

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики та комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістрський)

Розроблення автоматизованої системи

виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КІТПВм-21-1

Пахниць І. Б.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Хрустальова С. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. III.

(прізвище, ініціали)

2022 р.

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.

«15» грудня 2022 р.

Пахниць І. Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

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

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма 151 Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри Невлюдов І.Ш.
(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Пахницю Івану Борисовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розроблення автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів»

затверджена наказом університету від «07» листопада 2022 р. №1464 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «07» грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Об'єкт дослідження – процес виявлення потенційно небезпечних військових об'єктів на відкритій місцевості. Предмет дослідження – методи, засоби та системи виявлення потенційно небезпечних військових об'єктів на відкритій місцевості. Предмет розробки – автоматизована система виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості. Технічне забезпечення IBM-сумісний ПК. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows, об'єктно-орієнтованого програмування.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: Вступ. Огляд та аналіз існуючих методів, засобів та систем виявлення ВНО на відкритій місцевості. Постановка мети та задач дослідження. Розроблення структурної схеми та алгоритму роботи автоматизованої системи виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості. Вибір компонентів системи. Розроблення алгоритму роботи системи. Математичне уявлення алгоритму обробки та аналізу карт. Розробка програмного забезпечення та проведення експериментів. Вибір мови програмування та середовища розробки. Аналіз мов об'єктно-орієнтованого програмування. Розробка програми. Планування машинних експериментів. Аналіз результатів. Охорона праці. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри): демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) на аркушах формату А4 (16 сторінок).

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання, аналіз завдання, уточнення плану роботи	01.09.22	Виконано
2	Аналіз сучасних методів пошуку та виявлення вибухонебезпечних об'єктів	08.09.22	Виконано
3	Огляд сучасних систем пошуку та виявлення вибухонебезпечних об'єктів	15.09.22	Виконано
4	Вибір компонентів та пристроїв системи	29.09.22	Виконано
5	Розроблення програмного забезпечення задачі	13.10.22	Виконано
6	Проведення експериментальних досліджень	27.10.22	Виконано
7	Підготовка публікацій за результатами дослідження	10.11.22	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	24.11.22	Виконано
9	Подання закінченої роботи науковому керівникові	01.12.22	Виконано
10	Усунення зауважень наукового керівника	04.12.22	Виконано
11	Подання роботи на рецензування	05.12.22	Виконано
12	Підготовка презентації	08.12.22	Виконано
13	Попередній захист	11.12.22	Виконано
14	Подання роботи до екзаменаційної комісії	11.12.22	Виконано

Дата видачі завдання _____

Студент _____ Пахниць І. Б.
(підпис)

Керівник роботи _____ доцент Хрустальова С. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 99 с., 2 табл., 30 рис., 1 дод., 46 джерел.

ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ОБ'ЄКТ, МІНА, СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ, БЕЗПЛОТНИЙ ЛІТАЮЧИЙ АПАРАТ, ТЕПЛОВІЗОР, МЕТАЛОДЕТЕКТОР.

Об'єкт дослідження – процес виявлення потенційно небезпечних військових об'єктів на відкритій місцевості.

Предмет дослідження – методи, засоби та системи виявлення потенційно небезпечних предметів на відкритій місцевості.

Мета дослідження – підвищення ефективності автоматизованої системи пошуку потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості за рахунок використання декількох методів пошуку одночасно та відокремлення системи від певної моделі БПЛА.

Методи дослідження – математичний метод побудови картографічних сіток, метод реєстрації інфрачервоного випромінювання, метод вихрових струмів, методи і засоби збору та обробки даних.

Результати роботи – розроблено структурну схему, демонстраційну модель автоматизованої системи виявлення ВНО на відкритій місцевості. Обрані певні компоненти системи, розраховано час автономної роботи та висунуті вимоги до безпілотного літаючого апарату. Розроблено алгоритми створення фотографічної, теплової та магнітної карт місцевості та їх аналіз.

Розроблено програмний додаток, що виконує аналіз створених карт місцевості, створює чорно-білу маску із виділеними ділянками із ймовірним місцем знаходженням ВНО та виділяє ці ділянки на фотографічній карті.

Отримані результати можуть бути використані організаціями, що займаються гуманітарним розмінуванням великих відкритих територій.

ABSTRACT

Explanatory note contain: 99 pages, 2 tables, 30 figures, 1 appendices, 46 sources.

EXPLOSIVE OBJECT, MINE, DETECTION SYSTEM, UAV, THERMAL IMAGING, METAL DETECTOR.

The object of research is the process of identifying potentially dangerous military objects in an open area.

The subject of the research is methods, means and systems for detecting potentially dangerous objects in an open area.

The purpose of the research is to increase the efficiency of the automated system for searching for potentially explosive objects in an open area due to the use of several search methods at the same time and the separation of the system from a certain model of UAV.

Research methods – a mathematical method of constructing cartographic grids, a method of recording infrared radiation, a method of eddy currents, methods and means of data collection and processing.

The results of the work – a structural diagram, a demonstration model of an automated system for detecting VNO in an open area has been developed. Certain components of the system are selected, battery life is calculated, and requirements for an unmanned aerial vehicle are set. Algorithms for creating photographic, thermal and magnetic terrain maps and their analysis have been developed.

A software application has been developed that analyzes the created maps of the area, creates a black-and-white mask with selected areas with the probable location of the IED, and highlights these areas on the photographic map.

The obtained results can be used by organizations engaged in humanitarian demining of large open areas.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ	11
1.1 Гуманітарне розмінування.....	11
1.2 Дослідження існуючих проектів та систем виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості	11
1.2.1 Системи із застосуванням наземної мобільної платформи.....	12
1.2.2 Системи із застосуванням БПЛА.....	27
1.3 Методи виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості	31
1.4 Постановка мети та задач дослідження.....	34
1.5 Висновки до першого розділу	35
2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ.....	37
2.1 Визначення класу вибухонебезпечних об'єктів. Вибір методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості	37
2.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості	38
2.3 Вибір компонентів автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості.....	43
2.3.1 Вибір датчиків та пристроїв обробки інформації	43
2.3.2 Розрахунок часу автономної роботи та вибір джерела живлення.....	46
2.3.3 Розрахунок загальної ваги	53
2.4 Розроблення алгоритму роботи автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості	55
2.5 Висновки до другого розділу	66
3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	67

3.1	Вибір мови програмування та середовища розроблення	67
3.1.1	Java	67
3.1.2	C#.....	69
3.1.3	Python.....	70
3.1.4	Вибір мови програмування.....	72
3.2	Розроблення програми	72
3.3	Планування машинних експериментів.....	75
3.4	Аналіз результатів	80
3.5	Висновки до третього розділу	84
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	85
4.1	Загальні положення.....	85
4.2	Загальні вимоги до знань та вмінь сапера в області надання домедичної допомоги	87
4.3	Вимоги безпеки при аварійній ситуації.....	88
4.4	Висновки до четвертого розділу	91
	ВИСНОВКИ.....	92
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	94
	ДОДАТОК А Демонстраційний матеріал.....	100

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВНО – вибухонебезпечний об'єкт.

БПЛА – безпілотний летючий апарат.

ВНП – вибухонебезпечний пристрій.

ЗВП (EOD) – знешкодження вибухонебезпечних предметів (Explosive Ordnance Disposal).

АС – автоматизована система.

ВСТУП

На сьогоднішній день в складних для України умовах воєнного стану, важливим є збереження життя та здоров'я громадян, які повертаються на територію, що знаходилися в тимчасовій окупації. Велику загрозу представляють вибухонебезпечні об'єкти воєнного призначення.

В реаліях сьогодення населення України все частіше зустрічається з необхідністю ретельного дотримання певних правил техніки безпеки стосовно багатьох об'єктів: промислові об'єкти, піротехніка, побутова хімія, енергоносії тощо. На перший погляд прості речі можуть стати дуже небезпечними для життя та здоров'я. До таких речей можна віднести потенційно вибухонебезпечні об'єкти.

Більшість об'єктів не потребують спеціальних знань для ідентифікації, оскільки мають спеціальні наліпки, надписи та маркування, які ідентифікують об'єкт як вибухонебезпечний. Однак, існують вибухонебезпечні об'єкти, які не мають спеціальних позначень, можуть бути спеціально приховані так, щоб завдати більшої шкоди життю та здоров'ю людини, яка їх знайде. Це – вибухонебезпечні об'єкти воєнного призначення. Тому, проблема виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості, особливо там, де проходили найзапекліші бойові дії є актуальною задачею.

Відкриті місцевості поза межами міст становлять велику небезпеку. Наприклад, на полях та рівнинах може буди заховано багато вибухонебезпечних об'єктів: міни, снаряди, що не розірвалися, залишені боєкомплекти тощо.

Для виявлення та знешкодження таких об'єктів людство створює все більш ефективніші та безпечніші автоматизовані системи.

Мета дослідження – підвищення ефективності автоматизованої системи пошуку потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості за рахунок використання декількох методів пошуку одночасно та відокремлення системи від певної моделі БПЛА.

Методи дослідження – математичний метод побудови картографічних сіток, метод реєстрації інфрачервоного випромінювання, метод вихрових струмів, методи і засоби збору та обробки даних.

Об'єкт дослідження – процес виявлення потенційно небезпечних військових об'єктів на відкритій місцевості.

Предмет дослідження – методи, засоби та системи виявлення потенційно небезпечних предметів на відкритій місцевості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести огляд та аналіз існуючих методів засобів та систем;
- розробити структурну схему системи автоматизованої системи;
- обрати компоненти системи автоматизованої системи;
- розробити алгоритм роботи автоматизованої системи;
- обрати мову програмування;
- обрати середовище розробки;
- реалізувати роботи автоматизованої системи у вигляді програмного засобу;
- провести машинний експеримент.

Кваліфікаційна робота оформлена згідно з вимогами ДСТУ 3008 2015 [1], а також з рекомендаціями з підготовки і оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти [2].

Результати кваліфікаційної роботи опубліковані:

- у матеріалах IV Міжнародної конференції з природничих наук та технологій (м. Анталія, 24-26 серпня 2022 р.);
- у науковому журналі Інноваційні технології та наукові рішення для промисловості, Харків 2022, № 2 (20), С. 106–112.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ

1.1 Гуманітарне розмінування

Розмінування – це комплексний процес видалення вибухонебезпечних об'єктів військової галузі (міни, пастки, саморобних вибухових пристроїв, снарядів, тощо) з території, на якій тривали бойові дії.

