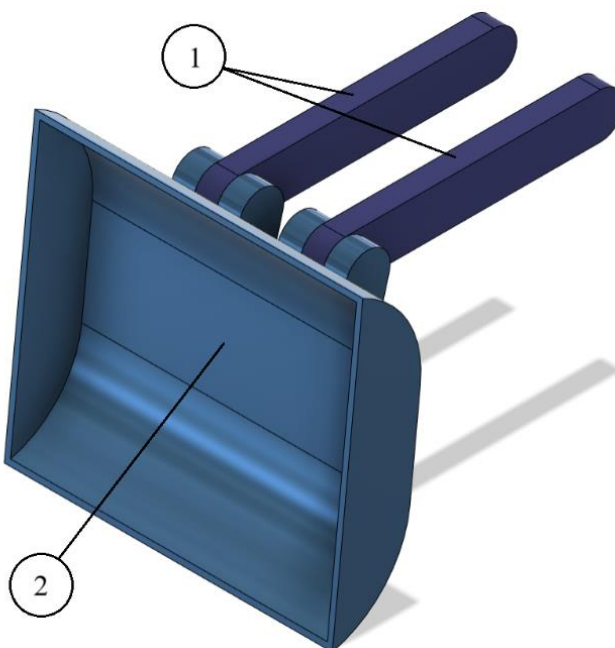


Рисунок 2.28 – Тривимірна модель роботизованої платформи та допоміжної установки типу ківш

Установка типу ківш складається з двох конструкцій (ланки): основне кріплення 1, ківш 2 (рис. 2.29).

Основне кріплення 1 (рис. 2.29) об'єднує роботизовану платформу і ківш.

Ківш 2 (рис. 2.29) – це металева конструкція з глибоким дном. Встановлюється на кінці основного кріплення для захоплення, підйому та перенесення об'єктів.



1 – основне кріплення; 2 – ківш

Рисунок 2.29 – Тривимірна модель установки типу ківш

Розміри ковша наведено на рисунку 2.30. Дана інформація дозволяє оцінити ширину, довжину та глибину ковша, що надає точніше поняття про його геометрію при використанні в роботі.

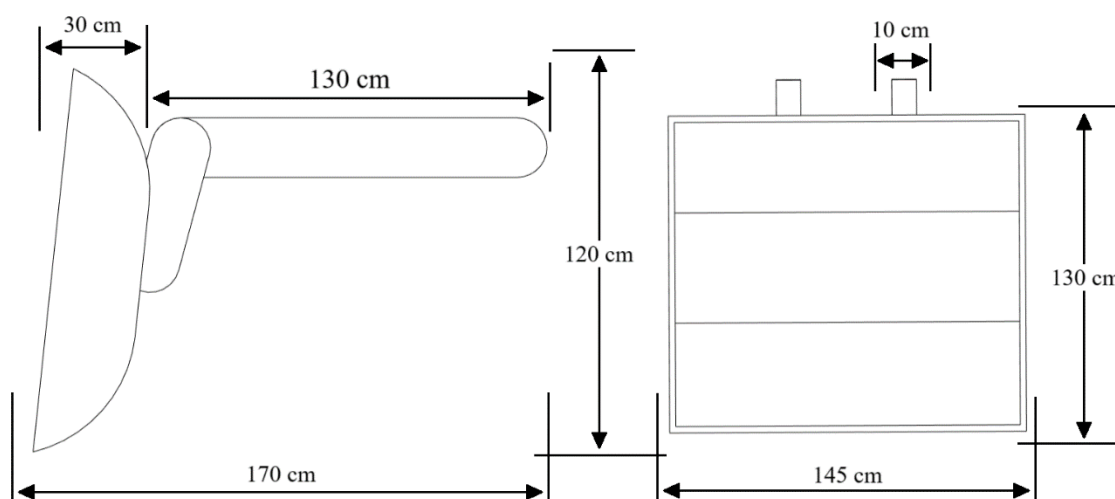


Рисунок 2.30 – Розміри моделі допоміжної установки типу ківш

Установка типу ківш має дві ланки та два ступеня свободи маніпуляції по вертикальній осі (рис. 2.31).

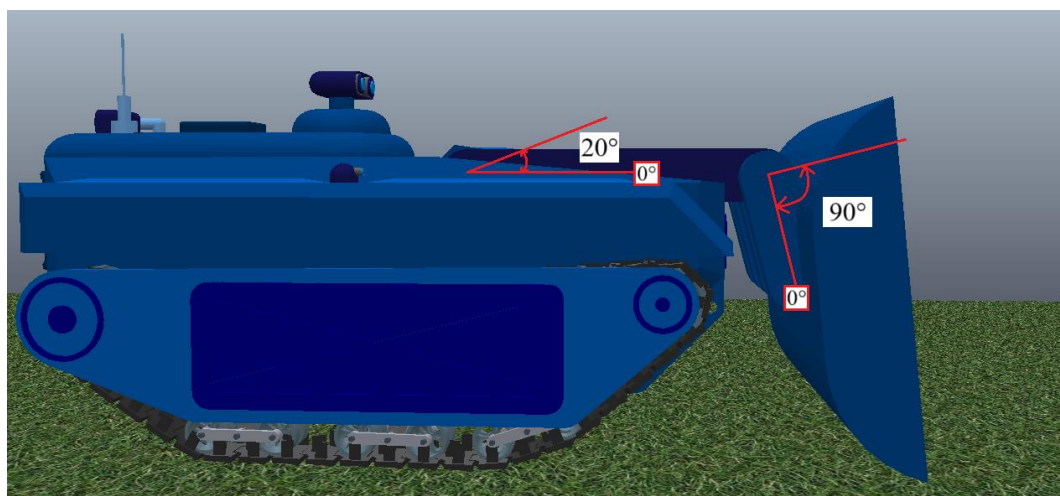


Рисунок 2.31 – Кути руху установки типу ківш

Перший ступень (рис. 2.31) складається з двох ланок та підіймає всю установку. Кут підняття становить 20 градусів. Це зроблено для того, щоб уникнути висипання вмісту ковша на основну платформу, що може забруднити камери спостереження.

Другий рівень (рис. 2.31) складається з самого ковша. Здатність рухатися в діапазоні від 0 до 90° дозволяє не лише здвигати для прибирання території, але й захоплювати та переміщувати їх об'єкти, такі як уламки, сміття та ін.

## 2.6 Модулювання допоміжної установки для гуманітарного розмінування типу маніпулятивний хват

Допоміжна установка для гуманітарного розмінування типу маніпулятивний хват (рис. 2.32) є дуже функціональною у своєму використанні. Вона дозволяє оператору віддалено керувати роботизованим хватом з максимально можливими варіантами взаємодій з об'єктом. Оператор може використовувати маніпулятивний хват для підняття, обертання та

переміщення об'єкта з місця на місце в потенційно небезпечних територій, що дозволяє знизити ризики в небезпечних ситуацій під час виконання операцій. Цей пристрій дає великий простір дій при роботі з вибухонебезпечними об'єктами, що робить цей процес більш безпечним.

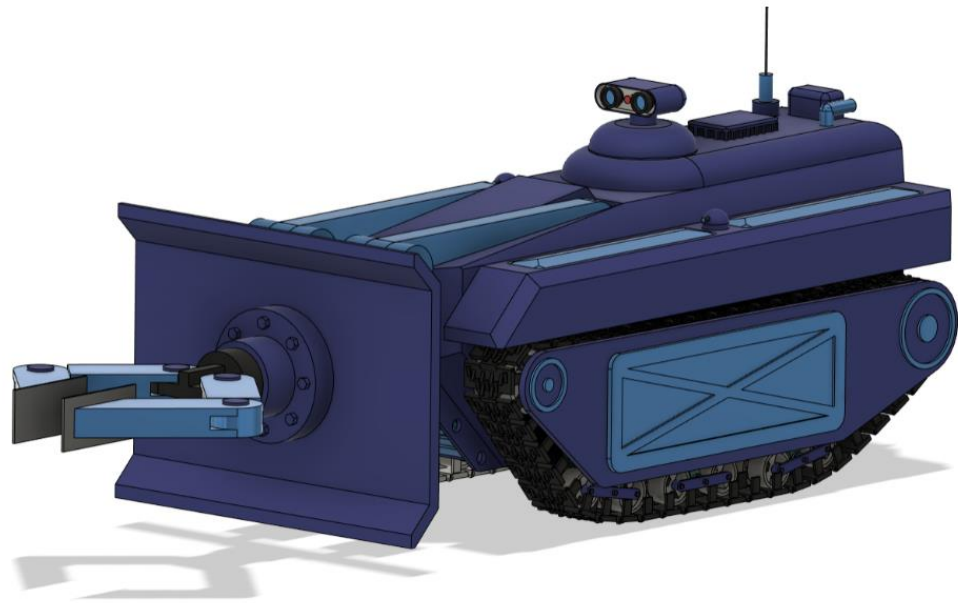


Рисунок 2.32 – Тривимірна модель роботизованої платформи та допоміжної установки типу маніпулятивний хват

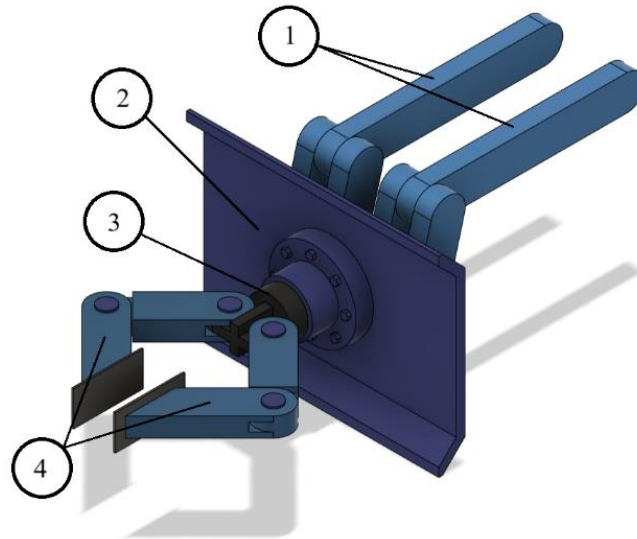
Маніпулятивний хват складається з п'яти частин (ланок): основне кріплення 1, захисна броньована пластина 2, циліндр руху осі та кріплення двох частин хвату 3, права та ліва частина хвата 4 (рис. 2.33).

Основне кріплення 1 (рис. 2.32) з'єднує маніпулятивний хват та роботизовану платформу.

Броньова пластина 2 (рис. 2.32) захищає платформу від уражень при вибуху об'єктів з якими взаємодіє маніпулятор.

Циліндр руху осі 3 (рис. 2.32) відповідає за вертикальні повороти маніпулятора. Також передня частина циліндра 3 використовують в ролі каскаду для фіксації обох частин хвата.

Прав та ліва частина хвата 4 (рис. 2.32) відповідає за тримання об'єктів. Під час їх сходження об'єкт фіксується, а під час роз'єднання – відпускає. Всі елементи спільно працюють для забезпечення максимально можливого функціонуванню маніпулятивного хвата.



1 – основне кріплення; 2 – захисна броньована частина;  
3 – циліндр руху осі; 4 – частини хвата

Рисунок 2.33 – Тривимірна модель установки типу маніпулятивний хват

Точні розміри допоміжної установки типу маніпулятивний хват вказані на рис. 2.34.

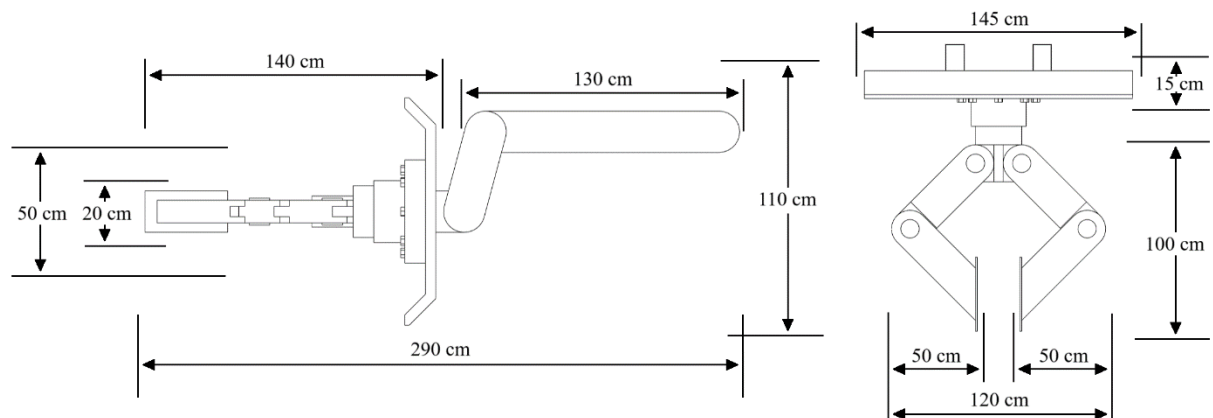


Рисунок 2.34 – Розміри моделі допоміжної установки типу маніпулятивний хват

Управління маніпулятивним хватом виконується віддалено за допомогою камер, контролера та оператора. Маніпулятивний хват складається з п'яти ланок, які забезпечує п'ять ступенів свободи – це надає великий кут маніпуляцій хвата (рис. 2.35 – 2.37).