Гуманітарне розмінування – це область процесу розмінування, котре передбачає комплексний підхід до території та включає огляд усієї території, визначення сумнівних районів, виявлення ділянок з вибухонебезпечними об'єктами, їх очищення. Після виконання гуманітарного розмінування значно зменшується ризик мінної небезпеки місцевості до рівня, придатного для повноцінного цивільного використання без обмежень.

У науковій літературі значну увагу приділено підготовці фахівців-саперів [3], технології проведення розмінування [4, 5]. Проблематику гуманітарного розмінування в своїх роботах висвітлювали Бевз А.М., Толкунов І.О. [6], Говдук А.В., Полотай О.І. [7]. Питання навчання населення з протимінної безпеки у науковій літературі наразі є недослідженим.

1.2 Дослідження існуючих проектів та систем виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості

Процес виявлення вибухонебезпечних об'єктів є дуже важливою частиною розмінування, але це дуже небезпечно для спеціаліста, що здійснює пошук. Розвиток автоматизації зробив можливим створення сучасних систем виявлення вибухонебезпечних об'єктів які дозволяють спеціалістам здійснювати пошук вибухонебезпечних об'єктів швидше, точніше та більш безпечно.

До БПЛА та роботів, що здійснюють пошук належать ті, котрі мають спеціальні пристрої за допомогою яких програмний засіб або оператор може з певною точністю визначити місто знаходження вибухонебезпечного об'єкту. До таких пристроїв відносяться: тепловізор [8], металодетектор [9] та георадар [10]. До переваг таких роботизованих систем можна віднести майже повну безпечність оператора. До недоліків – швидкість та точність пошуку, бо майже завжди результати пошуку дронів та роботів потребують перевірки оператором-сапером, тому що реагувати вони можуть майже на будь-який схожий об'єкт, який не є вибухонебезпечним.

Сучасність пропонує велике різноманіття рішень з використанням роботів та БПЛА. Наразі вони не є такими ефективними, щоб повністю замінити людину, але вже є достатньо корисними, щоб використовуватись у гуманітарних місіях.

1.2.1 Системи із застосуванням наземної мобільної платформи

Популярними рішенням для виконання процесу розмінування місцевості є робот tEODor компанії Telerob [11].

tEODor це великий робот який має високий рівень прохідності нерівного рельєфу завдяки гусеничній платформі за рахунок чого вважається гарним кандидатом для виконання пошуку та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів на відкритих ділянках (поля, проліски, тощо). tEODor може бути використаний як основний інструмент для виконання небезпечних завдань, пожежогасіння, запобігання загроз або промислових застосувань.

Існує система аксесуарів X-RAY system для tEODor'a, що дозволяє проводити рентгенівське дослідження потенційно вибухонебезпечних об'єктів або об'єктів, які можуть маскувати (коробки, сумки, тощо). Робот передбачає можливість приєднання більш розвинутих маніпуляторів, що дозволить приєднати до маніпулятора металошукач або георадар, що дозволить шукати міни, що закопані під землею.

Робот спроектовано досить універсально для виконання небезпечних задач завдяки можливості встановити аксесуари, котрі можуть бути корисними при в різних ситуаціях. Загалом для tEODor'a спроектовано більше 25 аксесуарів [12] різного призначення котрі встановлюються заздалегідь. Деякі з аксесуарів можуть бути змінені під час роботи робота автоматично, що дозволяє оператору продовжити роботу без відволікання на технічні моменти.

Керування пристроєм виконується завдяки портативному пристрою, котрий нагадує ноутбук, але має сенсорні екрани на обох поверхнях. Верхній екран дублює зображення з камер так підтримує режим роботи «картинка в картинці» для зручнішого позиціонування робота та його маніпулятора. Другий екран демонструє 3D-модель робота, що дублює його положення у реальному часі. Обидва екрана мають клавіші для керування tEODor'ом. Час його автономної роботи дорівнює часу автономної роботи робота.

Час автономної роботи від батареї складає близько 2-4 години в залежності від споживання виконаних дій та потужності аксесуарів, що встановлені та використовуються.

Виконання процесів пошуку та вибухонебезпечних об'єктів оператором можливе завдяки вбудованим звичайною та тепловізійною камерами, що розташовані на верхній частині потужного маніпулятора. Вони дозволяють оператору отримувати чітку уяву про об'єкт, на який направлено маніпулятор.

Знешкодження або транспортування наземного вибухонебезпечного об'єкту можливе завдяки потужному маніпулятору, котрий має змогу підіймати об'єкти за вагою не більше 100 кілограмів та має лазерні датчики наближення маніпулятора до цілі. (рис. 1.1).

Пошук та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів цим роботом здійснюються оператором без небезпеки для його здоров'я та життя тому, що оператор керує роботом на великій відстані завдяки бездротовому зв'язку або зв'язку оптоволоконним кабелем довжиною не більш ніж 200 метрів.



Рисунок 1.1 – Робот tEODor у процесі транспортування вибухонебезпечного об'єкту

Приблизна вартість робота та комплекту для розмінування сягає 750 000\$. Близько 25 країн вже придбали такого робота та використовують його у різних галузях завдяки його універсальності [13].

Існує сімейство роботів Telemax, котрі є зменшеними аналогами tEODor'a та виробляються також компанією Telerob.

У сімейство роботів Telemax входять: Telemax EVO 4x4, EVO Pro, EVO Hybrid, EVO Plus та Resce [14]. Роботи із сімейства telemax мають різні типи шасі (колісні або гусеничні) та можуть комбінувати тип шасі задля забезпечення універсальності при переході з дороги до бездоріжжя. Залежно від моделі, вони спеціалізуються на окремих задачах і можуть використовуватися універсально.

Майже всі моделі сімейства Telemax мають маніпулятор з інструментом «Point Center Control» що дає змогу захоплювати предмети мов пальцями.

Telemax EVO 4x4 [15] є колісним варіантом з маніпулятором, дозволяє швидко виконувати завдання на складній місцевості або на рихлій землі не пошкоджуючи поверхню завдяки оптимізованим профілям коліс. Розвиває швидкість до 10 км/год.

Telemax Resse [16] теж є колісним варіантом, але більш компактним, легким та не має встановленого маніпулятора. Найшвидша модель сімейства – може досягти швидкості більшої за 10 км/год. Використовується для швидкого отримання інформації про місцезнаходження потрібних об'єктів. Має можливість під'єднати модуль створення 3D карти місцевості для отримання більш детальної інформації.

Telemax EVO Plus [17] є гусеничною моделлю сімейства Telemax з найпотужнішим маніпулятором у порівнянні з іншими роботами сімейства, котрий має змогу підіймати та переносити об'єкти вагою до 80 кілограмів. Telemax EVO Plus має подвійну корисну площу на шасі для забезпечення стійкої роботи з важкими об'єктами. Має меншу швидкість пересування, ніж колісні варіанти (5 км/год.), але має кращі показники стійкості на нерівній поверхні. Є одним з роботів сімейства Telemax, котрий має підтримку XplusSecurity – аксесуару для перевірки підозрілих об'єктів рентгенівським випромінюванням (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Telemax EVO Pro у процесі використання аксесуару XplusSecurity

Telemax EVO Pro [18] є гусеничною моделлю сімейства Telemax з маніпулятором, котрий встановлено на телескопічному шарніру, який дозволяє

збільшити довжину маніпулятора у півтора рази. Швидкість руху дорівнює швидкості руху моделі 4x4 (10 км/год.). Робот має можливість встановити комбіноване шасі (одночасно колеса та гусениці). Telemax EVO Pro має підтримку аксесуару XplusSecurity.

Telemax EVO Hybrid [19] є роботом який зібрав у собі усі переваги сімейства Telemax. Має можливість встановлення комбінованого шасі (рис. 1.3), як EVO PRO. Має маніпулятор, котрий дозволяє підіймати та переносити об'єкти вагою до 37 кілограмів. Максимальна швидкість комбінованого шасі складає 10 км/год. Telemax EVO Hybrid має підтримку аксесуару XplusSecurity, як моделі EVO Plus та EVO Pro.



Рисунок 1.3 – Telemax EVO Hybrid з аксесуарами та комбінованим шасі

Роботи сімейства Telemax спроектовані для виконання небезпечних задач завдяки можливості встановити аксесуари, котрі можуть бути корисними при певних ситуаціях. Загалом для роботів сімейства Telemax спроектовано більше 30 аксесуарів різного призначення котрі встановлюються заздалегідь. Деякі з аксесуарів можуть бути змінені під час роботи робота автоматично, що дозволяє

оператору продовжити роботу без відволікання на технічні моменти заміни аксесуару.

Час автономної роботи роботів різний та залежить від використаних аксесуарів. Для маленької моделі Telemax Resse без маніпулятора цей час перебільшує 8 годин, для моделей Telemax EVO 4x4 та EVO Plus час автономної роботи дорівнює 4 години. Для моделей Telemax EVO Pro та EVO Hybrid час автономної роботи становить 2-4 години в залежності від обраних аксесуарів.

Керування роботами виконується оператором зі спеціального пристрою, котрий нагадує ноутбук. Він має 2 дисплеї, кнопки та джойстики. Перший дисплей транслює зображення з обраних камер з підтримкою режиму «картинка в картинці». Другий екран демонструє 3D-модель робота яка відтворює його положення у реальному часі (рис. 1.4). За потреби, використовується окремий пристрій для відтворення звуку, що приймає мікрофон на роботі. Тобто оператор має змогу інтуїтивно керувати роботом навіть в умовах, коли встановлення зорового контакту з роботом не є можливим.



Рисунок 1.4 – Telemax EVO Plus та пульт керування із зображенням інтерфейсу користувача

Колісні моделі сімейства Telemax мають меншу стійкість на відкритих ділянках поза дорожнього покриття з чого можна зробити висновок, що

гусеничні та комбіновані моделі цього сімейства підійдуть значно краще для роботи з вибухонебезпечними об'єктами на відкритих місцевостях.

Процес пошуку вибухонебезпечних об'єктів та їх ідентифікація здійснюються оператором за допомогою камер, зображення з котрих дублюється на монітор пристрою для керування роботом. На всі моделі передбачено встановлення тепловізійної камери, що робить можливим пошук та ідентифікацію деяких неметалевих вибухонебезпечних об'єктів. Підтримка перевірки об'єкта рентгенівським випромінюванням за допомогою аксесуара XplusSecurity не передбачена на колісних моделях. Існує можливість встановити металопрошукач або георадар у моделі сімейства Telemax з маніпулятором та таким чином здійснювати пошук вибухонебезпечних об'єктів, котрі встановлено під землею.

Транспортування або знешкодження вибухонебезпечних об'єктів може бути виконано усіма роботами сімейства Telemax окрім Telemax Resce, тому, що він не має вбудованого маніпулятора. Усі інші моделі мають можливість транспортувати або знешкодити вибухонебезпечні об'єкти за допомогою маніпулятора та аксесуарів.

Пошук та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів цим роботом здійснюються оператором без небезпеки для його здоров'я та життя тому, що оператор керує роботом на великій відстані завдяки бездротовому зв'язку, стабільність котрого досягається завдяки встановлених на корпусі робота повторювачів сигналу. За потреби, в кожен з роботів сімейства Telemax можна встановити аксесуар для підтримки дротового зв'язку на відстань до 200 метрів.

Приблизна вартість робота Telemax EVO Pro з комбінованим шасі сягає 400 000\$. Ціна повного комплекту аксесуарів може перебільшити 500 000 \$.

Ефективними аналогами універсального сімейства роботів Telemax компанії «Telero» є сімейство роботів Caliber від компанії «ICOR technology» [20].

Сімейство роботів Caliber налічує п'ять моделей роботів: FLEX, MK4, MK3, T5, Mini. Це спеціальні роботи використовуються для виконання складних

задач з мінімізацією шкідливого впливу на життя та здоров'я людини, наприклад проведення спецоперацій, розмінування, проведення робіт в умовах хімічної небезпеки тощо.

Спільними рисами усього сімейства роботів Caliber є наявність гусеничного шасі, що надає стійкості та точності при позиціюванні робота, наявність потужних маніпуляторів та наборів аксесуарів до них для різного спектру задач.

Mini-Caliber [20] найменший із сімейства роботів, котрий важить усього 29 кілограм. За розмірами він невеликий відносно інших роботів сімейства: за шириною 41 сантиметр, за довжиною від 61 сантиметра до 91 сантиметрів в залежності від викидання ласт, за висотою 38 сантиметрів за умови складеного маніпулятора (рис. 1.5).

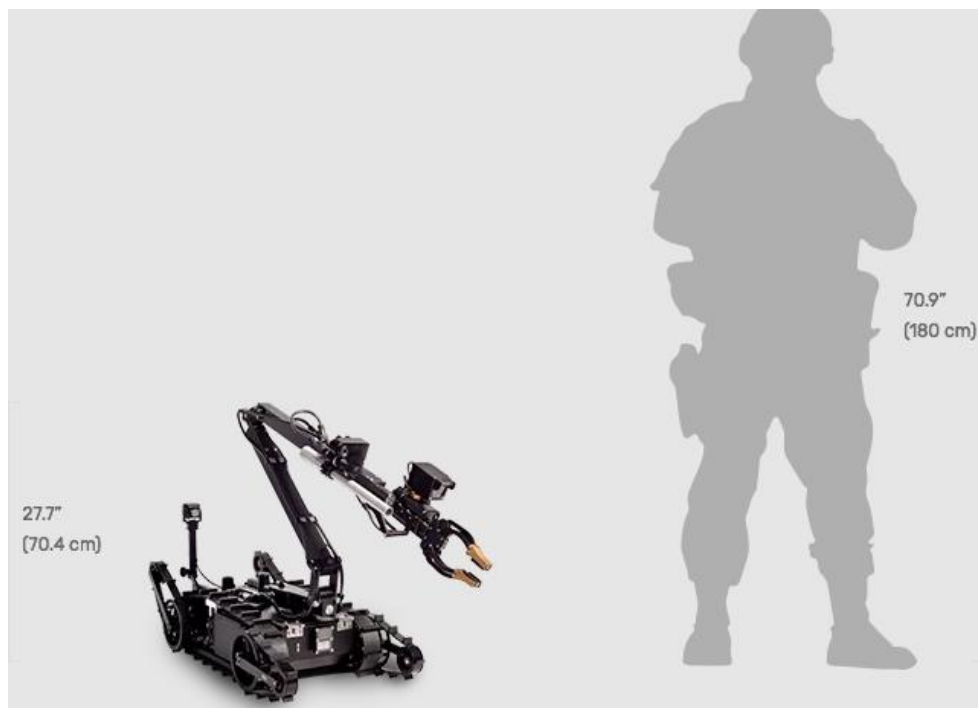


Рисунок 1.5 – Mini-Caliber у порівнянні з людиною в висоту

Маніпулятор моделі міні може підіймати об'єкти вагою до 6,8 кілограмів. Довжина маніпулятора у розгорнутому стані дорівнює 130 сантиметрів. Ці

показники є достатніми для проведення робіт з багатьма вибухонебезпечними об'єктами.

Ця модель має на борту 5 кольорових камер, дві з котрих мають інфрачервону підсвітку. Зображення передається на пульт керування у реальному часі. Камера на маніпуляторі має 10-ти кратний оптичний збільшення. Вбудована система підсвічування у фронтову частину робота та на кінці маніпулятора.

Вбудований 9,6 А/год літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї 24 В постійного струму забезпечують до двох часів автономної роботи.

Передні та задні ласти шасі надають змогу роботу долати перешкоди на шляху або підійматися по сходам. Дорожній просвіт має висоту 4 сантиметра, що дозволяє проїжджати над маленькими перешкодами на шляху, наприклад невелике каміння.

Другий за розмірами та вагою у 68 кілограмів є модель T5 [22] сімейства роботів «Caliber». Цей робот вважається середнім: за шириною 43 сантиметри, за висотою 56 сантиметрів, за довжиною 91 сантиметр та 56 сантиметрів за умови складеного маніпулятора (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – T5 у порівнянні з людиною в висоту

Маніпулятор моделі T5 може підіймати об'єкти вагою до 20 кілограмів коли маніпулятор втягнуто та до 8 кілограмів коли маніпулятор витягнуто. Довжина маніпулятора у розгорнутому стані дорівнює 130 сантиметрів але може бути розширена до 267 сантиметрів для більш безпечної роботи с вибухонебезпечними об'єктами.

Ця модель має на борту 5 кольорових камер, дві з котрих мають інфрачервону підсвітку. Зображення передається на пульт керування у реальному часі. Камера на маніпуляторі має 36-ти кратний оптичний збільшення. Вбудована система підсвічування у фронтову частину робота та на кінці маніпулятора.

Дві окремі свинцево-кислотні акумуляторні батареї ємністю 8 А/год 24 В постійного струму забезпечують від 2 часів до 4 часів автономної роботи.

Гумові гусениці на 6 колесах із суцільним сердечником із швидкознімною муфтою та дорожній просвіт 7 сантиметрів у дозволяють підійматись по сходах висотою до 20 сантиметрів під кутом не більш ніж 45 градусів та без перешкод пересуватись по піску та снігу.

Наступна модель із сімейста роботів Caliber є МК3 [23] вагою 89 кілограмів. Робот призначен для дистанційного керування та виконання безпечних процедур IEDD та інших вибухонебезпечних боєприпасів, розвідувальних місій, двостороннього зв'язку та завдань доставки/вилучення. Цей робот вважається середнім: за шириною 61 сантиметри, за висотою 57 сантиметрів, за довжиною 93 сантиметри за умови складеного маніпулятора (рис. 1.7).

МК3 має два окремих маніпулятора. За замовчуванням перший маніпулятор має змогу підіймати об'єкти вагою до 29 кілограмів. Другий маніпулятор має два пневморуйнівника, але можуть бути обрані інші аксесуари, наприклад, система X-Ray Mount для перевірки об'єктів за допомогою рентгенівського випромінювання або металошукач або георадар для пошуку вибухонебезпечних об'єктів під землею. Довжина маніпулятора у розгорнутому стані дорівнює 130 сантиметрів.

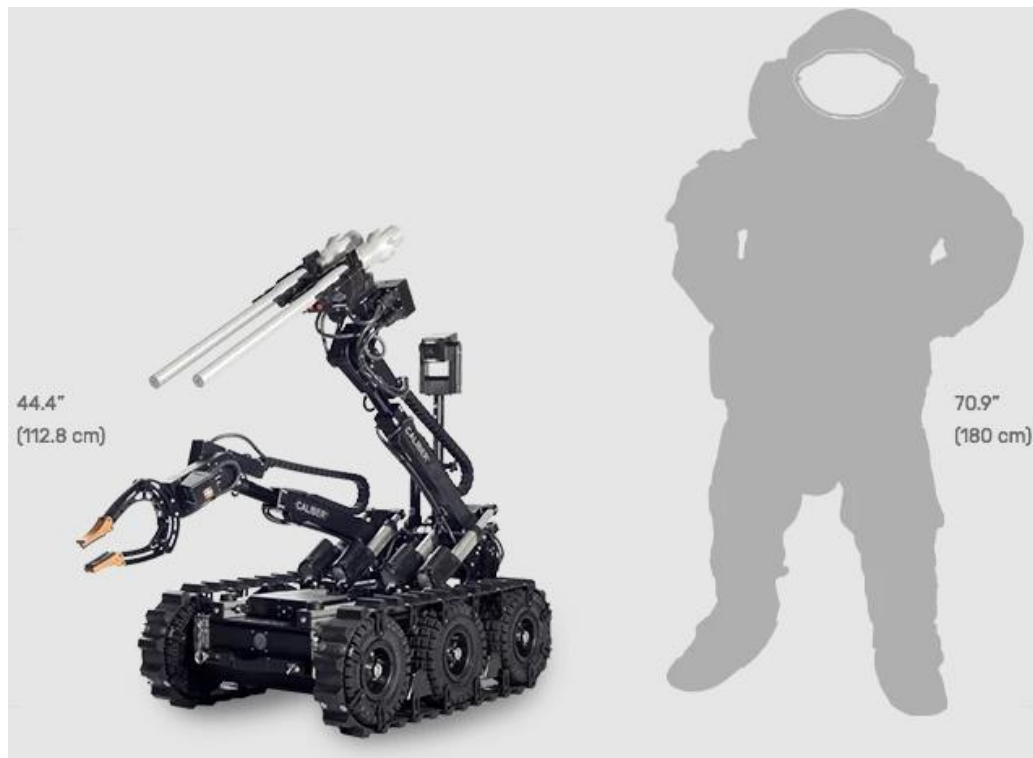


Рисунок 1.7 – МК3 у порівнянні з людиною в висоту

Ця модель має на борту 6 кольорових камер, дві з котрих мають інфрачервону підсвітку. Зображення передається на пульт керування у реальному часі. Камера на маніпуляторі має 36-ти кратний оптичний збільшення. Вбудована система підсвічування у фронтову частину робота та на кінці обох маніпуляторів.