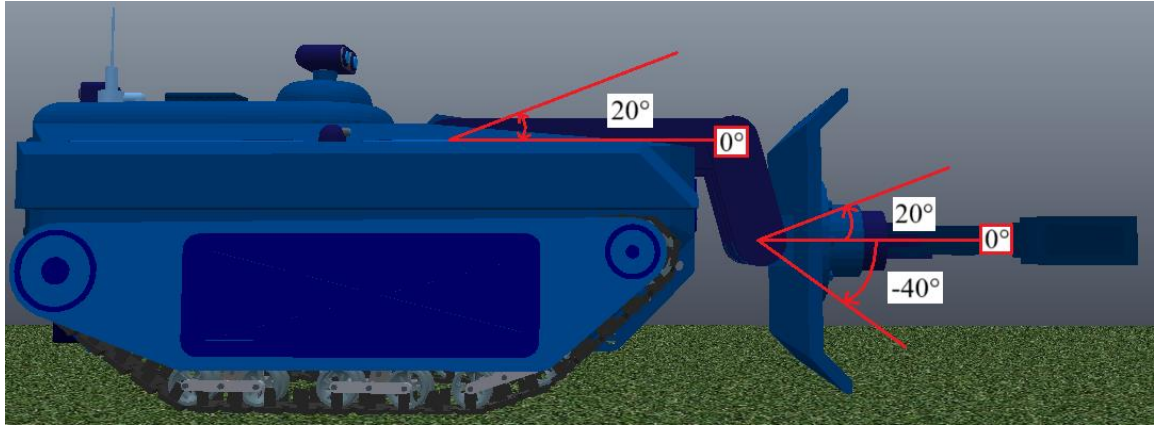


Рисунок 2.35 – Кути вертикального руху установки типу маніпулятивний хват

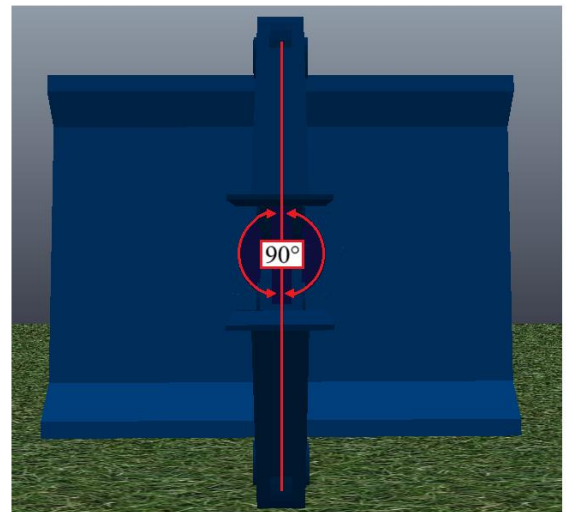
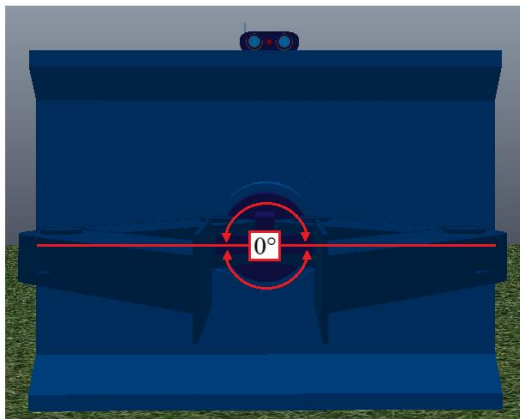


Рисунок 2.36 – Кути обертів установки типу маніпулятивний хват

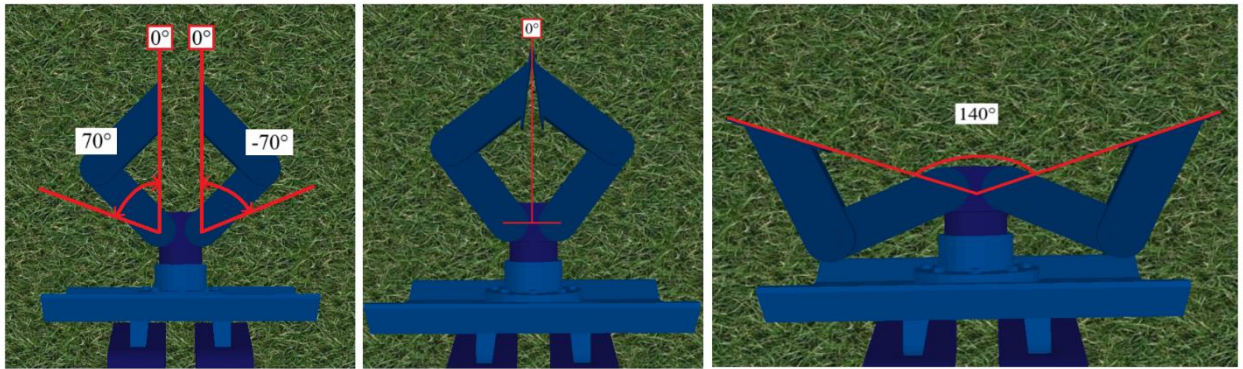


Рисунок 2.37 – Кути руху маніпулятивного хвата

Перший ступень (рис. 2.35) основне кріплення, яке має фіксований кут та рухає всю конструкцію горизонтальній осі  $20^\circ$ .

Другий ступень (рис. 2.35) броньова пластина, із-за своєї конструкції має не тільки фіксований кут, а й обмеження руху, який складає  $20^\circ$  верх та  $40^\circ$  вниз по горизонтальній осі.

Третя ступень (рис. 2.36) циліндр оберту осі відповідає за вертикальний оберт хвату складається з  $90^\circ$  в обидві сторони.

Четверта та п'ята ланка безпосередньо взаємодіє з об'єктом(рис. 2.37). По одинці ці ланки мають кути  $-10^\circ$  та  $70^\circ$ . Максимальний кут розкриття хвату становить  $140^\circ$ . Цей кут був обрано через конструкції, том що хват упирається в броньовану пластину (рис. 2.37).

## 2.7 Висновки до другого розділу

У другому розділі було проведено моделювання роботизованої платформи для гуманітарного розмінування. Під час розробки конструкції роботизованої платформи були створені такі компоненти: основний корпус, ходова система, камери спостереження, системи віддаленого контролю та поміжні конструкції. Їхні тривимірні моделі були розроблені, описані їх можливості та розміри.

Для роботизованій платформи були створені моделі допоміжних установок. Допоміжні установки представляють собою змінні конструкції, які встановлюються на роботизовану платформу для поліпшення гуманітарного розмінування. Серед створених допоміжних установок були культиватор, ролер, ківш та маніпулятивний хват. Були представлені їхні тривимірні моделі, описані розміри, способи руху та управління.

Функції кожної з допоміжних установок відрізняються, проте разом вони утворюють комплексний набір інструментів для покращення гуманітарного розмінування.

## 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛЮВАННЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ТЕРЕТОРІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

### 3.1 Модулювання територій гуманітарного розмінування

Для моделювання гуманітарного розмінування необхідно розробити територію для випробувань при розробці тестової моделі роботизованої платформи. Тестову територію було створено за допомогою CorptliaSim [27].

Тестова територія – це спеціальна тестова ділянка з можливістю змін розмірів, рельєфів та ландшафту (рис. 3.1). За допомогою змінних налаштувань можна враховувати багато факторів, які можуть впливати на роботу моделі роботизованої платформи.

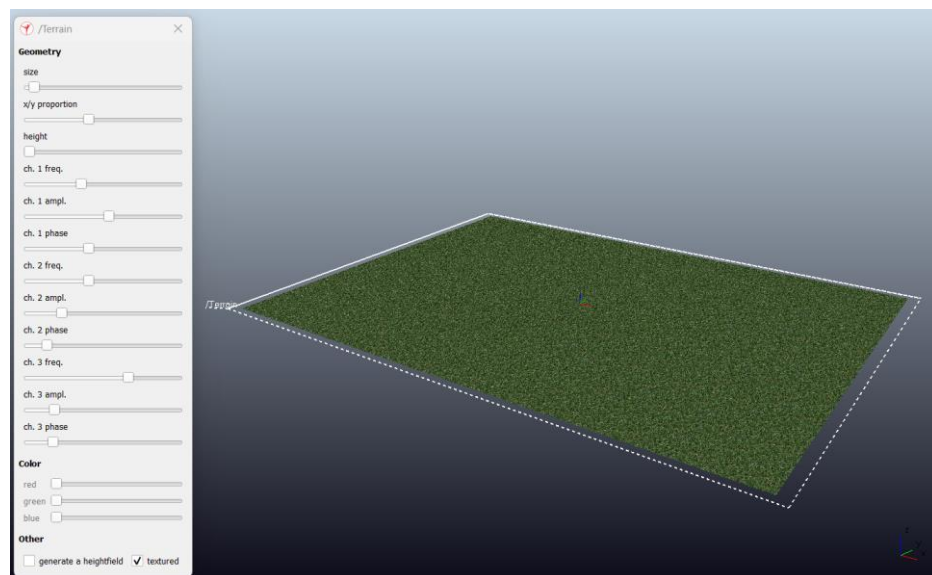


Рисунок 3.1 – Тривимірна модель території для гуманітарного розмінування

Завдяки аналізу замінованих територій було прийнято рішення взяти за основу тестової території гуманітарного розмінування поля та полісся. Такі

райони частіше стають об'єктами для замінування через їх природне доступну місцевість це збільшує ймовірність прихованого розміщення ВНП. Аналізу та дослідження таких територій допоможе краще розуміти специфіку замінування та вдосконалити методи гуманітарного розмінування для таких умов.

Для проведення тестів маневреності роботизованої платформи були створені перешкоди. Перешкоди – це об'єкти, які розміщують на тестовій території для більш реалістичного моделювання роботи маневреності роботизованої платформи для гуманітарного розмінування (рис. 3.2).

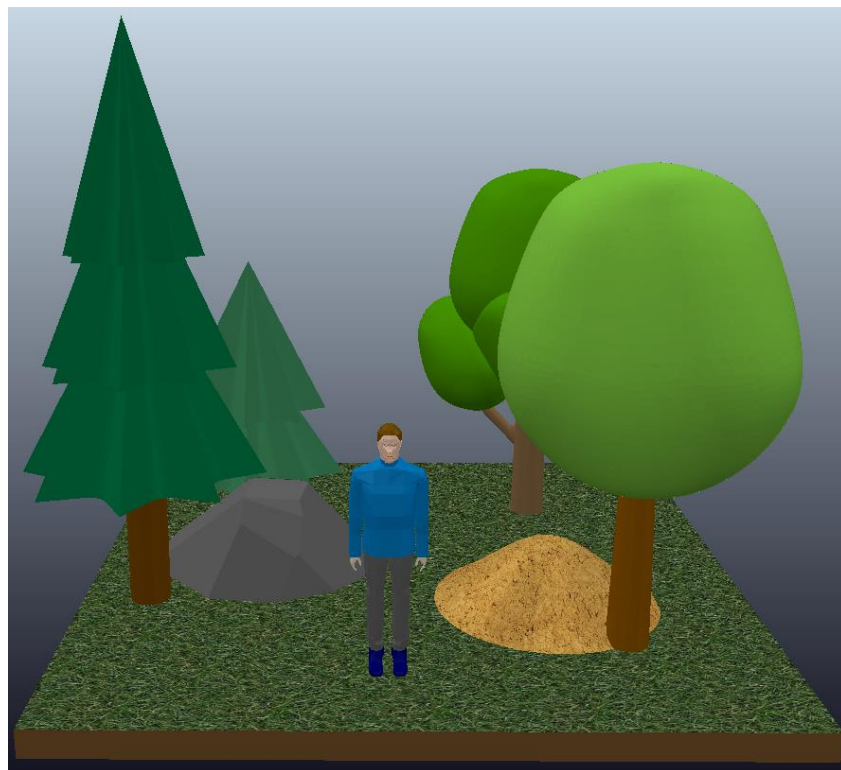


Рисунок 3.2 – Тривимірні моделі об'єктів для розміщення на тестовій території

Під час тестування важливо бачити, як об'єкти взаємодіють між собою на тестовій території. Візуальна оцінка дозволяє з'ясувати, чи відповідають розміри об'єктів вимогам і як вони взаємодіють один з одним на практиці. Це сприяє покращенню роботи (рис. 3.3).