Дві окремі свинцево-кислотні акумуляторні батареї ємністю 13 А/год 24 В постійного струму забезпечують від 3 часів до 5 часів автономної роботи. Підтримують систему швидкої зарядки.

Гумові гусениці на 6 пневматичних шинах із швидкознімною муфтою та дорожній просвіт 8 сантиметрів у дозволяють підійматись під кутом не більш ніж 45 градусів та без перешкод пересуватись по піску та снігу, включає ручну стійку проти перекидання для підйому сходами. Має змогу пересуватися на трьох швидкостях, бхб, підтримка системи повного приводу.

Найрозумнішим із сімейства «Caliber» є робот моделі FLEX [24], важить 80 фунтів (36 кг). Його блок керування забезпечує автоматичне попередньо

встановлене позиціонування для швидкого розгортання. Тривимірний аватар на пульті керування, який пропонує позиційний зворотний зв'язок щодо фактичного положення робота в реальному часі. Розроблений за стандартом IP65: захищений від впливу навколишнього середовища та хіміко-біологічного промивання.

Цей робот вважається великим: за шириною 61 сантиметри, за висотою 69 сантиметрів, за довжиною 99 сантиметри за умови складеного маніпулятора (рис. 1.8).

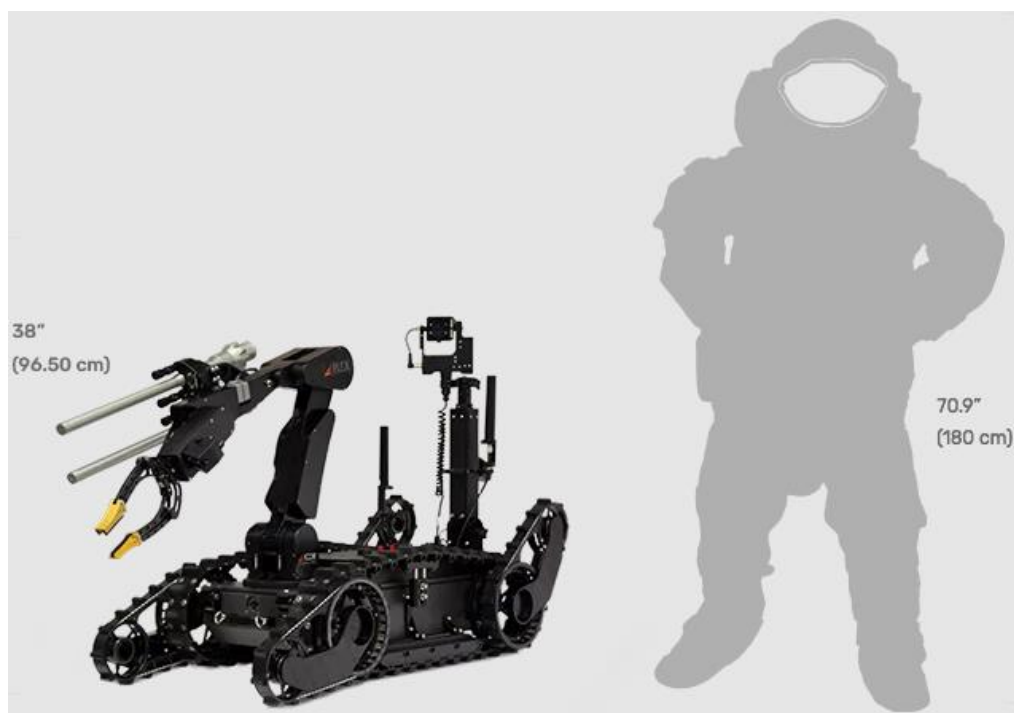


Рисунок 1.8 – FLEX у порівнянні з людиною в висоту

FLEX має один потужний спарений маніпулятор. За замовчуванням маніпулятор має змогу підіймати об'єкти вагою до 36 кілограмів та має два пневморуйнівника, але можуть бути обрані інші аксесуари, наприклад, система X-Ray Mount для перевірки об'єктів за допомогою рентгенівського випромінювання або металошукач або георадар для пошуку вибухонебезпечних об'єктів під землею. Довжина маніпулятора у розгорнутому стані дорівнює 150 сантиметрів, отвір хвату 30 сантиметрів в діаметрі.

Ця модель має на борту 6 кольорових камер, дві з котрих мають інфрачервону підсвітку. Зображення передається на пульт керування у реальному часі. Камера на маніпуляторі має 36-ти кратний оптичний збільшення. Має світлодіодні ліхтарі: на пазурі, на зброї та на камерах з панорамуванням, нахилом і масштабуванням (PTZ).

Дві окремі свинцево-кислотні акумуляторні батареї ємністю 13 А/год 24 В постійного струму забезпечують до 2 часів автономної роботи. Підтримують систему швидкої зарядки.

Гумові гусениці на 6 пневматичних шинах із швидкознімною муфтою та дорожній просвіт 8 сантиметрів у дозволяють підійматись під кутом не більш ніж 45 градусів та без перешкод пересуватись по піску та снігу, включає ручну стійку проти перекидання для підйому сходами. Швидкість руху становить від 1,6 км/год до 7 км/год. Має змогу пересуватися на трьох швидкостях, бхб, підтримка системи повного приводу.

Найбільший робот у сімействі CALIBER, МК4 [25] демонструє видатні можливості буксирування та перетягування. МК4 є найпотужнішим з усіх роботів сімейства «Caliber», його вага становить 333 кілограми. Блок керування забезпечує автоматичне попередньо встановлене позиціонування для швидкого розгортання, тривимірний аватар пропонує позиційний зворотний зв'язок щодо фактичного положення робота в реальному часі.

Модульна конструкція робота дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування за рахунок легкої модернізації платформи, польового ремонту та заміни деталей. Розроблений за стандартом IP65: захищений від впливу навколишнього середовища та хіміко-біологічного промивання.

Цей робот вважається великим: за шириною 75 сантиметри, за висотою 87 сантиметрів, за довжиною 140 сантиметри за умови складеного маніпулятора (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – МК4 у порівнянні з людиною в висоту

МК4 має один потужний спарений маніпулятор котрий має змогу підіймати об'єкти вагою до 90 кілограмів з втягнутою стрілкою та до 45 кілограмів з витягнутою. Також на стрілці робот має два пневморуйнівника, які за потреби можна змінити на інші аксесуари, наприклад, система X-Ray Mount для перевірки об'єктів за допомогою рентгенівського випромінювання. Довжина маніпулятора у розгорнутому стані дорівнює 150 сантиметрів, отвір хвату 30 сантиметрів в діаметрі.

Ця модель має на борту 7 кольорових камер, дві з котрих мають інфрачервону підсвітку. Зображення передається на пульт керування у реальному часі. Має світлодіодні ліхтарі: на пазурі, на зброї та на камерах з панорамуванням, нахилом і масштабуванням (PTZ).

Одна велика свинцево-кислотні акумуляторні батареї ємністю 26 А/год 48 В постійного струму забезпечує від 2 часів до 8 часів автономної роботи. Підтримує систему швидкої зарядки.

Особливо виділяється від інших роботів сімейства «Caliber» пристрій для керування МК4: блок керування із двома 15-дюймовими сенсорними екранами, які можна читати при денному світлі (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Пульт керування роботом Caliber МК3

Гумові гусениці та дорожній провіт 15 сантиметрів у дозволяють підійматись під кутом не більш ніж 40 градусів та без перешкод пересуватись по піску та снігу, включає ручну стійку проти перекидання для підйому сходами. Має змогу пересуватися на трьох швидкостях, максимальна швидкість досягає 3,2 км/год.

Процес пошуку вибухонебезпечних об'єктів та їх ідентифікація здійснюються оператором за допомогою багатьох камер, котрі встановлені на роботі. Додаткові аксесуари можуть розширити набір речей, котрі можуть бути виявленими за допомогою роботів сімейства «Caliber». Наприклад, встановлення тепловізійних камер, встановлення обладнання для пошуку схованих під землею потенційно вибухонебезпечних об'єктів, встановлення аксесуару X-RAY, який

надає можливість перевірити підозрілий об'єкт за допомогою рентгенівського випромінювання. Оператор власноруч на основі отриманих даних з камер ідентифікує потенційно вибухонебезпечний об'єкт та робить висновок щодо подальших дій.

Транспортування або знешкодження вибухонебезпечних об'єктів може бути виконано усіма роботами сімейства «Caliber» завдяки тому, що вони мають можливість транспортувати або знешкодити вибухонебезпечні об'єкти різної ваги, залежно від моделі, за допомогою маніпулятора та додаткових аксесуарів.

Пошук та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів цим роботом здійснюються оператором без небезпеки для його здоров'я та життя тому, що оператор керує роботом на великій відстані завдяки пульта керування, з'єднаним бездротовим зв'язком на основі радіочастот (mini, T5, MK3) або бездротовій цифровій системі, що працює на частоті 1,4 ГГц (Flex, MK4), стабільність котрого досягається завдяки встановлених на корпусі робота повторювачів сигналу та потужної антени у місці розташування оператора. За потреби, в кожен з роботів сімейства «Caliber» можна встановити аксесуар для підтримки дротового зв'язку на відстань до 150 метрів.

Більш за всіх для виконання пошуку та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів підходить модель Caliber MK3 з обладнанням типу EOD для виконання розмінування. Приблизна вартість робота Caliber MK3 з комбінованим шасі сягає 300 000\$. Ціна повного комплексу аксесуарів може перебільшити 400 000\$.

У складний для України час компанія «ICOR Technology» допомагає Україні та передає декілька моделей Mini-Caliber та Caliber MK3 з комплектами EOD для проведення розмінування на територіях з підвищеним рівнем мінної небезпеки [26].

1.2.2 Системи із застосуванням БПЛА

Набирає популярності галузь створення систем виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів за допомогою БПЛА. Зазвичай, такі системи є

вузько направленими. Їх винахідники зосереджуються на пошуку або знешкодженню вибухонебезпечних об'єктів на відкритих ділянках поза тісних будівель за допомогою одного або набору сенсорів, маніпуляторів або носія вибухівки для знищення об'єкту на місці його розташування.