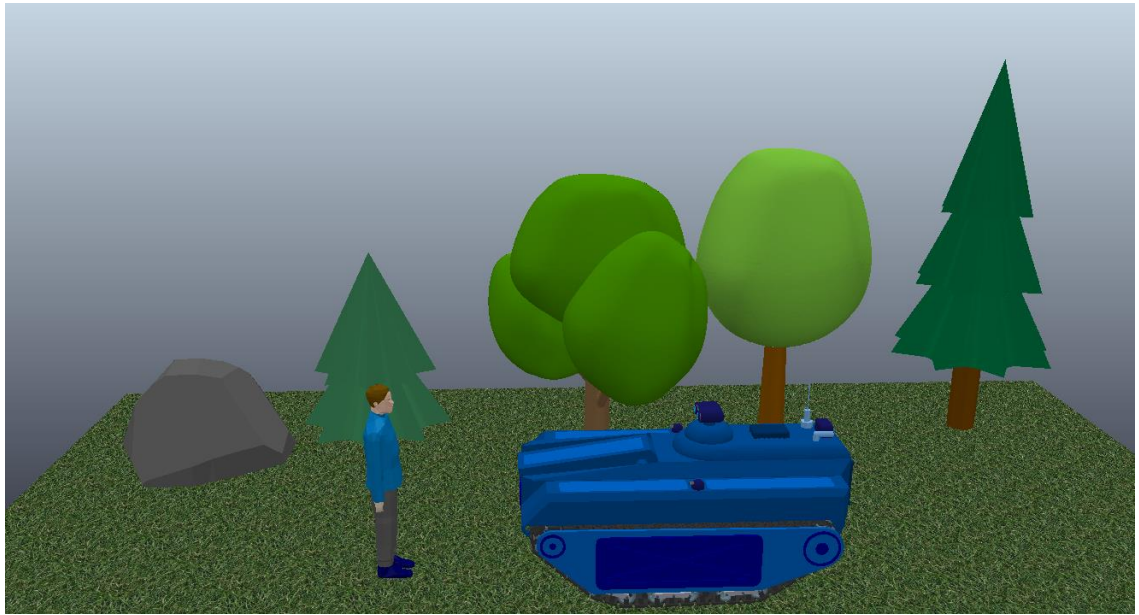


Рисунок 3.3 – Тривимірні візуалізація об’єктів та роботизованої платформи

Ландшафтні зміни на тестовій місцевості є ключовим елементом для поліпшення тестової моделі. Налаштування властивостей території та розміщення об’єктів дозволяє краще тестувати роботу платформи, що сприяють удосконаленню функціональних можливостей моделі та дозволяють покращити її ефективність.

## 3.2 Розрахунки для моделювання роботи роботизованої платформи

### 3.2.1 Розрахунки ваги та розмірів роботизованої платформи

Для досягнення більш точнішого та ефективного моделювання роботи необхідно враховувати багато факторів, що включає фізичні параметри платформи. Потрібно враховувати такі аспекти, як вага та розмір. Вони відіграють важливу роль у створенні симуляцій руху роботизованої платформи в різних умовах та ситуаціях. Цей розділ описує фізичні характеристики деталей для моделювання.

При розрахунку ваги використовувалася формула, що базується на відношенні щільності матеріалу до об'єму деталі. Приблизні об'єми деталей були визначені за допомогою програми Fusion 360 та формули об'єму. Матеріал для роботизованої платформи обирався з урахуванням його витривалості, міцності та стійкості. Для цього був проведений аналіз інших систем для розмінування. Завдяки аналізу інших систем було обрано сталь фірми Hardox [28].

Сталь Hardox 600 – це сплав високої твердості (табл. 3.1), товщина якої може досягати до 65 мм. Цей сплав гарантує високу твердість та стійкість. Виробник стверджує, що попри велику твердість та в'язкість, ця сталь легко піддається обробці. Так, здатність обробітки різати та зварювати цей матеріал відкриває широкі можливості для ремонту платформи. Щільність такої сталі досягає 7,8 г/см<sup>3</sup>.

Таблиця 3.1 – Властивості сталі Hardox 600

Хімічний склад сталі Hardox 600								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
<0,47	<0,70	<1,40	<0,015	<0,010	<1,20	<2,50	<0,70	<0,005
Механічні властивості сталі Hardox 600								
Товщина, мм	Твердість по Брінеллю, НВ	Випробування на ударну в'язкість при -40°C, Дж				Щільність, г/см <sup>3</sup>		
51,1 – 65,0	550 - 640	20				0,78		

Було здійснено аналіз в інтернеті систем платформ гуманітарного розмінування та їх двигунів. Після аналізу для роботизованої платформи було обрано шести циліндровий двигун на дизельному пальному та повітряним охолодженням, турбонаддувом та проміжним охолодженням повітря. Завдяки акустично оптимізованим компонентам надає низький рівень шуму. У двигуні надано електронна система управління – це забезпечує довгорічну віддалену

роботу. Також двигун оптимізовано для холодного запуску та стійкість при швидкому навантаженні. Його вага складає 510 кг [29].

Розміри роботизованої платформи враховувались з урахуванням кожного краю та сторони. Це є один із головних факторів для обчислення центру ваги та вибору оптимальних деталей, які розміщені безпосередньо в самій роботизованій платформі. Крім того, розміри допоміжних установок враховувалися, як окремо, так і в контексті взаємодії з платформою.

Фізичні властивості такі як вага та розмір роботизованої платформи було розраховано та занесено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості роботизованої платформи

Назва об'єкту	Довжина, см	Висота, см	Ширина, см	Вага, кг
Корпус роботизованої платформа	270	105	140	1160
Двигун роботизованої платформа	–	–	–	510
Гусеничний Рушій (1шт)	240	70	35	1780
Роботизована платформа	270	160	145	5230
Допоміжна установка тип культиватор	240	120	145	1580
Допоміжна установка тип ролик	170	120	145	1870
Допоміжна установка тип ківш	170	120	145	580
Допоміжна установка тип маніпулятивний	290	110	145	890

## Продовження таблиця 3.2

Назва об'єкту	Довжина, см	Висота, см	Ширина, см	Вага, кг
Платформа з установкою тип культиватор	415	160	145	6810
Платформа з установкою тип ролик	340	160	145	7100
Платформа з установкою тип ківш	335	160	145	5810
Платформа з установкою тип маніпулятор	445	160	145	6120

## 3.2.2 Розрахунки кінематичних параметрів гусеничного рушія

Необхідно розрахувати кінематичні параметри гусеничного рушія для тестування моделей [30]. З другого розділу зрозуміло, що гусеничний рушій забезпечує рух усьому тілу платформи шляхом реалізації тягової сили. Двигун обертає ведуче колесо завдяки чому отримує кінематику (рис. 3.4).

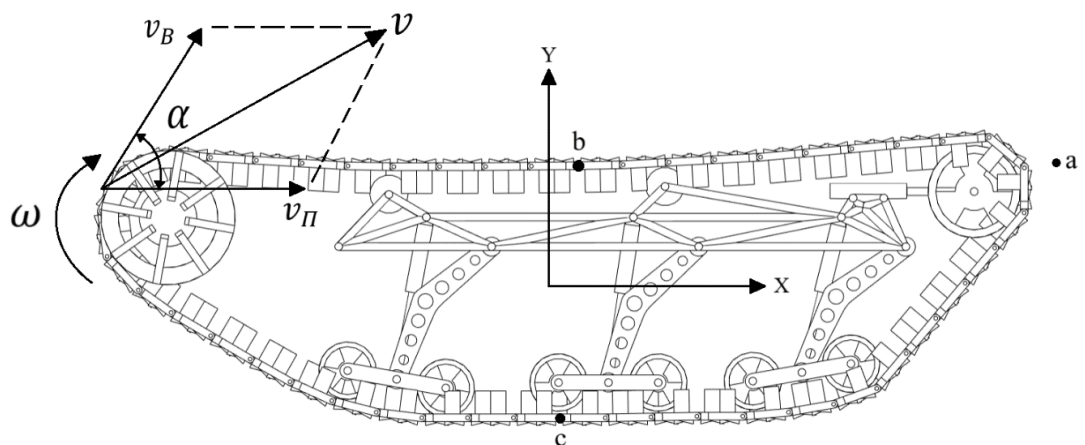


Рисунок 3.4 – Схема кінематики гусеничного рушія

Гусенична стрічка – це 45 однакових траків, які з'єднані між собою шарнірами, і відтворює замкнутий ланцюг. Змоделюємо рух довільної точки А гусеничного рушія. Відповідно цьому, точка  $a$  входить у два рухи: відносну швидкість оберту ( $v_B$ ) до корпусу платформи, та переносну швидкість ( $v_{\Pi}$ ) разом з корпусом платформи. Тоді абсолютна швидкість буде складатися з:

$$v_{\alpha} = v_B + v_{\Pi}. \quad (3.1)$$

Якщо взяти точку  $a$  разом з системою координат  $Oxy$  то можна спроекувати вектори абсолютну швидкості на координатній осі:

$$v_{\alpha x} = v_{\Pi} + v_B \cos \alpha, \quad (3.2)$$

$$v_{\alpha z} = v_B \sin \alpha. \quad (3.3)$$

В такому разі абсолютна швидкість буде:

$$\begin{aligned} v_A &= \sqrt{v_{Ax}^2 + v_{Az}^2} = \sqrt{v_{\Pi}^2 + v_B^2 \cos^2 \alpha + 2v_{\Pi}v_B \cos \alpha + v_B^2 \sin^2 \alpha} = \\ &= \sqrt{v_{\Pi}^2 + v_B^2 + 2v_{\Pi}v_B \cos \alpha}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

З цих формул можна зробити висновок, що абсолютна швидкість будь-якої точки гусеничного рушія залежить від кута  $\alpha$  між векторами відносної швидкості ( $v_B$ ) та переносної швидкості ( $v_{\Pi}$ ). Тоді для точки  $b$  верхньої частини гусеничного кут  $\alpha = 0^\circ$ :

$$v_b = v_{\Pi} + v_B. \quad (3.5)$$

А для точки  $c$  нижньої частини гусеничного рушія кут  $\alpha = 180^\circ$ :

$$v_c = v_{\Pi} - v_B. \quad (3.6)$$

При русі ведучого колеса значення відносної швидкості ( $v_B$ ) та переносної швидкості ( $v_{\Pi}$ ) постійно змінюються, проте є три можливих варіантів винятків, коли рух платформи може бути збитися:

–  $v_{\Pi} < v_B$ ,  $v_{\alpha} < 0$  – точка кута  $\alpha$  знаходиться в нижній частині, тобто гусеничний рушій рухається по ґрунту в протилежному напрямку платформи – пробуксовує. Через те що  $v_{\Pi} = 0$  йде буксування і платформа не рухається;

–  $v_{\Pi} > v_B$ ,  $v_{\alpha} > 0$  – точка кута  $\alpha$  знаходиться в передній частині, тобто гусеничний рушій рухається по ґрунту та переганяє основну платформу, що приведе до самостійного гальмування;

–  $v_{\Pi} = v_B$ ,  $v_{\alpha} = 0$  – точка кута  $\alpha$  нерухома, йде момент спокою платформи.

Через те, що абсолютна швидкість гусеничного рушія змінна, то це приводить до прискорення та інерційної сили. Абсолютне прискорення гусеничного рушія точки  $a$  при рівномірному поступальному русі складається:

$$j_{\alpha} = \sqrt{j_{ax}^2 + j_{az}^2} = v_B \frac{d\alpha}{dt}. \quad (3.7)$$

То через систему координат  $Oxy$  то можна спроектувати абсолютне прискорення на координатній осі:

$$j_{ax} = \frac{dv_{ax}}{dt} = -v_B \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt}, \quad (3.8)$$

$$j_{az} = \frac{dv_{az}}{dt} = v_B \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt}, \quad (3.9)$$

де  $\frac{d\alpha}{dt}$  – кутова швидкість точки  $a$ , яка розраховується:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega = \frac{v_B}{r}, \quad (3.10)$$

де  $r$  – радіус ведучого колеса, см.