Гарним прикладом системи пошуку вибухонебезпечних об'єктів є американський патент US 20220237909 A1 «Система виявлення підземних об'єктів за допомогою набору сенсорів» [27] (рис. 1.11). На сьогодні система має вид схематичного проекту.

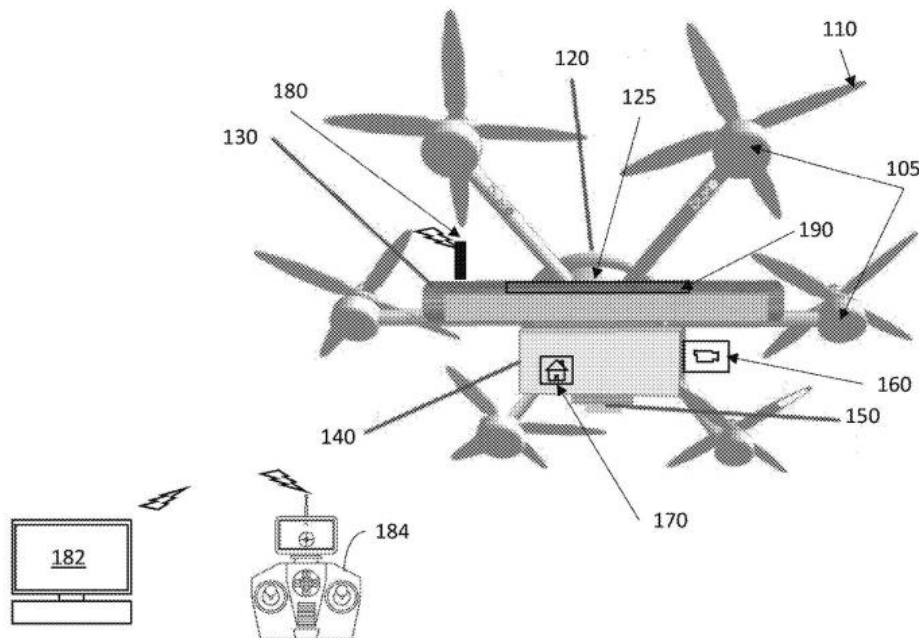


Рисунок 1.11 – Схема патенту US 20220237909 A1 «Система виявлення підземних об'єктів за допомогою набору сенсорів»

Система виконує тільки задачі пошуку вибухонебезпечних об'єктів під землею та на поверхні землі. Датчики виявлення об'єктів включають датчик для виявлення присутності металу в землі, такий як металодетектор, датчик для теплового зображення землі та виявлення аномалій у сигнатурах тепла в землі, такий як ІЧ-камера, і датчик для виявлення збурень у землі, що відрізняються від навколишнього бруду, наприклад, наземний радар. Дані автори збираються

зберігати на борту або передавати на наземну станцію. Подібним чином обробка даних може виконуватися на борту або на наземній станції.

Отримані сигнали запропоновано обробляти нейронними мережами для прийняття рішення про наявність чи відсутність у певній зоні та потім надавати звіти користувачу.

Передбачається, що процес пошуку вибухонебезпечних об'єктів та їх ідентифікація здійснюються оператором за допомогою отриманої з датчиків інформації та системою допомоги прийняття рішення, що аналізує отримані данні та видає області, де можлива наявність вибухонебезпечного об'єкту під землею.

Вітчизняний патент «ПЕРЕНОСНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОШУКУ ТА ВИЯВЛЕННЯ МІН» UA 125886 U [28] пропонує використовувати БПЛА з мультисенсорним модулем та відеокамери, що розташовані на гіростабілізованій платформі, яка прикріплена до безпілотного літального апарата коптерного типу, який зв'язаний через багатожильний електрокабель з пультом управління і обчислювальним пристроєм, які переносяться оператором. Запропонований комплекс дозволяє регулювати відстань від точки пошуку до оператора, тим самим підвищуючи його безпеку.

Комплекс складається з аеродинамічного підйомного пристрою у вигляді БПЛА коптерного типу, мультисенсорного модуля, в якому крім датчика радара може розміщуватися інфрачервона камера та гіперспектральна камера, і відеокамери, які розташовані на гіростабілізованій платформі, що прикріплена до БПЛА. Через багатожильний кабель, який закріплений на телескопічній катушці, БПЛА і все обладнання, що встановлене на гіростабілізованій платформі БПЛА, приєднано до блока живлення, який знаходиться в заплічному ранці. Через багатожильний кабель, який закріплений на телескопічній катушці, інформація від мультисенсорного модуля і відеокамери 3 передається до обчислювального пристрою, який знаходиться в заплічному ранці і з'єднаний з кабелем, обробляється в обчислювальному пристрої та надходить оператору на дисплей у захисних окулярах і навушники, вбудовані в захисному шоломі.

Котушки і закріплені на ремені. Підтримуюча рамка жорстко з'єднана з опорною планкою, яка, у свою чергу, з'єднана з підтримуючою рамкою ременем. Підтримуюча рамка, опорна планка і ремінь служать для носіння комплексу оператором. Блок живлення, що знаходиться в ранці, з'єднаний багатожильним кабелем із захисним шоломом, блоком управління, пультом управління БПЛА, блоком радара і з дисплеєм, встановленим в захисних окулярах оператора. На планці розміщений блок радара, який з'єднаний з датчиком радара, що знаходиться в мультисенсорному модулі, по кабелю (рис. 1.12).

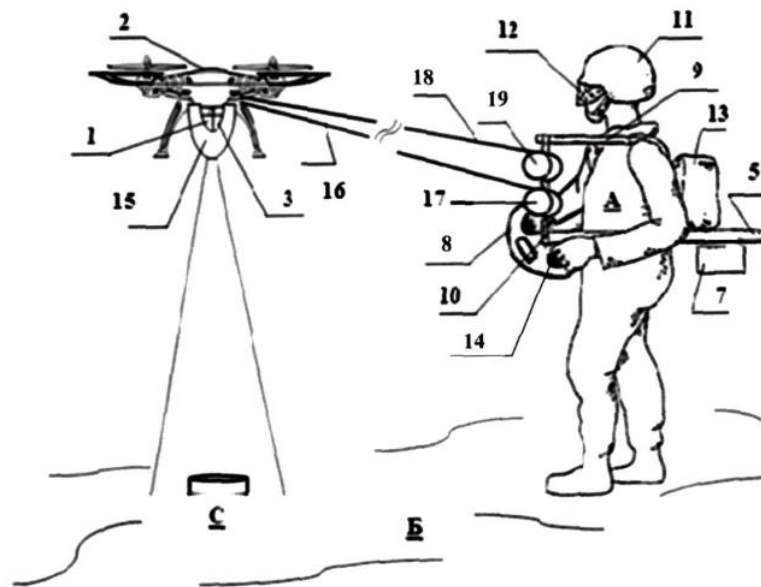


Рисунок 1.12 – Переносний комплекс для пошуку та виявлення мін із захисним ШОЛОМОМ

У робочому положенні комплексу оператор, перебуваючи на відстані від мультисенсорного модуля і відеокамери, спостерігає за досліджуваною поверхнею місцевості, що попадає у поле зору мультисенсорного модуля і відеокамери, за допомогою дисплея на захисних окулярах шолома. При знаходженні під мультисенсорним модулем і відеокамерою міни або іншого вибухового пристрою з мультисенсорного блока і відеокамери, через блок радара і обчислювальний пристрій, розташований у ранці, видається сигнал оператору на навушники в захисному шоломі і дисплей у захисних окулярах.

1.3 Методи виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості

Провівши аналіз усіх наведених систем можна зробити висновок: для виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів вони використовують один або декілька із звичайних методів. До таких методів відноситься дослідження території: використовуючи зображення з камери для пошуку незахованих вибухонебезпечних об'єктів великого розміру, за допомогою металошукача для пошуку металовмісних об'єктів на та під землею, застосовуючи георадар для пошуку об'єктів під та на землі, використовуючи тепловізійну камеру для знаходження неприкритих об'єктів, котрі не містять метал.

Зображення території на знімках камерою з гарним розширенням дозволяє провести поверхневий аналіз поверхні за допомогою нейронних мереж або власноруч спеціалістом. Цього методу буде достатньо для виявлення більшості неприкритих великогабаритних вибухонебезпечних об'єктів.

З переваг метода можна виділити швидкість та дешевизну, але значним недоліком є точність та маленька кількість типів об'єктів, що може бути знайдено.

У 1881р. Олександром Грехем Беллом винайдено металодетектор [29] (рис. 1.13), що зараз використовується для більш ретельного знешкодження значних територій. Виявляти металеві вироби в землі дозволяє електропровідність. Детектор працює за наступним принципом: котушка генерує електромагнітні хвилі певної частоти, які відбиваються від шуканої мети. Електронний блок обробляє відбиту хвилю і сигналізує про виявлення металевого предмета. Не всі метали мають однакову електропровідність. Цей параметр дозволяє зрозуміти, з якого матеріалу виготовлений об'єкт, ще до викопування. Найчастіше, але не завжди, якщо мова йде про міни, на одному полі знаходяться міни одного типу. Тому, коли здається винайти одну – за аналогічними показниками можна знайти й інші.



Рисунок 1.13 – Металошукач для розмінування [30]

З переваг метода можна виділити точність та обережність знешкодження для території, але значним недоліком є безпосередня участь у пошуку об'єкта та дуже велика ціна помилки для життя та здоров'я сапера, так як деякі міни можуть реагувати на зміни магнітного поля.

Георадар — це неінтрузивний метод зйомки підземної поверхні [31]. Цей неруйнівний метод використовує електромагнітне випромінювання в діапазоні мікрохвиль радіоспектру та виявляє відбиті сигнали від підповерхневих структур. Під час роботи георадарний передавач і антена випромінюють електромагнітну енергію в землю. Коли енергія стикається з похованим об'єктом або межею між матеріалами, що мають різну діелектричну проникність, вона може відбиватися, заломлюватися або розсіюватися назад на поверхню. Потім приймальна антена може записувати зміни у зворотному сигналі. Ці сигнали можуть бути екстрапольовані комп'ютером у радарограму (рис. 1.14), яка показує розташування та глибину виявлених об'єктів.

Обмеження цього пристрою полягає в тому, що він може виявити лише присутність об'єкта, а не будь-які конкретні деталі, щоб більш детально визначити, що це за об'єкт.

З переваг метода можна виділити точність та швидкість, але значним недоліком є коштовність та можливість виявити лише присутність об'єкта, а не будь-які конкретні деталі, щоб більш детально визначити, що це за об'єкт.