Тоді спрощене прискорення розраховується:

$$j_\alpha = v_B \frac{d\alpha}{dt} = \frac{V_B^2}{r}. \quad (3.11)$$

Коли стрічка гусеничного рушія проходять прямолінійну траєкторію, які знаходяться в верхній та нижній частині, то  $\rho = \infty$  та  $d = 0$ . Можна зробити висновки, що при зміні прямолінійної траєкторії в криву і навпаки, точки прискорення змінюються раптовими стрибками – це призводить до ударних навантажених ділянок стрічки гусеничного рушія. Графіки роботи рушія роботи рушія надані на рис. 3.5 та рис. 3.6.

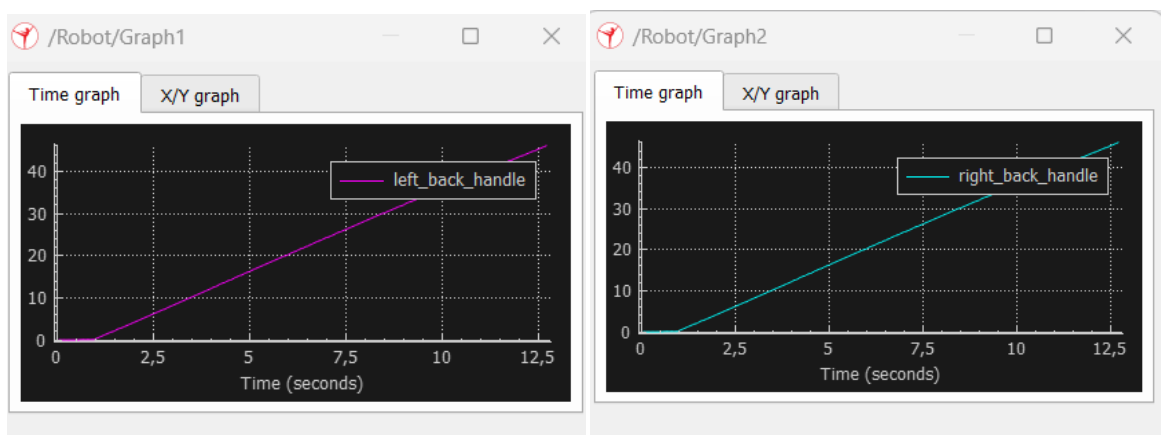


Рисунок 3.5 – Графік гусеничного рушія, рух вперед

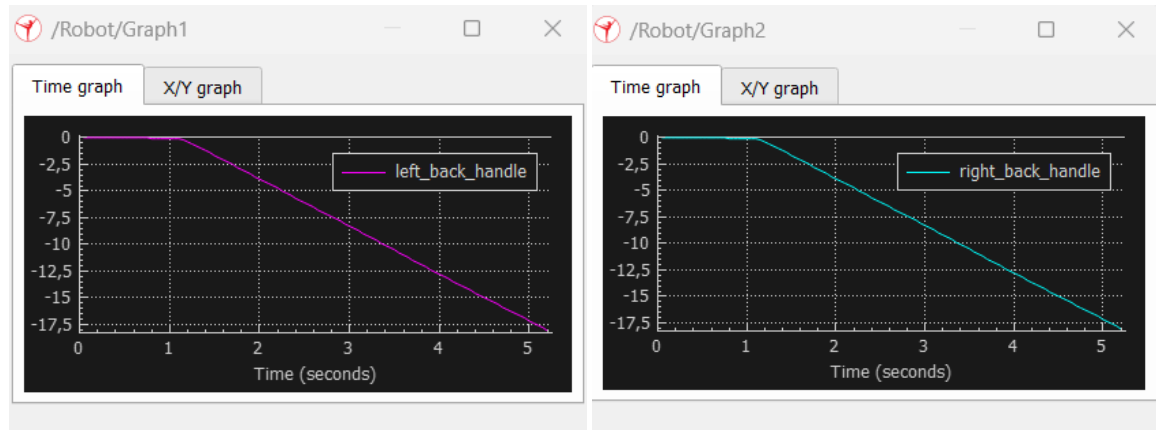


Рисунок 3.6 – Графік гусеничного руштя, рух назад

### 3.2.3 Розрахунки нерівномірних обертів гусеничного руштя

Під час руху ведучого колеса та амортизатора з напрямним колесом роботизованої платформи змінюється траєкторія руху, що призводить до появи швидкості [30]. Ця швидкість періодично змінюється, і траки постійно змінюють своє положення та траєкторію. Ця зміна швидкості часто призводить до стрибкоподібного руху, коли стрічка траків намагається виштовхати один з опорних траків гусеничної стрічки. Ця ситуація має періодичний характер, період нерівномірних обертів ( $T_{\text{ноб}}$ ) визначається повним оборотом ведучого колеса та кількістю зубів:

$$T_{\text{ноб}} = \frac{2\pi}{Z_K}, \quad (3.12)$$

де  $Z_K$  – кількість зубів ведучого колеса:

$$Z_K = \frac{v_A l}{n_{\text{об}} t_{\text{в.ш}}}, \quad (3.13)$$

де  $v_A$  – абсолютна швидкість, см/хв;

$l$  – довжина стрічки, см;

$n_{об}$  – оберти двигуна, об/хв;

$t_{в.ш}$  – величення кроку траку, см.

В реальності нерівномірність оберту руху гусеничної стрічки платформи не представляє великої проблеми. Зазвичай через велику масу платформи, амортизацію руху через напрямне колесо та здатність траків підлаштовуватися під ґрунт. Такі фактори компенсують більшу частину нерівномірності оберту.

Результати розрахунків нерівномірних обертів гусеничного рушія занесені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків нерівномірних обертів

Вхідні данні	
Абсолютна швидкість ( $v_A$ ), км/хв	7,2
Довжина стрічки ( $l$ ), см	540
Оберти двигуна ( $n_{об}$ ), об/хв	1500
Величення кроку траку ( $t_{в.ш}$ ), см	12
Розраховані данні	
Період нерівномірних обертів ( $T_{ноб}$ ), хв	0,0013
Кількість зубів ведучого колеса ( $Z_K$ )	8

#### 3.2.4 Розрахунки теоретичного руху гусеничного рушія

Теоретична швидкість ( $v_T$ ) руху гусеничного рушія – це значення швидкості, розраховано теоретично на основі вхідних параметрів, які впливають на рух в даний період часу [30]. Це значення обчислюється за допомогою формули:

$$v_T = \omega_K r, \quad (3.13)$$

де  $\omega_K$  – кутова швидкість ведучого колеса, об/хв;

$r$  – радіус ведучого колеса, см.

Один повний оберт ведучого колеса повинен дорівнювати сумарну довжину траків гусеничної стрічки. Тобто:

$$2\pi r = t_{\text{в.ш}} Z_K. \quad (3.14)$$

З рівняння (3.14) можна вивести:

$$r = \frac{t_{\text{в.ш}} Z_K}{2\pi}. \quad (3.15)$$

Кутова швидкість ( $\omega_K$ ) розраховується:

$$\omega_k = \frac{2\pi n_{\text{об}}}{60}. \quad (3.16)$$

Враховуючи вирази (3.15) та (3.16), то теоретична швидкість ( $v_T$ ) буде обчислюватись

$$v_T = \frac{2\pi n_{\text{об}}}{60} \cdot \frac{t_{\text{в.ш}} Z_K}{2\pi}. \quad (3.17)$$

Розрахунки теоретичного швидкості ( $v_T$ ) гусеничного рушія занесені в таблицю 3.4

Таблиця 3.4 – Результати розрахунків нерівномірних обертів

Вхідні данні	
Радіус ведучого колеса ( $r$ ), см	15,5
Довжина стрічки ( $l$ ), см	540
Оберти двигуна ( $n_{об}$ ), об/хв	1500
Величення кроку траку ( $t_{в.ш}$ ), см	12
Розраховані данні	
Теоретична швидкість ( $v_T$ ), км/ч	9,6

### 3.2.5 Розрахунки балансу при нахилі з ґрунтом гусеничного рушія

Коли роботизована платформа рухається вгору або боком так, що один гусеничний рушій вище за інший, у такому випадку на неї починає впливати зовнішні сили [30]. До сил, що впливали при горизонтальному русі, додаватимуться нові. Крім того, буде враховуватися сила інерції, та розподіл ваги та сили тяжіння, які направлені паралельно до опорної поверхні (рис. 3.7 – рис. 3.8).

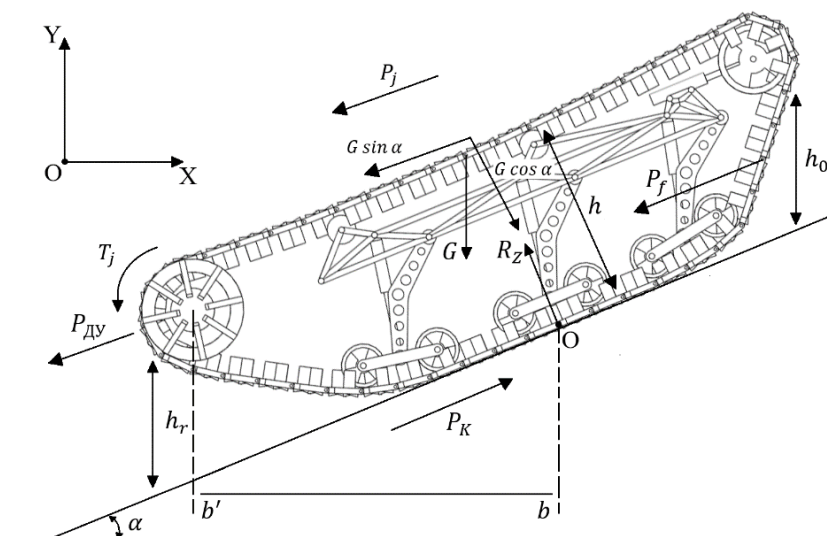
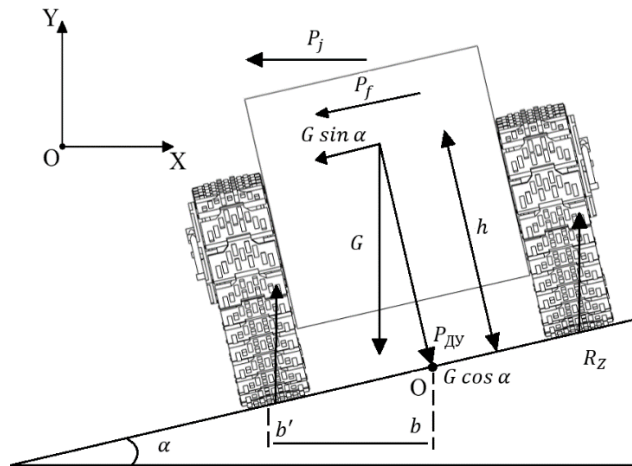


Рисунок 3.7 – Схема нахилу вперед гусеничного рушія



$G$  – вага роботизованої платформи, кг;

$R_z$  – реакція ґрунту на опору поверхні гусеничного рушія;

$R$  – реакція передньої частини рушія в результаті взаємодії з ґрунтом;

$P_{дy}$  – тягова сила причіпної допоміжної установки, N;

$P_f$  – сила опору, зовнішніх факторів, N;

$b, b'$  – зміщення через нахил

Рисунок 3.8 – Схема нахилу вбік гусеничного рушія

Реакція ґрунту на опору поверхні гусеничного рушія ( $R_z$ ), змінюється відповідно модельованому ландшафту. Проаналізуємо рівняння для встановлення сил рівноваги по осях  $X$  і  $Y$ , а також рівноваги моментів щодо точки  $O$ :

$$\Sigma Y = 0, R_z - G \cos \alpha = 0, \quad (3.18)$$

$$\Sigma X = 0, P_K - G \sin \alpha - P_j - P_f - P_{дy} = 0, \quad (3.19)$$

$$\Sigma T_0 = 0, Gb \cos \alpha - Gh \sin \alpha - P_j h - P_f h_0 - P_{дy} h_r - R_z b - T_j = 0. \quad (3.20)$$

З виразів (3.35) та (3.36) можна визначити координату  $b'$ , яка повинна відповідати нормалі реакції ( $R_Z$ ),

$$b' = \frac{Gb \cos \alpha - (G \sin \alpha + P_j)h - P_f h_0 - P_{\text{Ду}} h_r - T_j}{G \cos \alpha}. \quad (3.21)$$

З виразу (3.38) можна зробити висновок, що чим більша тяги допоміжної установки тим швидше точка прикладання реакції ( $R_Z$ ) зсувається, тобто при нерухомій конструкції  $b \Rightarrow b'$ .

Рівняння рівноваги сил, що діють паралельно осі  $x$ , називається рівнянням тягового балансу. Воно записується так:

$$P_K = P_f + G \sin \alpha + P_j + P, \quad (3.22)$$

або

$$P_K = fG \cos \alpha + G \sin \alpha + P_{\text{Ду}} + m \frac{dv_T}{dt}, \quad (3.23)$$

де  $m$  – маса роботизованої платформи;

$v_T$  – тестова швидкість;

$f$  – коефіцієнт опору ковзання.

Результати роботи продемонстровано на рис. 3.9, рис 3.10 та 3.11.

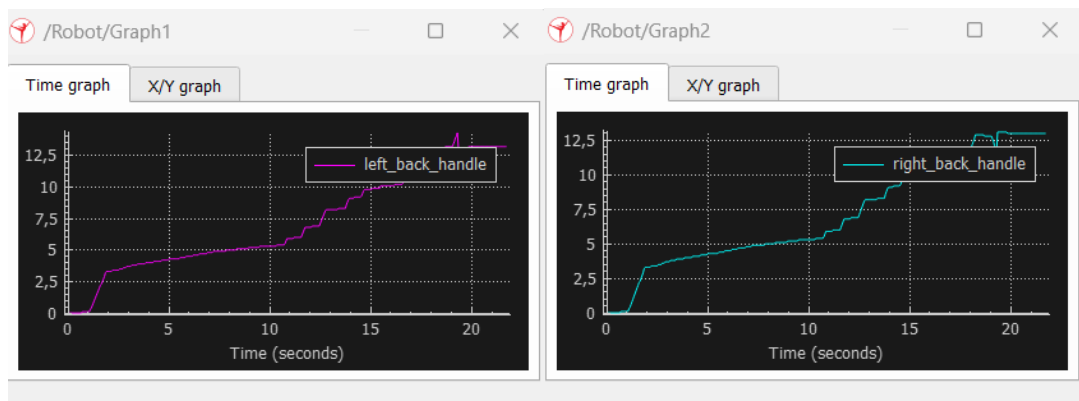


Рисунок 3.9 – Графік гусеничного рушія при заїзді нахилу вперед

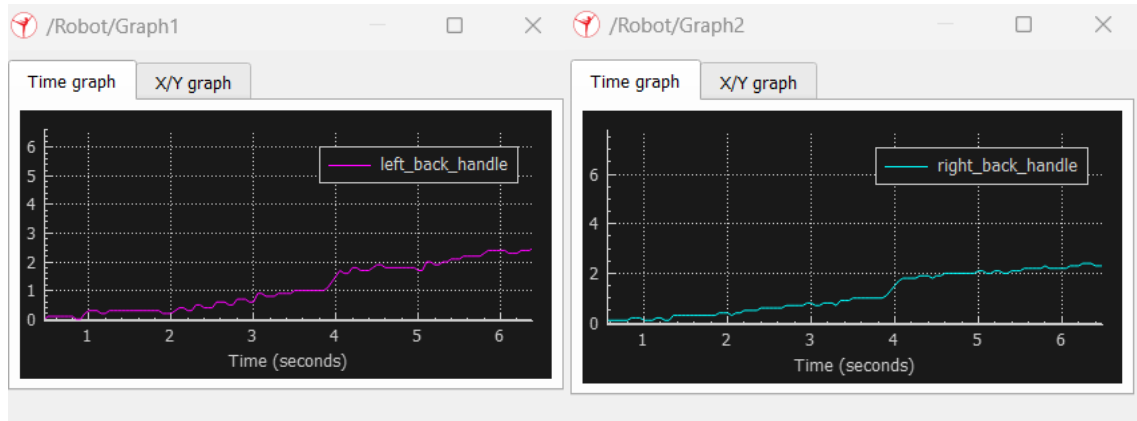


Рисунок 3.10 – Графік гусеничного рушія при заїзді нахилу вбік

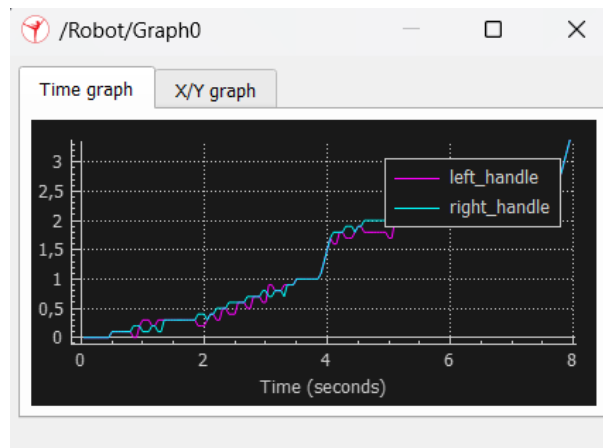


Рисунок 3.11 – Загальний графік гусеничних рушіїв при заїзді нахилу вбік

### 3.2.6 Розрахунки поворотів гусеничного рушія

При тестуванні моделі роботизованої платформи було розглянуто два потенційних типи повороту: поворот на місці (обертвий), та поворот з використанням двох сил — поступальної та обертової [30].

Під поворотом на місці (обертвий) розуміється випадок, коли один гусеничний рушій рухається з постійною тестовою швидкістю, а другий рухається зі зворотною пропорційністю до першого (рис. 3.12).

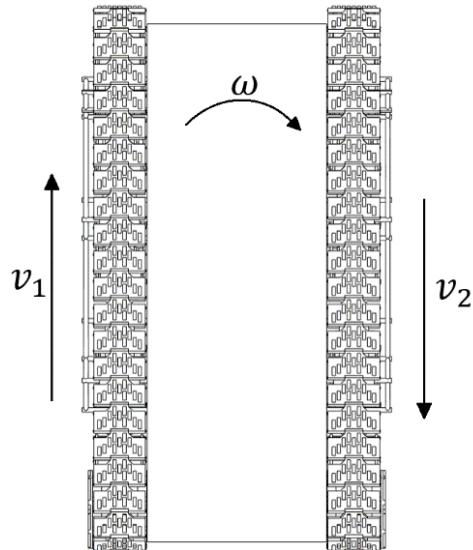


Рисунок 3.12 – Схема повороту на місці

Кутова швидкість повороту на місці:

$$\omega = v_1 = -v_2, \quad (3.24)$$

де  $v_1$  та  $v_2$  – теоретична швидкість рушія  $v_T$ .

Результати роботи представлені на рисунках 3.13 і 3.14. На цих зображеннях можна спостерігати поворот на місці, що дозволяє зробити висновок про те, що швидкість одного рушія є протилежною за напрямком до швидкості іншого.

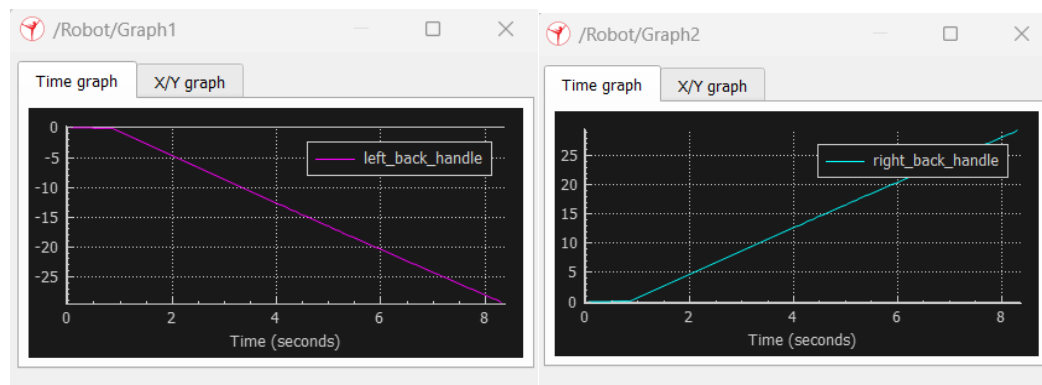


Рисунок 3.13 – Графік гусеничного рушія при повороті на місці

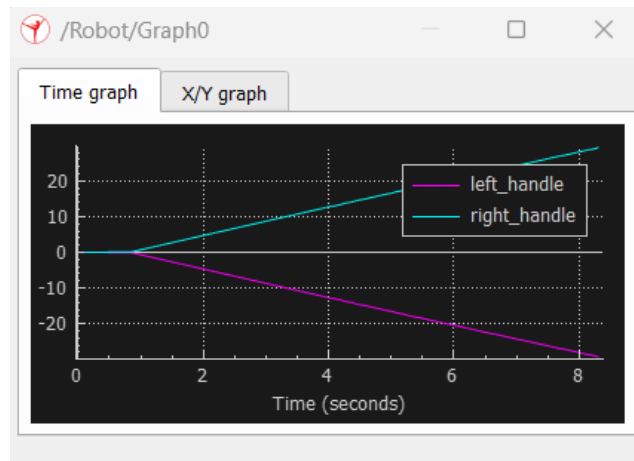


Рисунок 3.14 – Загальний графік гусеничного рушія при повороті на місці

Кутова швидкість платформи, яка має постійний радіус кривини при теоретично можливій поступальній швидкості центру мас. Точка  $O$  центру повороту розташована поперечно віддалено від центру гусеничних рушіїв (рис. 3.15).

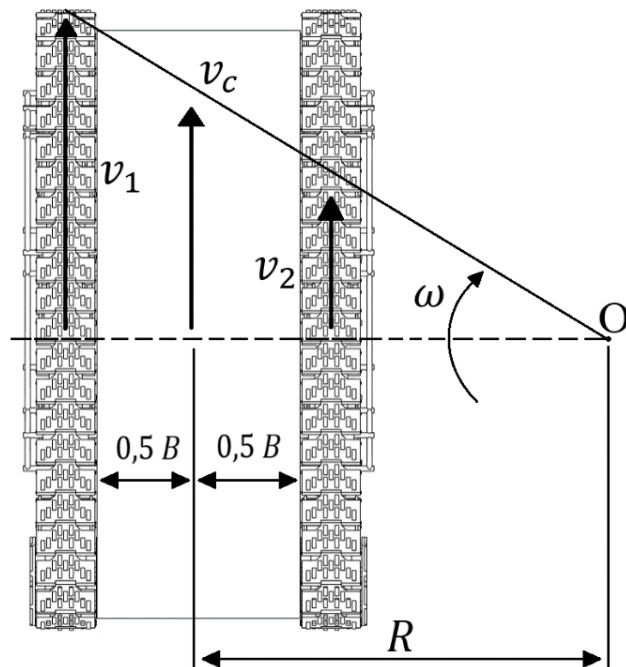


Рисунок 3.15 – Схема повороту з постійним радіусом

Кутова швидкість повороту з використанням двох сил:

$$\omega = \frac{v_c}{R}, \quad (3.25)$$

де  $v_c$  – середнє поступальна швидкість  $v_1$  та  $v_2$ ;

$R$  – радіус повороту центра точки  $O$ .

Швидкості гусеничного рушія  $v_1$  та  $v_2$  при повороті з використанням двох сил можна розрахувати наступним чином:

$$v_1 = \omega_1(R + 0,5B), \quad (3.26)$$

$$v_2 = \omega_2(R - 0,5B), \quad (3.27)$$

де  $B$  – колія роботизованої платформи.

Результати обертання з постійним радіусом представлені на рисунках 3.16 і 3.17. За допомогою цих зображень можна встановити, що завдяки радіусу швидкість змінюється згідно з параболічною кривою.