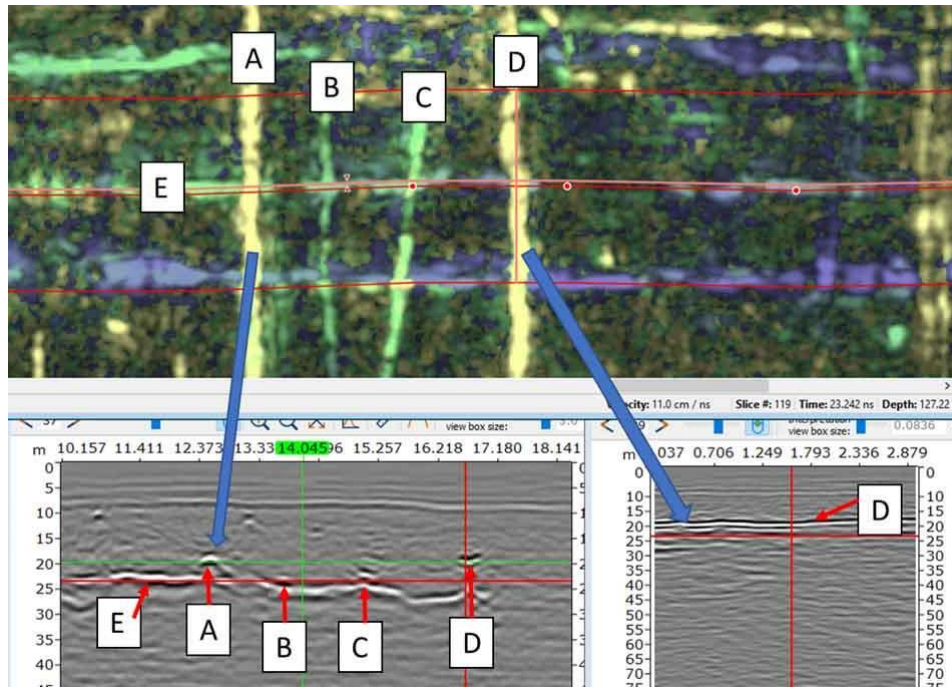


Рисунок 1.14 – Зображення отриманих даних георадаром та порівняння із картою місцевості

Термографічна камера, яку також можна назвати інфрачервоною (ІЧ) камерою або тепловізійною камерою, — це пристрій, який створює зображення за допомогою інфрачервоного випромінювання. Це схоже на звичайну камеру, яка формує зображення за допомогою видимого світла, але замість цього вона фіксує зображення з інфрачервоних хвиль електромагнітного спектру. Принцип роботи інфрачервоної камери полягає в тому, що вона виявляє інфрачервону енергію та повертає її. Використання тепловізійної камери дозволяє знайти об'єкти, котрі не мають у конструкції металевих частин а при певних умов об'єкти, котрі забурено у земну поверхню на невелику глибину. Наприклад, неглибоко закопані у пісок міни мають деякі затримки у теплообміну, за рахунок чого ділянки, де вони закопані, будуть повільніше нагріватися зранку та стигнути вечорі. Теж саме можна виявити на поверхні землі у різний час доби.

1.4 Постановка мети та задач дослідження

Проведений огляд та аналіз існуючих систем виявлення та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів показав універсальність та ефективність їх застосування.

Згідно з проведеного огляду та аналізу існуючих систем виявлення та знешкодження вибухонебезпечних об'єктів для подальшого дослідження обрана система із застосуванням БПЛА. Це обумовлено тим, що система із застосуванням БПЛА вважаються найкращим рішенням для швидкої та безпечної первинної перевірки великих відкритих місцевостей з ускладненим рельєфом на ринку, тобто саме цей вид застосовується найчастіше під час перевірки полів великої площі.

Загалом, система виявлення вибухонебезпечних об'єктів із застосуванням БПЛА складається з БПЛА та інтегрованого у нього одного або декількох датчиків за допомогою яких здійснюється пошук, а іноді навіть ідентифікація вибухонебезпечного об'єкту.

Існуючі рішення пропонують використовувати коштовні моделі БПЛА із декількома методів пошуку та виявлення, котрі інтегровані у систему певного БПЛА. Системи, котрі не є інтегрованими у певні БПЛА використовують лише один з методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів, що значно зменшує кількість об'єктів, що може бути виявлено. Аби підвищити кількість об'єктів, що може бути виявлено та доступність систем з використанням БПЛА під час проведення пошуку вибухонебезпечних об'єктів доцільним є створення універсальної системи, що може бути використана будь-яким БПЛА, котрий відповідає певним умовам, та використовує декілька методів виявлення одночасно.

Вирішено, що для реалізації поставленої мети дослідження краще всього створити систему, котра буде використовувати декілька методів пошуку одночасно та має можливість використовуватись різними БПЛА, що відповідають вимогам до вантажопідйомності. Це обумовлено простотою для

створення та використання інтерфейсу взаємодії системи, датчиків для отриманих даних та оператора.

Метою дослідження є підвищення точності та універсальності системи пошуку вибухонебезпечних об'єктів за рахунок використання декількох методів пошуку одночасно та відокремлення системи від певної моделі БПЛА.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити структурну схему системи автоматизованої системи;
- обрати компоненти системи автоматизованої системи;
- розробити алгоритм роботи автоматизованої системи;
- обрати мову програмування;
- обрати середовище розробки;
- реалізувати роботи автоматизованої системи у вигляді програмного засобу;
- провести машинний експеримент.

1.5 Висновки до першого розділу

Гуманітарне розмінування – це область процесу розмінування, котре передбачає комплексний підхід до території та включає огляд усієї території, визначення сумнівних районів, виявлення ділянок з вибухонебезпечними об'єктами, їх очищення. Розвиток автоматизації зробив можливим створення сучасних систем виявлення вибухонебезпечних об'єктів які дозволяють спеціалістам здійснювати пошук вибухонебезпечних об'єктів швидше, точніше та більш безпечно.

У ході аналізу існуючих рішень із застосуванням автоматизації, розглянуті роботи для проведення небезпечних робіт та системи виявлення із БПЛА, та обрано конкретний тип системи для дослідження, а саме система виявлення із БПЛА.

Розглянуто методи виявлення вибухонебезпечних об'єктів, які будуть використовуватися під час виконання атестаційної роботи.

Сформовано мету та задачі дослідження, сформовано чіткий план подальших дій.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ

2.1 Визначення класу вибухонебезпечних об'єктів. Вибір методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості

В процесі пошуку вибухонебезпечних об'єктів використовують автоматизовані системи. Виявлення об'єктів можливо завдяки використанню методів виявлення вибухонебезпечних об'єктів. Кожен метод має свої переваги та недоліки у питанні пошуку певних типів вибухонебезпечних об'єктів. Для досягнення більшої результативності зазвичай використовується комбінація із декількох методів, котрі не конфліктують один з одним. Доцільність використання певних методів залежить від об'єктів, котрі потрібно виявити на потенційно небезпечній території.

Автоматизована система виявлення, що пропонується, має знаходити металеві об'єкти, що знаходяться на поверхні землі або закопані в неї не більш ніж на тридцять сантиметрів та неметалеві об'єкти, що знаходяться на поверхні землі.

До класу ВНО що розглядаються можливо віднести (рис. 2.1):

- мінометна міна;
- протитанкова міна;
- осколково-фугасний артилерійський снаряд;
- знаряддя гранатомета;
- протипіхотна спрямована осколкова;
- протипіхотна міна;
- протипіхотна фугасна міна "Пелюстка";
- касетна протитанкова міна;
- осколкова бойова частина 9н24.



Рисунок 2.1 – Клас ВНО (металеві, металовмісні та неметалеві вибухонебезпечні об'єкти), що виявляються з використанням АС виявлення потенційно ВНО на відкритій місцевості

Використання георадару є дуже коштовним та неточним методом, тому для системи буде обрано металошукач.

Для виявлення цих об'єктів доцільним є використання двох методів: пошук металевих або металовмісних вибухонебезпечних об'єктів під землею або на поверхні землі за допомогою металошукача або георадару; пошук неметалевих об'єктів, що знаходяться на поверхні землі за допомогою візуального або програмного аналізу зображення з тепловізійної камери.

2.2 Розроблення структурної схеми автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості

Для розроблення АС виявлення потенційно ВНО на відкритій місцевості необхідним є розроблення та опис структурної схеми (рис. 2.2).