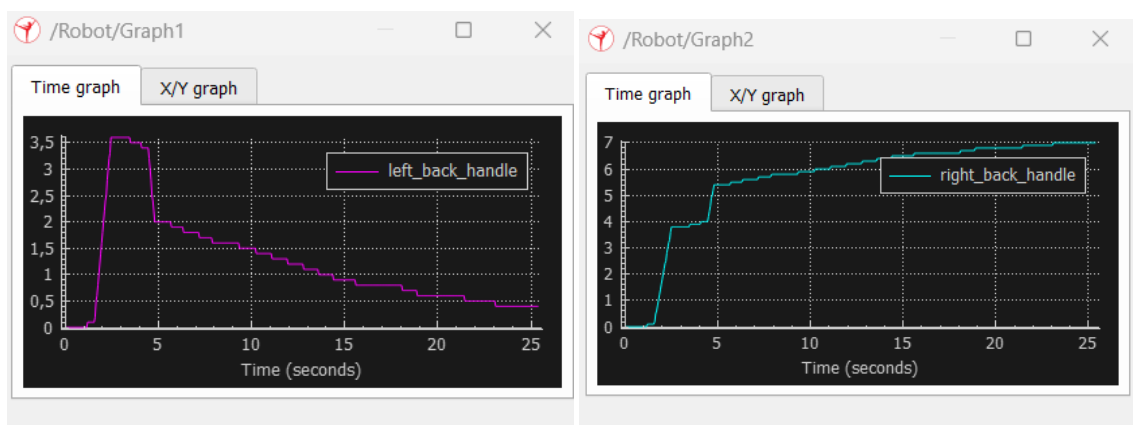


Рисунок 3.16 – Графік гусеничного рушія при повороті з постійним радіусом

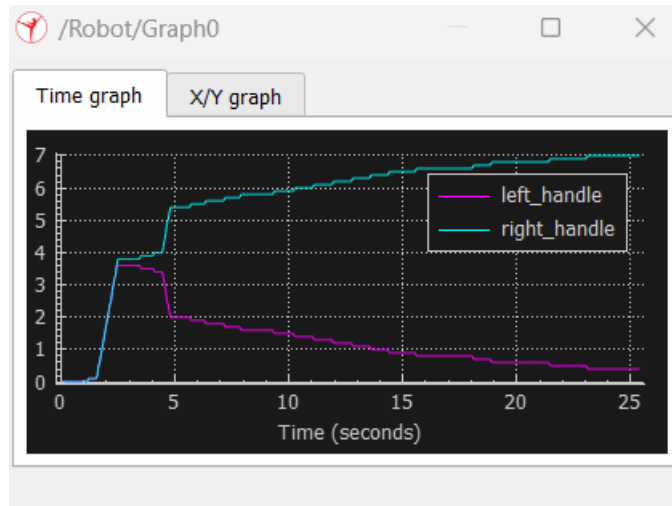


Рисунок 3.17 – Загальний графік гусеничного рушія при повороті з постійним радіусом

### 3.2.7 Розрахунки характеристик роботизованої платформи

Для більш конкретного розуміння можливостей роботизованої платформи, було проведено теоретичні розрахунки її характеристик. Завдяки аналізу двигунів, які доступні в мережі інтернет [31], та розрахункам гусеничного рушія, ми маємо необхідні вхідні дані для проведення цих розрахунків. Цей розділ містить розрахунки години роботи, площу розмінування та відстань, яку може пройти платформа.

Під час гуманітарного розмінування швидкість платформи зменшується від початкової (приблизно на 1/4 від теоретичної) через вплив сили тяги та опору. У результаті швидкість розмінування ( $v_{TP}$ ) буде дорівнювати 4 км/год

Мінімальна година ( $t_{min}$ ) роботи платформи при гуманітарному розмінуванні визначається оптимальними витратами палива двигуном ( $Q_{min}$ ) та об'ємом бака ( $V$ ):

$$t_{min} = \frac{V}{Q_{min}}. \quad (3.28)$$

Максимальна година ( $t_{max}$ ) роботи платформи при гуманітарному розмінуванні визначається максимально можливими витратами палива двигуном ( $Q_{max}$ ) та об'ємом бака ( $V$ ):

$$t_{max} = \frac{V}{Q_{max}}. \quad (3.29)$$

Завдяки розрахункам максимальної та мінімальної години роботи теоретично можна визначити мінімально та максимально можливу довжину шляху ( $s$ ) руху роботизованої платформи:

$$s_1 = t_{min} \cdot v_{TP}, \quad (3.30)$$

$$s_2 = t_{max} \cdot v_{TP}, \quad (3.31)$$

де  $t_{min}$  та  $t_{max}$  – години роботи, г;

$v_{TP}$  – швидкість розмінування, км/г.

Визнавши довжину шляхів можна розрахувати теоретичну можливу площину розмінування ( $S$ ). Мінімально та максимально можлива площина розмінування:

$$S_{min} = s_1 \cdot a, \quad (3.32)$$

$$S_{max} = s_2 \cdot a, \quad (3.33)$$

де  $s_1$  та  $s_2$  – довжина шляху, м;

$a$  – ширина робочої зони, м.

Результати теоретичних розрахунків характеристик роботизованої платформи наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунки характеристик роботизованої платформи.

Вхідні данні	
Теоретична швидкість ( $v_T$ ), км/Г	9,6
Швидкість розмінування ( $v_{TP}$ ), км/Г	4
Об'єм бака ( $V$ ), л	200
Мінімальні витрати палива ( $Q_{min}$ ), л/Г	19
Максимальні витрати палива ( $Q_{max}$ ), л/Г	25
Ширина робочої зони ( $a$ ), м	1,45
Розраховані данні	
Мінімальний час роботи ( $t_{min}$ ), Г	8
Максимальний час роботи ( $t_{max}$ ), Г	10,5
Мінімально можливий шляху, ( $s_1$ ) км	32
Максимально можливий шляху, ( $s_2$ ) км	42
Мінімально можлива площа розмінування ( $S_{min}$ ), м <sup>2</sup>	46000
Максимальна можлива площа розмінування ( $S_{max}$ ), м <sup>2</sup>	52000

### 3.3 Розробка схем та алгоритмів для гуманітарному розмінуванні

#### 3.3.1 Розробка структурних схем платформи при розмінуванні

Проектування роботизованої платформи базується на врахуванні умов роботи на конкретній території. Наприклад, розробка залежить від різних умов роботи, таких як ландшафт, покриття та потенційні перешкоди. Враховуючи на особливості середовища, призначеного для гуманітарного розмінування, була розроблена структура схема роботи роботизованої платформи. Ця

структура була адаптована до особливостей замінованих територій, поля та полісся (рис. 3.18).

Керування платформою було розділено для полегшення розуміння його принципів. Система розділеного керування дозволяє краще розуміти взаємодію між її компонентами, параметрами та ВВП. Ця система забезпечує можливість окремого дистанційного керування рухом платформи та роботою допоміжних установок. Оператор може спостерігати за роботою платформи з безпечної відстані за допомогою камер спостереження, встановлених безпосередньо на платформі.

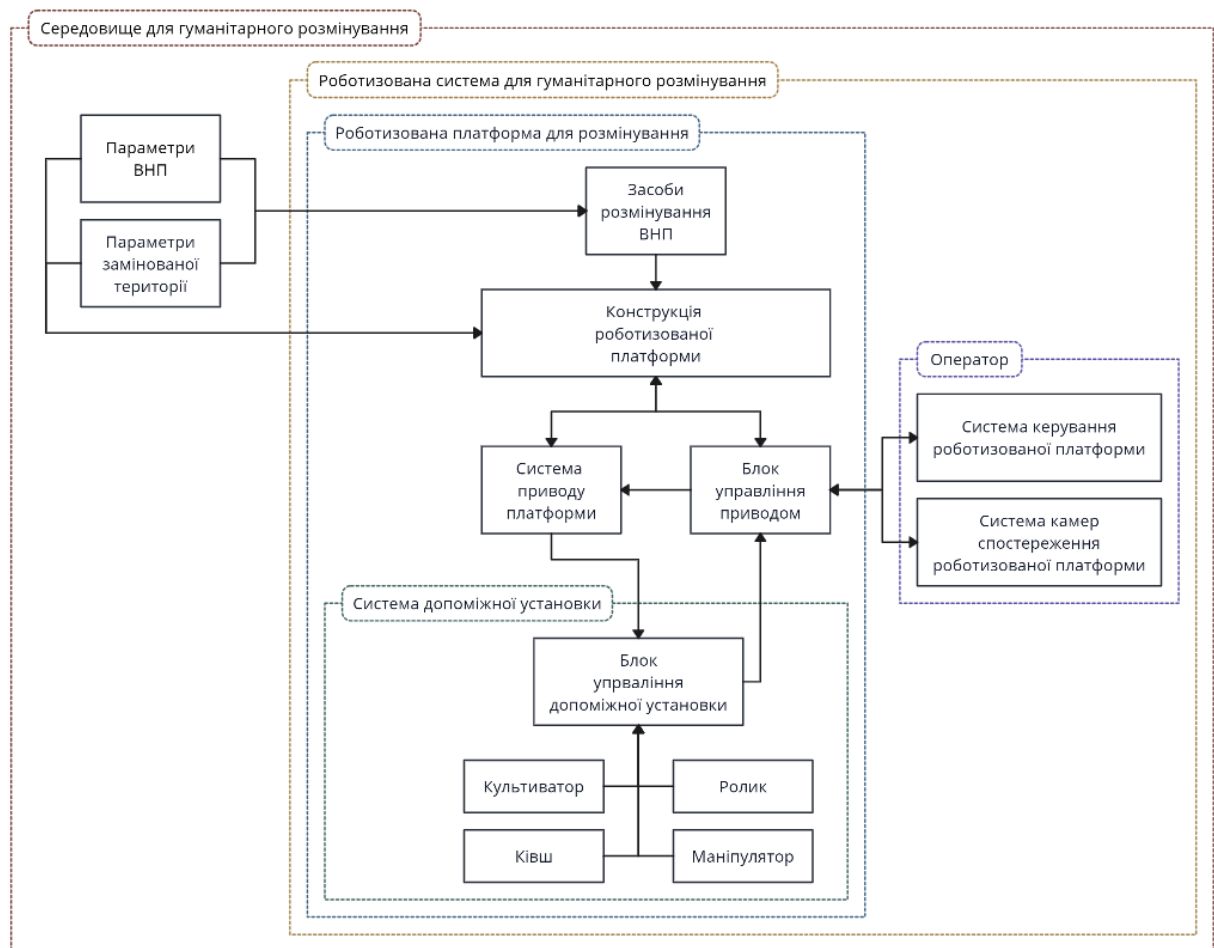


Рисунок 3.18 – Архітектура роботизованої системи

Структура управління роботизованої платформи включає пульт керування з різними елементами управління та екраном для спостереження.

Пульт керування включає три системи управління: систему керування рухом, систему керування допоміжною установкою та систему керування камерами, для кожної з яких на пульту передбачені відповідні маніпулятори.

Інтерфейс для віддаленого керування роботизованою платформою надає оператору можливість взаємодіяти з нею на відстані. Він дозволяє керувати рухом, виконувати дії з допоміжними установками та спостерігати за процесами без присутності оператора на платформі, що забезпечує безпеку та зручність управління. Крім цього, інтерфейс дозволяє контролювати стан системи за допомогою програмної частини, Він дозволяє операторові знати чи синхронізована платформа з пультом, знаходити місцеперебування платформи, спостерігати за навколишньою територією (рис. 3.19).

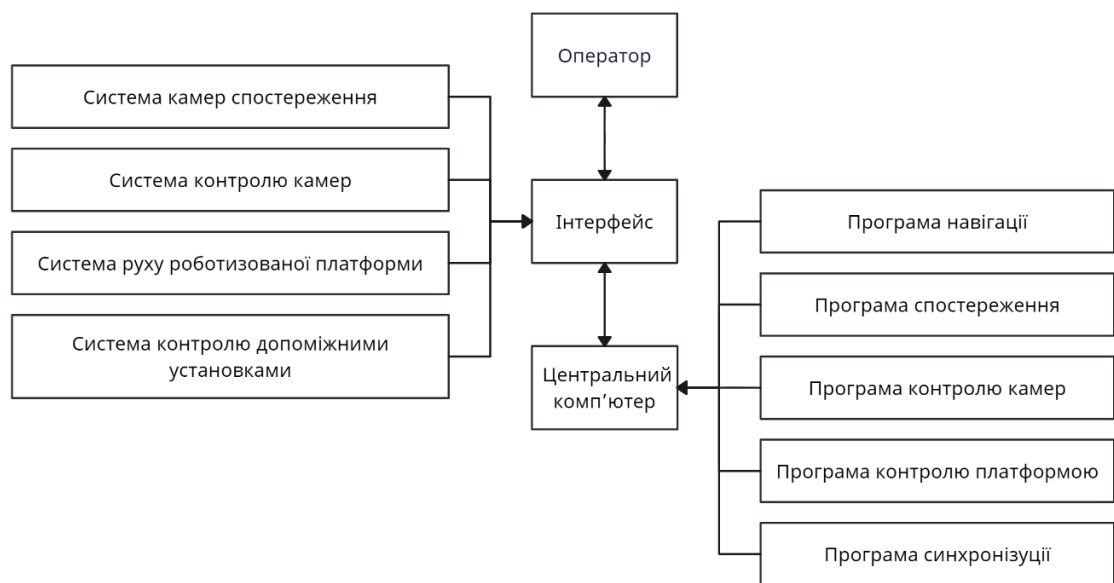


Рисунок 3.19 – Схема управління роботизованої платформи

### 3.3.2 Розробка алгоритму гуманітарного розмінування для визначеної території

Алгоритму демонструє послідовність дій при розмінуванні території, На ньому видно що більша частина роботи оператора складається в точному контролі руху та спостереження за територією (рис. 3.20).

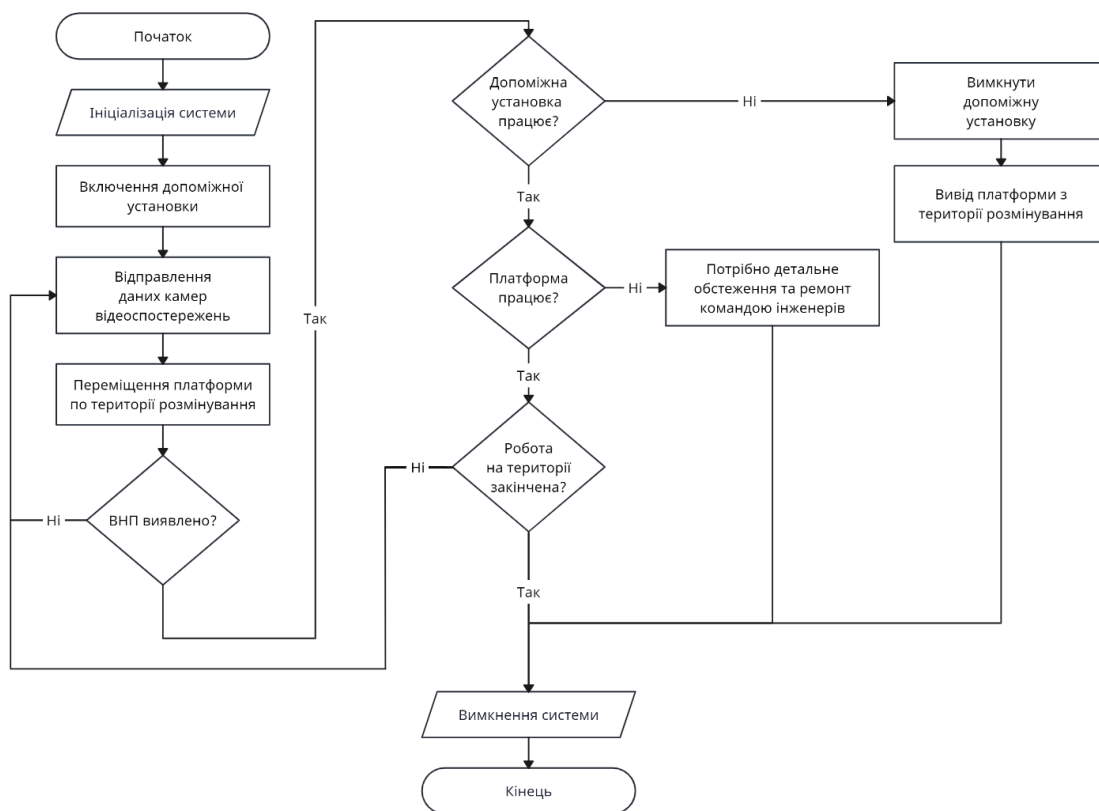


Рисунок 3.20– Алгоритм руху

Послідовність дій оператора при гуманітарному розмінуванні складає:

а) оператор активує пульт управління, роботизовану платформу та допоміжну установку;

б) завдяки контролеру управляє рухом платформи та допоміжної установки. Платформа рухається вперед, а допоміжна установка взаємодіє з ґрунтом і проводить розмінування території;

в) ведеться спостереження за роботою платформи та допоміжної установки. Якщо ВНП спрацював, в такому випадку є три варіанти розвитку подій:

1) якщо установка спрацювала, і немає видимих пошкоджень. Роботу гуманітарного розмінування продовжують;

2) якщо пошкоджена допоміжна установка, а головна частина платформи, особливо гусеничні рушії, залишилися цілі. Потрібно відключити

допоміжну установку, підняти її (якщо це можливо) та виїхати із замінованої зони в безпечну для подальшого;

3) якщо пошкоджена не лише допоміжна установка, а й гусеничний рушій. Разом з групою механіків вирушити до платформи, оцінити пошкодження на місці, якщо ситуація на території не є загрозливою для людей. По можливості рухатися по вже розмінованій території для уникнення непередбачуваних ситуацій.

### 3.3.3 Розробка шляхів розмінування

На модельній замінованій території виконували тестування маршрутів руху роботизованої платформи. Ці маршрути були складені для охоплення та безпечного розмінування окремих зон. Робота платформи включає формування безпечних коридорів, що забезпечують безпечний прохід для інших об'єктів.

Простий тестовий маршрут платформи складається з прямої лінії. Рух вперед є дуже швидким та ефективним способом створення прохідного коридору. Ширина такого коридору достатня для проїзду легкового автомобіля або для проходу трьох людей.

Розглянемо два маршрути на тестовій території типу поля для розмінування. Зигзагоподібний рух роботизованої платформи - це тип руху, при якому платформа просувається по траєкторії, яка складається з послідовності змін напрямку, рухаючись від одного боку поля до іншого. Цей тип руху охоплює широку територію, включаючи вже розміновані ділянки для подальшої перевірки (рис. 3.21).

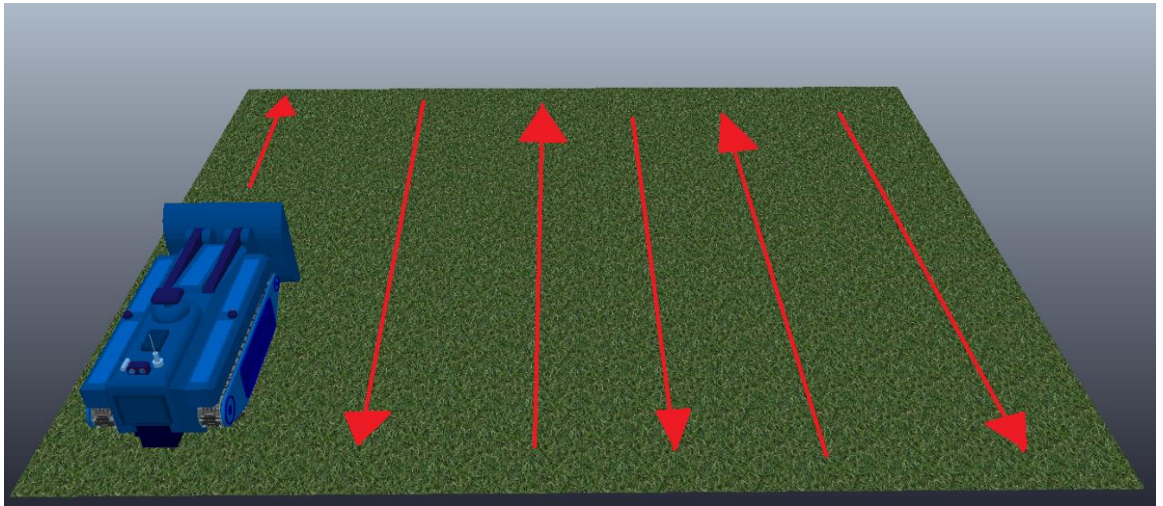


Рисунок 3.21 – Зигзагоподібний рух роботизованої платформи

Спірально подібний рух роботизованої платформи – це рух, під час якого платформа просувається по траєкторії, яка поступово змінює напрямок всередину, утворюючи спіраль. Такий тип руху дозволяє візуально окреслити територію та плавно її охоплювати, звертаючи увагу на окремі сегменти для проведення розмінування. Розділення на сегменти сприяє швидшій та більш точній роботі з потенційно небезпечними ділянками (рис. 3.22).

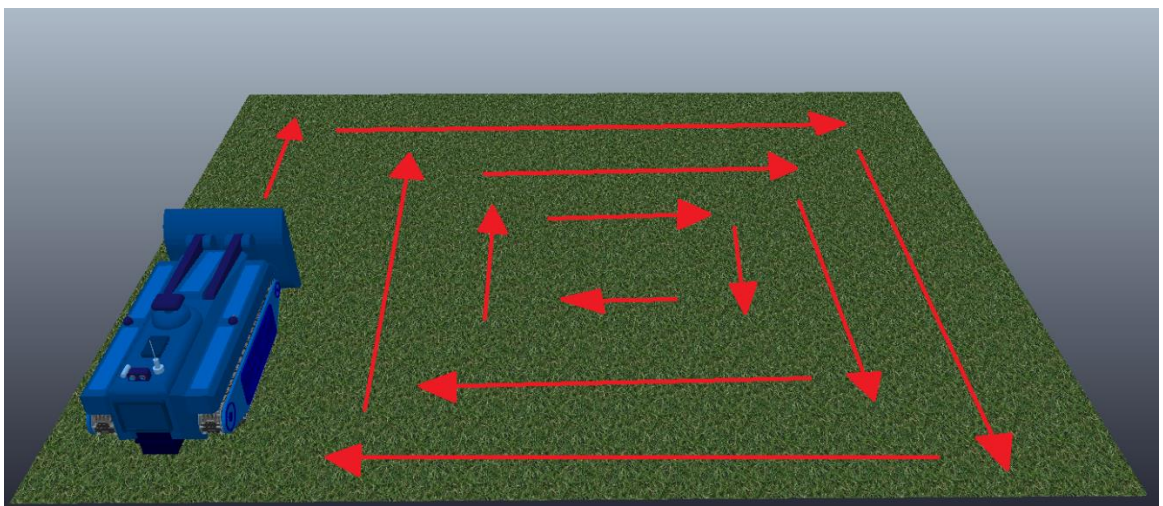


Рисунок 3.22 – Спіральноподібний рух роботизованої платформи

Маршрут роботи на територіях з великою кількістю об'єктів визначає сам оператор. Він використовує камери для спостереження та аналізу в реальному часі. Особливу увагу приділяє ділянкам, які вирізняються на фоні, таким як зони полів та полісся, де може бути обмежена видимість через трав'янисту рослинність, ями та земляні насипи, а також враховується наявність дерев і кущів. Оператор відповідає за спостереження за всім цим.

### 3.4 Висновки до третього розділу

У цій частині роботи розглядаються процеси гуманітарного розмінування з використанням роботизованої платформи. Описано моделі територій, проведені розрахунки характеристик платформи та її функціонування на замінованих територіях.

Представлена модель тестової території та об'єкти, які її доповнюють. Тестова територія має змінні параметри, що дозволяє експериментувати з різноманітними ландшафтами та розташуванням перешкод.

Завдяки вибору розмірів та матеріалів, який був обраний після аналізу подібних систем, були розраховані теоретичні параметри. Це дозволило точніше моделювати роботу гуманітарного розмінування з фізичної точки зору.

Оцінено фізичні можливості роботизованої платформи, визначена тестова швидкість та розраховано її поведінку на різних нахилах ландшафту та в різних сценаріях. В результаті були отримані максимальні та мінімальні параметри, такі як максимальний та мінімальний можливий час роботи та пройдений шлях.

Для кращого розуміння внутрішньої структури системи були створені моделі роботи та управління роботизованою системою для гуманітарного розмінування.

Також описано алгоритм роботи та поведінку в небезпечних територіях, а також можливі сценарії при спрацьовуванні вибухонебезпечних предметів.

Проведено опис маршрутів для територій, які включають чотири типи маршрутів: Простий, зигзагоподібний, спіральноподібний та вільний. Кожен з них має свої відмінності та особливості.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Охорона праці при проведенні гуманітарного розмінування роботизованою платформою

Охорона праці являється комплексом заходів, спрямована для уникнення будь-яких ситуацій які загрожують безпеки та здоров'я людям під час виконання робіт. Охорона праці проведення гуманітарного розмінування – це набір заходів, які містять організаційні, технічні, медичні та інші заходи, спрямованні на попередження травм, захист від шкідливих факторів, уникнення професійних помилок та забезпечення безпеки працівників під час проведення гуманітарного розмінування [32].

Одна з важливих частин охоронної праці створити безпечні умови праці, але працюючи з ВВП це великий ризик для життя тому потрібно дотримуватись відповідних правил та інструкцій з безпеки для запобігання небажаних зривів та пов'язаних з ним травмам, які можуть бути не сумісні с життям.

Також охорона праці містить в собі навчання працівників правилам безпеки, надання спеціального обладнання, надання спорядження індивідуального захисту, регулярні перевірки платформи та території відповідно правилам безпеки при роботі.