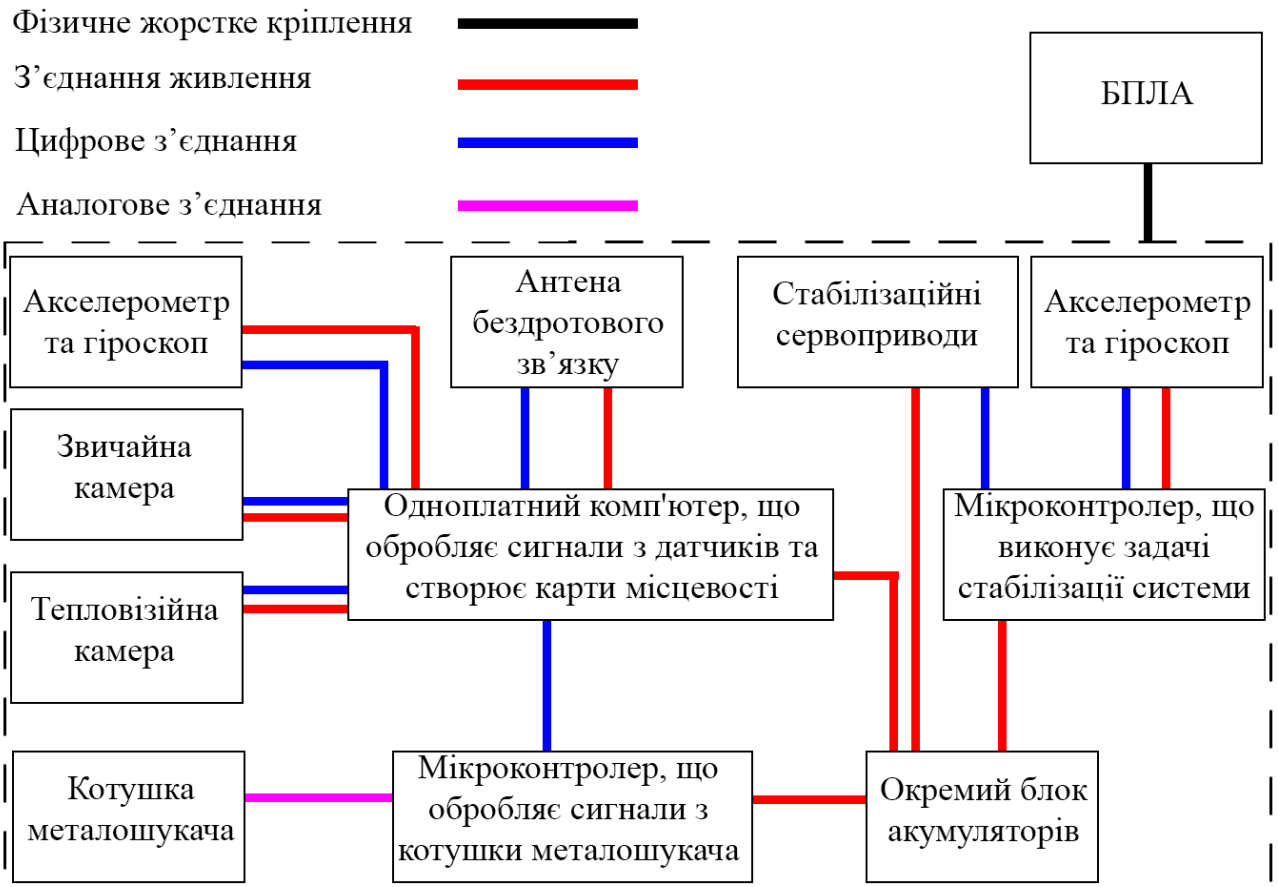


Рисунок 2.2 – Структурної схеми АС виявлення потенційно ВНО на відкритій місцевості

Для розроблення системи виявлення ВНО необхідним є наявність металошукача та тепловізійної камера. У якості металошукача є доцільним використовувати готову котушку. Котушку слід розмістити на відстані не менш ніж 30 сантиметрів від БПЛА та мікроконтролерів системи, інакше є можливість вивести зі строю мікроконтролери, викликати перешкоди у передачі даних із системи або до БПЛА оператором.

Важливою вимогою для коректного використання котушки металошукача є зберігання невеликої відстані між поверхнею землі та котушки. Якщо ця відстань буде більше ніж 20 сантиметрів металодетектор починає ігнорувати об'єкти, котрі знаходяться під землею. Очікується, що оператор матиме прямий зоровий контакт з пристроєм, що надає можливість виправити ситуацію, коли котушка металошукача знаходиться занадто далеко від поверхні землі.

Встановлення поряд з тепловізійною камерою звичайної високого розрішення та встановлення на ній того ж ракурсу надає змогу оператору порівняти дані з датчиків із зовнішнім виглядом місцевості щоб зробити більш вагомі висновки щодо вірного чи хибного спрацювання датчиків у випадках, коли вибухонебезпечний об'єкт знаходиться на поверхні землі.

Використання системи виявлення, що розробляється, має бути безпечним для життя та здоров'я оператора. Питання безпечності вирішується забезпеченням безпечної відстані місця виконання пошукових робіт та оператора за допомогою бездротового зв'язку. Тобто, система повинна мати можливість забезпечити стабільний бездротовий або дротовий зв'язок на достатній для безпечного виконання пошукових робіт відстані (50-100 метрів).

Важливим є забезпечення стабільності положення системи с датчиками у перпендикулярному положенні відносно земної поверхні. Незначні відхилення (до двох градусів) дозволяються, але відхилення на п'ять та більше градусів роблять отримані дані помилковими так як система буде фіксувати на мапі їх із сдвигом відносно реального місця отриманих даних. Використання системи із двома стабілізуючими двигунами та модулем із акселерометром та гіроскопом надає можливість компенсувати відхилення БПЛА від перпендикулярного положення відносно земної поверхні під час збору даних.

Завдяки трансляції отриманих даних у реальному часі оператор може зробити висновки про певні ділянки власноруч, але задля економії часу та зручності є доцільним створення можливості вести запис цих даних та відображати їх у зручній для оператора формі. Доцільним рішенням можна вважати створення карти із відображенням отриманих та оброблених даних у певних ділянках пройденого шляху. Це рішення дозволить зберігати усі отримані данні та відображати їх у зручній для обробки оператором формі, наприклад у вигляді зображень. Для створення таких карт система має отримувати не тільки данні про наявність або відсутність вибухонебезпечних об'єктів а й про переміщення системи у простоті. Використовуючи додатковий, окремий від стабілізуючого задля уникнення модуль із акселерометром та гіроскопом

система має змогу фіксувати кут повороту та швидкість переміщення. Цих даних буде достатньо для створення карти, де стартовою точкою відліку позиції буде положення системи у просторі на початку старту програми виявлення.

Обрані датчики потрібно опитувати, щоб отримати та обробити дані задля подальшої передачі їх користувачу. Опитування датчиків та обробка отриманих даних може здійснюватися за допомогою мікроконтролера для котушки металошукача та одноплатного комп'ютера для тепловізійної камери.

Для забезпечення автономної роботи та універсальності системи необхідно використовувати окремий блок акумуляторів для живлення усіх компонентів системи.

Задля виключення ймовірності створення перешкод та шумів прийнято рішення використовувати неметалеві трубки для каркасу та розташування котушки на відстані 1 метр 20 сантиметрів від універсальної хрестовини.

Універсальна хрестовина дозволяє підчепити систему до будь-якого БПЛА, що задовольняє вимогам вантажопід'ємності та має достатньо місця для жорсткого кріплення.

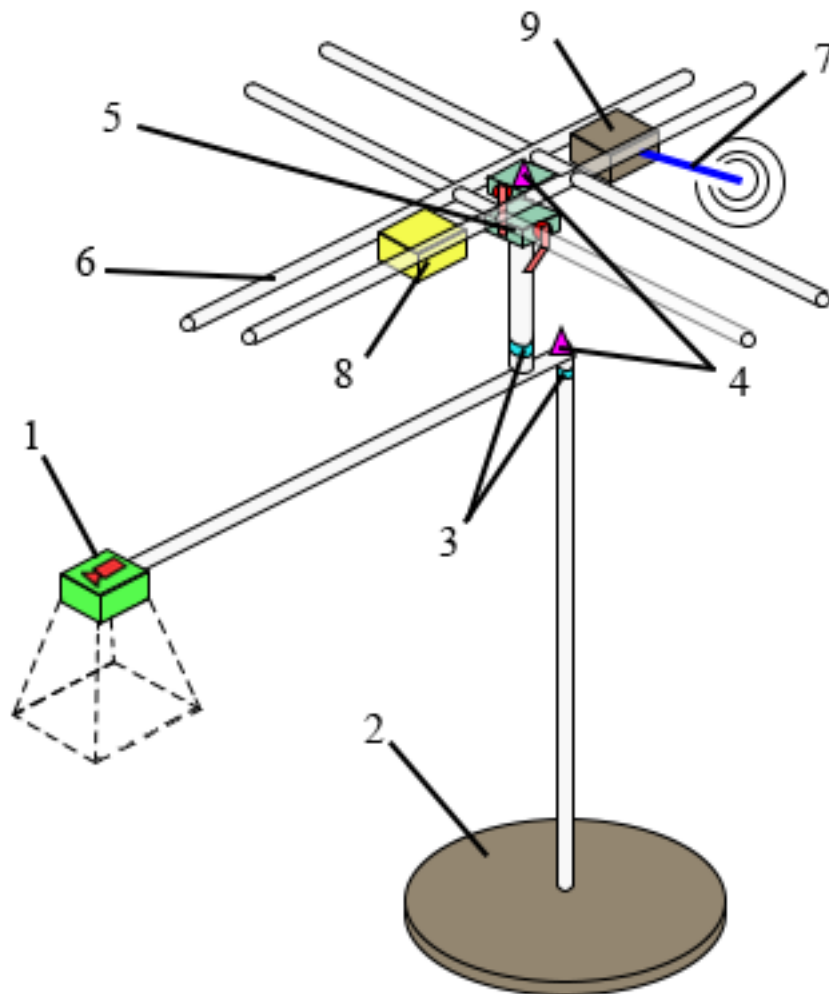
Для отримання якісних зображень із обох камер без шкідливого впливу котушки прийнято рішення розмістити блок камер на відстані 70 сантиметрів від кріплення котушки та на висоті 1 метр над поверхнею землі задля більш якісних фото місцевості з обох камер.

Стабілізуючий модуль із акселерометром та гіроскопом встановлено на тій частині конструкції, що доцільно стабілізувати. Тобто стабілізуються тільки блок камер та котушка металошукача. Інші блоки приймають теж положення, що й БПЛА.

Другий модуль із акселерометром та гіроскопом, за допомогою якого система отримує дані про поворот системи та швидкість переміщення, встановлюється на хрестовині або на блоці керування.

Блакитними ділянками на каркасних трубах позначено місця де можливе роз'єднання труб для забезпечення зручнішого транспортування системи.

Для наглядного уявлення вигляду системи та розташування компонентів створено демонстраційну модель (рис. 2.3).



1 – блок із тепловізійною та звичайною камерами; 2 – котушка металошукача; 3 – кріплення для більш зручного транспортування; 4 – два модуля із акселерометром та гіроскопом; 5 – два стабілізаційних сервоприводів; 6 – корпусні неметалеві трубки; 7 – антена бездротового зв'язку; 8 – окремий блок акумуляторів; 9 – блок із мікроконтролером та однопалатним комп'ютером;

Рисунок 2.3 – Демонстраційна модель системи виявлення вибухонебезпечних об'єктів, що розробляється

2.3 Вибір компонентів автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості

2.3.1 Вибір датчиків та пристроїв обробки інформації

За створеною схемою системи зрозуміло, що нам потрібно обрати існуючі компоненти системи, до яких входять мікроконтролери, одноплатні комп'ютери, датчики, акумулятори, перетворювачі та інше.

Для системи стабілізації, що є окремою підсистемою, потрібно обрати два сервопривода для корекції положення системи у двох вимірах, акселерометор, гіроскоп та мікроконтролер.