Охорона праці для роботизованої платформи при гуманітарному розмінуванні є дуже серйозною. Їх недотримання може призвести до серйозних наслідків. Тому для забезпечення безпеки персоналу, операторів та навколишньої території їх потрібно дотримуватись. Основні аспекти охорони праці, які необхідно враховувати при роботі з роботизованою платформою для гуманітарного розмінування, включають такі як:

– навчання та підготовка: забезпечити персонал відповідними робочими інструкціями. Навчити та підготувати персонал до праці з експлуатацією

роботизованої платформи, включаючи знання про використання пульта керування, роботу з допоміжним обладнанням, безпеку при маніпулюванні та обслуговуванні платформи, а також реагування на аварійні ситуації. Користування захисними заходами та відповідними навичками їх використання;

– використання захисного обладнання: забезпечення персоналу відповідним захисним обладнанням. Якщо трапиться так що працівнику потрібно буде контактувати з небезпечними об'єктами, то він повинен буди в захисному костюмі, рукавиці, окуляри та головні убори для запобігання можливим травмам;

– стандарти безпеки: дотримання всіх відповідних стандартів та правил безпеки, які регулюються місцевими, національними та міжнародними організаціями;

– оцінка загроз та ризиків: перед початком роботи провести огляд території, визначити оцінку загроз та ризиків для визначення потенційних небезпек (присутність нехарактерних об'єктів та змін в середовищі) та уточнення дій перед роботою з платформою на небезпечній території;

– контроль середовища: постійний моніторинг при роботі забезпечує контроль за роботизованою платформою та навколишні території для перевірки можливих ризиків та корегування дій при їх наявності;

– технічне обслуговування: проводити регулярне технічне обслуговування та перевірка платформи перед роботою для виявлення можливих дефектів або поломок, що можуть призвести до небезпечних ситуацій;

– надзвичайні ситуації та аварії: розробка та впровадження процедур безпеки, сценарію дій при спрацьовуванні ВВП та аварійного вимкнення для мінімізації можливих ризиків під час експлуатації платформи;

– документування і відповідальність: забезпечити документацію про заходи безпеки, залучення персоналу до дотримання норм безпеки та відповідальних за ці процедури;

– співпраця з відповідними органами та експертами: у випадку потреби, співпрацювати з експертами з охорони здоров'я та безпеки, а також з місцевими органами влади для розв'язання питань безпеки при роботі на замінованих територіях такими як ДСНС.

Погодні умови значно впливають на роботу роботизованої платформи під час розмінування. Наприклад, сильний вітер може перешкоджати роботі системи, особливо при збиранні даних з сенсорів або камер. Туман або сильний дощ можуть знизити видимість, що ускладнює роботу установки та розмінування території. Також, грозові умови часто змушують призупиняти роботу з метою безпеки персоналу та обладнання. Негативний вплив може виникнути від екстремальних температур – як високих, так і низьких. Наприклад, екстремальний спекотний день може спричинити перегрів обладнання, тоді як низькі температури можуть вплинути на роботу акумуляторів, що обмежить тривалість роботи установки.

#### 4.2 Висновки до четвертого розділу

У цьому розділі було проведеного аналізу правил охорони праці для персоналу, зайнятого на роботі з роботизованою платформою для гуманітарного розмінування, були розроблені та включені аспекти. При врахуванні аспектів охоронної праці та їх дотримання допоможе забезпечити безпечність та оптимальність роботи з роботизованою платформою під час гуманітарного розмінування.

Врахування погодних умов виявилось ключовим елементом, оскільки певні атмосферні умови можуть ускладнювати або навіть перешкоджати безпечній та ефективній роботі платформи. Крім того, відповідно до аналізу, можливі погодні умови можуть впливати на роботу, ускладнюючи проведення операцій в зоні розмінування. Тому наявність поганих погодних умов може вимагати зміни стратегії або робочого графіку для досягнення безпечного та успішного гуманітарного розмінування.

## ВИСНОВКИ

Мета магістерської роботи полягала в проведенні 3D-моделювання роботизованої платформи для гуманітарного розмінування. Під час виконання магістерської роботи, що базується на глибокому аналізі та дослідженні в цій сфері, було поставлено й виконано ряд завдань, серед яких:

- дослідження сучасного стану роботизованих платформ для гуманітарного розмінування та методи їх взаємодій з ВНП;
- розробка моделі конструкцій роботизованої платформи та допоміжних пристроїв для гуманітарного розмінування;
- створення середовища та тестової території з метою підвищення реалізму під час тестування в гуманітарному розмінуванні;
- розробка структур, алгоритмів та маршрутів роботи роботизованої платформи для ефективного гуманітарного розмінування.

Під час виконання дослідження було проведено аналіз роботизованих платформ, які використовують для розмінування небезпечних територій. У рамках цього дослідження була проведена класифікація різних типів роботизованих платформ та визначено їх основні сфери застосування.

Проаналізовано загальні характеристики вибухонебезпечних предметів та сучасні методи процесу розмінування ВНП. Також було виконана порівняльна оцінка систем властивостей виявлення ВНП, результати ефективності порівняння було занесено у таблиці.

Розроблено конструкцію роботизованої платформи, яка містить в себе гусеничні рушії для маневреності та стійкості, камери спостереження для візуального контролю, броньовані пластини для максимального захисту від ВНП, антена для віддаленого контролю та компоненти допоміжного призначення.

Для повноцінного функціонування системи також було розроблено чотири типи допоміжних установок: культиватор, ролик, ківш та

маніпулятивний хват. Кожен з цих пристроїв має свої унікальні переваги та обмеження, але в поєднанні з роботизованою платформою утворює потужну та комплексну систему для безпечного гуманітарного розмінування.

Також, для тестування моделі роботизованої платформи, була спеціально створена територія з можливістю налаштувань різноманітних параметрів: розмірів, рельєфу та ландшафту. На цій території були розміщені спеціальні об'єкти, які створювались як перешкоди для більш реалістичного моделювання маневреності платформи. Налаштування властивостей території та розміщення об'єктів дозволило провести більш докладне тестування роботи платформи, що сприяло поліпшенню її функціональних можливостей.

Додатково було створено структурні схеми роботизованої системи для гуманітарного розмінування та управління роботизованою платформою. Крім того, був розроблений алгоритм, який описує послідовність дій та прийняття можливих рішень під час роботи розмінування. Також були запропоновано моделі маршрутів руху з метою створення безпечних зон та оптимізації руху платформи в умовах гуманітарного розмінування.

Підсумовуючи висновки для досягнення мети магістерської роботи, були виконані наступні завдання:

- проаналізовано сучасного стану роботизованих платформ для гуманітарного розмінування;
- проаналізовано характеристики вибухонебезпечних предметів та методи їх виявлення;
- розроблено конструкцію 3D модель роботизованої платформи;
- розроблено чотири типи допоміжних установок: культиватор, ролик, ківш та маніпулятивний хват;
- створено територія з можливістю налаштувань різноманітних параметрів для тестування моделі;
- створено структурні схеми роботизованої системи для гуманітарного розмінування та управління роботизованою платформою;

– розроблений алгоритм, який описує послідовність роботи під час гуманітарного розмінування;

– розроблено моделі маршрутів руху з метою створення безпечних зон та оптимізації руху платформи в умовах гуманітарного розмінування.

Отримані під час дослідження результати відкривають перспективу для створення фізичної моделі роботизованої платформи, спрямованої на спеціалізовані завдання у галузі гуманітарного розмінування. Ця робота може допомогти при розробці безпечних систем для розмінування, зменшуючи реальний ризик та підвищуючи точність процесу.

## 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. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с.
3. Закон України «Про вищу освіту» зі змінами 2022 рік №1556-VII від 01.07.2014, редакція від 01.01.2022. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>. (дата звернення 25.10.2023).
4. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [Електронний ресурс] : Режим доступу: [https://nure.ua/wp-content/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/polozhennja-proorganiza-ciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-proorganiza-ciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf). (дата звернення: 25.10.2023).
5. Методичні вказівки до підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та роботехнічні системи» / упоряд. : І.Ш. Невлюдов, Р.В. Артюх, В.В. Безкоровайний, Н.П. Демська, В.В. Євсєєв, О.І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків : ХНУРЕ, 2021. 55 с. (дата звернення: 25.10.2023).
6. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: довід. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. К.: Київ-56, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. 320 с. (дата звернення: 25.10.2023).
7. Положення про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ / nure.ua. URL: [https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main\\_Docs\\_NURE/polozhennjaproakademichnu-dobrochesnist.pdf](https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennjaproakademichnu-dobrochesnist.pdf) (дата звернення: 25.10.2023).

8. Чеснаков Б.О. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.].Харків : ХНУРЕ, 2023. Вип. 1. 135 – 138 с.

9. Nevliudov I., Yanushkevych D., Ivanov L. (2021). Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian mining. Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62), 47-52. (дата звернення: 28.10.2023).

10. Аналіз виконання робіт щодо очищення території України від вибухонебезпечних предметів у 2021 році. [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://dsns.gov.ua/protiminna-diyalnist/gumanitarne-rozminuvannya> (дата звернення: 28.10.2023).

11. 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. (дата звернення: 28.10.2023).

12. Щодо розмінування підрозділами ДСНС території України URL: <https://dsns.gov.ua/map-demining> [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: (дата звернення: 30.10.2023).

13. Вибухонебезпечні предмети. [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://www.chnu.edu.ua/universytet/vazhlyvo/bezpeka/vybukhonebezpechni-predmety> (дата звернення: 30.10.2023).

14. Міни проти людей. Основні типи протипіхотних мін. [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://imi.org.ua/advice/miny-proty-lyudej-osnovni-typy-protypihotnyh-min-i54538> (дата звернення: 1.11.2023).

15. Міни проти машин. Небезпека для людей. [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://imi.org.ua/advice/miny-proty-mashyn-chomu-vony-nebezpechni-dlya-lyudej-i54684> (дата звернення: 1.11.2023).

16. Тюрін В. В., Гогоняц С. Ю. Бомба авіаційна // Велика українська енциклопедія. [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: [https://vue.gov.ua/Бомба авіаційна](https://vue.gov.ua/Бомба_авіаційна) (дата звернення: 1.11.2023).

17. Сервіс протимінної діяльності ДСНС. [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://mine.dsns.gov.ua/> (дата звернення: 1.11.2023).

18. Ручні осколочні гранати [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: [https://sprotyvg7.com.ua/lesson/ruchni -oskolkovi-granati](https://sprotyvg7.com.ua/lesson/ruchni-oskolkovi-granati) (дата звернення : 1.11.2023).

19. Монофункціональна роботизована система MV-4. Міцність перевірена на дії. // [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://dok-ing.hr/defence-security/mv-4>. (дата звернення: 2.11.2023).

20. Ukrspecsystems безпілотник для розвідки Mini Shark. // [Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: [MINI\\_SHARK\\_UAS -Ukrspecsystems granati](#) (дата звернення: 2.11.2023).

21. Falcon. The professional portable underwater vehicle. // Електронний ресурс] : Режим доступу: URL: <https://www.saabseaeye.com/solutions/underwater-vehicles/falcon> (дата звернення: 2.11.2023).

22. Щербаков Г. Н. Методи виявлення мін стосовно проблеми гуманітарного розмінування актуальності проблеми. БНТИ. Техніка для спецслужб. [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://bit.ly/3cnP5w2>. (дата звернення: 6.11.2023).

23. Іщенко А.В., Кобець М.В. (2015). Засоби і методи виявлення вибухових речовин та пристроїв у боротьбі з тероризмом «Міністерство внутрішніх справ України національна академія внутрішніх справ України», Київ. (дата звернення: 6.11.2023).

24. Autodesk Fusion 360: More than CAD, it's the future of design and manufacturing. // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: [https://www.autodesk.com/products /fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription](https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription). (дата звернення: 15.11.2023).

25. CoppeliaSim (formerly V-REP). Manual. // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://manual.coppeliarobotics.com/> (дата звернення: 15.11.2023).
26. Ходова частина гусеничного рушія та підвіска бойової машини. // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://www.military-references.com/2022/09/22/bmp-1-chassis-references>. (дата звернення: 16.11.2023).
27. CoppeliaSim (formerly V-REP). Manual. Scene. Create scene. // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://manual.coppeliarobotics.com/> (дата звернення: 23.11.2023).
28. Сталь Hardox 600 // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://mskukraine.com/products/black-metal/iznosostojkie-stali/iznosostojkaja-stal-hardox/stal-hardox-600/> (дата звернення: 27.11.2023).
29. BF 6 L 914 C (Gen). // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://deutz.com.ua/ru/products/bf-6-l-914-c-2> (дата звернення: 27.11.2023).
30. Теорія машинобудівництва. Побудова гусеничного рушія. Національний університет «Львівська політехніка». // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <https://studfile.net/preview/5205406>. (дата звернення: 5.12.2023).
31. Технічні характеристики многофункціональної роботизованої платформи для розмінування GCS-200. // [Електронний ресурс]: Режим доступу: URL: <http://www.post-01.com.ua/catalog/oborudovanie-i-spetsredstva-dlya-armii-i-politsii/razminirovanie/tekhnika-dlya-razminirovaniya/mnogotselevaya-bespilotnaya-platforma-dlya-razminirovaniya-gcs-200-.html>. (дата звернення: 11.12.2023).
32. ДСТУ-П 8820:2018. Інформація та документація. Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту очищення (розмінування) району ведення бойових дій. Київ, 2020, 76с (дата звернення: 20.12.2023).