З необхідними розрахунками для стабілізації пристрою у просторі впорається мікроконтролер Arduino NANO. Платформа Arduino Nano 3.0 побудована на мікроконтролері ATmega 328 та призначена для програмування автономних мікропроцесорних об'єктів або може підключатися до програмного забезпечення, що виконується на комп'ютері (наприклад, Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperSollider) [32]. Вона збігається за функціональністю з Arduino Uno, але має інший формфактор. Замість стандартного USB порту має Micro-B USB порт. Робоча напруга мікроконтролеру 5В, До неї можна підключити багато моделей сервоприводів та модулів із акселерометром та гіроскопом.

Модуль MPU-6050 GY-521 – компактний та легкий модуль 3-х осьового акселерометра і 3-х осьового гіроскопа, керований по протоколу I2C (TWI). Цей датчик застосовується для визначення положення в просторі, в системах стабілізації положення, стабілізації прямолінійного руху і руху по заданій кривій [33]. Його легко можна підключити до цифрових портів Arduino NANO, що дозволить нам отримувати інформацію про відхилення пристрою відносно встановленого положення.

Для більшої точності отриманих з металошукача та камер даних є доцільним обрати потужні сервоприводи, наприклад модель MG996. Потужний серводвигун з металевим приводом. Керування відбувається аналоговою мікросхемою, підключення до ардуіно відбувається через цифровий порт. Може працювати в двох режимах в залежності від живлення: 4,6 В та 6 В. При живленні 6 В має робочу швидкість 60° за 0,13 сек та пусковий момент 11 кг. Кут повороту дорівнює 180°.

Для обробки інформації з датчиків та створення мапи місцевості, де буде здійснюватися пошук ВНО потрібно обрати одноплатний комп'ютер, що здатен обробляти сигнали з плати Arduino NANO, інфрачервоної та звичайної камери та відправляти інформацію бездротовими методами до користувача. Таким вимогам задовольняє одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4. Ключовими характеристиками Raspberry Pi 4 є високопродуктивний 64-розрядний чотирьох-ядерний процесор Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz, апаратне декодування відео в 4Кр60, від 1 до 4 Гб оперативної пам'яті LPD 2400 SDRAM, дводіапазонна бездротова мережа на 2,4 та 5,0 ГГц, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, два порти USB 3.0, два порти USB 2.0. Стандартний 40-контактний роз'єм GPIO Raspberry Pi (повністю зворотна сумісність з попередніми платами), 2-смуговий порт камери MIPI CSI, 2-смуговий порт дисплея MIPI DSI, 4-полюсний стерео аудіо та композитний відео порт. Живлення подається через через роз'єм USB-C (5 В постійного струму, мінімум 3 А) або через роз'єм GPIO (5 В постійного струму, мінімум 3 А) або через PoE (за допомогою окремого модуля PoE HAT).

Безпечна робота оператора забезпечується за допомогою бездротового зв'язку з системою. Планується, що зв'язок буде виконуватись через WI-FI мережу. Є необхідним забезпечити безперервний дротовий зв'язок на якомога більшу відстань. Розширення можливостей одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4 за допомогою Realtek rtl8188ftv Wireless Lan 802.11n USB 2.0 Network adapter дозволяє забезпечити бездротовий зв'язок за допомогою мережі WI-FI на відстані до 200м, що задовольняє вимогам.

Для збору інформації про теплове зображення території, де проводять пошуки ВНО, потрібно обрати модуль із інфрачервоною камерою. Seek Thermal Compact PRO гарно підходить для створення теплової карти місцевості у процесі пошуку ВНО за допомогою БПЛА [34]. Камера має розрядність 320 пікселів x 240 пікселів, має розміри 44 мм x 25 мм x 25 мм, кут огляду становить 24 градуси по горизонталі 32 градуси по вертикалі, що забезпечує достатню якість теплового зображення при знаходженні на відстані від 1 до 1,20 метрів від поверхні землі.

Також, для порівняння, винесення більш точного рішення про наявність ВНО в певній області та більш зручного орієнтування на створеній карті місцевості необхідно додати звичайну камеру, зображення з котрої буде надходити до одноплатного комп'ютеру Raspberry Pi 4. Raspі CAM v2 це камера створена спеціально для Raspberry Pi яка має сенсор Sony IMX219 8MP з покращеним фіксованим фокусом. Камера працює з усіма моделями Raspberry Pi 1, 2, 3 та 4 [35]. Камера дозволяє робити статичні фото з роздільною здатністю 3280x2464 пікселів та знімає відео в трьох режимах – 1080p @ 30fps, 720p @ 60fps і 640x 480p @ 90fps.

Для виявлення ВНО на поверхні та під землею є необхідним використання металошукача. У якості металошукача був обраний комплект, котрий складається з плати QUASAR ARM та котушки DD 30X32. Робоча частота котушки дорівнює 6,8 кГц та дозволяє виконувати пошук металевих та металовмісних об'єктів на відстані до 40 сантиметрів у глибину при відстані котушки від землі не більш ніж на 10 сантиметрів. Точність виявлення залежить від розміру об'єкта. Потребує живлення 6 В та струму 320 мА.

Створення карти за отриманими даними є неможливим без отримання даних про переміщення пристрою в режимі онлайн. Забезпечення реєстрації переміщення у просторі стає можливим за допомогою додаванням акселерометру із гіроскопом. У якості такого модуля будемо використовувати модуль MPU-6050 GY-521.

Сигнали з MPU-6050 GY-521, металошукача QUASAR ARM та камер Raspі CAM v2 та Seek Thermal Compact PRO надходять до одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4. З корегуючого модуля з гіроскопом та акселерометром сигнали надходять до мікроконтролеру Arduino NANO, що не з'єднено з одноплатним комп'ютера Raspberry Pi 4. З мікроконтролеру Arduino NANO сигнал потрапляє до сервоприводів, що корегують положення системи.

Враховуючи всі обрані модулі та сигнальних з'єднань, створимо схему взаємодії обраних модулів (рис. 2.4).

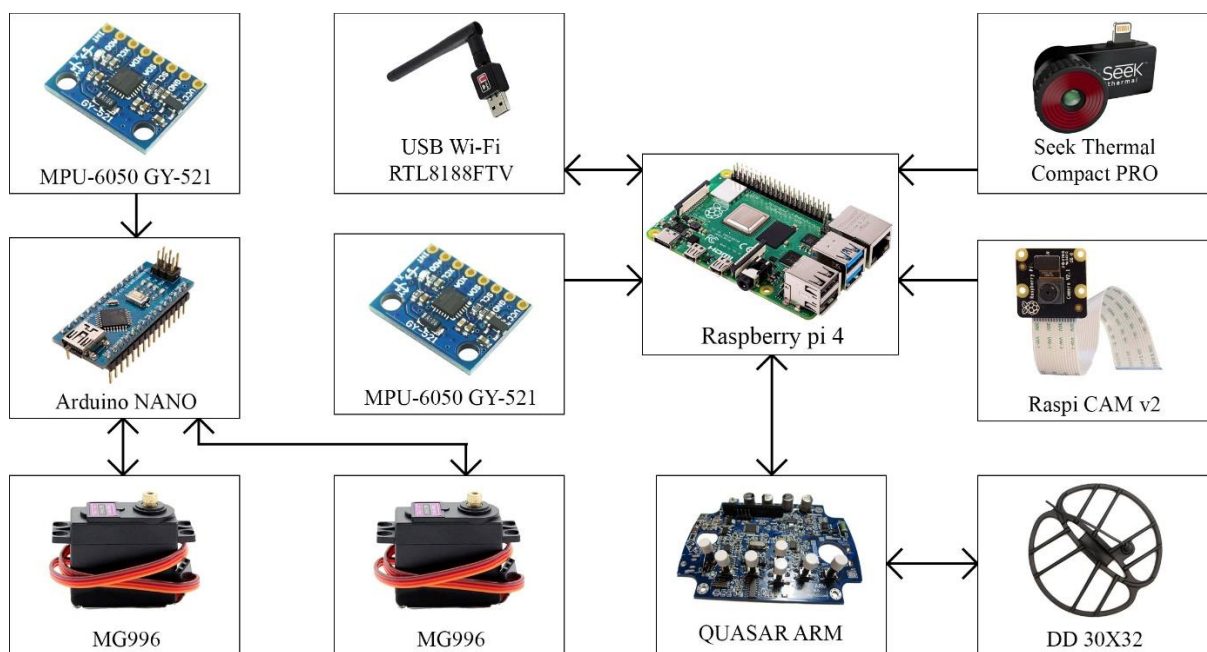


Рисунок 2.4 – Схема взаємодії обраних модулів системи

2.3.2 Розрахунок часу автономної роботи та вибір джерела живлення

Для забезпечення достатнього часу автономної роботи пристрою потрібно використовувати акумуляторні батареї. Обирати акумуляторні батареї потрібно з урахуванням властивостей живлення пристроїв, що будуть споживати енергію.

Для забезпечення більш точної обробки сигналів з металошукача, котрий виконано як комбінацію котушки DD 30X32 та плати QUASAR ARM є

доцільним відокремлення лінії живлення від виходів Raspberry пі 4 та підключення живлення плати QUASAR ARM одразу до джерела живлення.

Споживання струму модулів із гіроскопом та акселерометром MPU-6050 GY-521 є достатньо малим щоб підключити їх до виходів живлення плати Arduino NANO та одноплатного комп'ютера Raspberry пі 4, котрі мають змогу постачати напругу у 5 В та 3,3 В.

Для проведення розрахунків потрібно виявити параметри живлення для кожного із використаних пристроїв. Усі виявлені параметри занесемо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники допустимої напруги та споживаного струму

Назва споживача	Допустима напруга U, В	Споживаний струм I, мА
Raspberry пі 4 +	5-6,5	100
MPU-6050 GY-521	3-5	4
MG996	4,8-7,2	500-900
USB Wi-Fi RTL8188FTV	5	200
Seek Thermal Compact PRO	5	250-300
Raspi CAM v2	5	200-250
Arduino nano	5	20
QUASAR ARM + DD 30X32	6-7,5	280

Загальне споживання елементів системи є сума споживання всіх елементів схеми розраховується за допомогою формули (2.1):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n, \quad (2.1)$$

де I – загальне споживання струму у системи;

$I_{1,2,\dots,n}$ – споживання струму окремих елементів системи.

Модулі USB Wi-Fi RTL8188FTV, MPU-6050 GY-521, Seek Thermal Compact PRO та Raspi CAM v2 підключаються до одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 із лінією живлення включно, тобто при розрахунку споживання струму одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 потрібно врахувати усі під'єднані до нього периферійні пристрої. Використавши цю інформацію, розрахуємо загальний споживний струм одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 за допомогою формули (2.1) та даних таблиці 2.1:

$$250 + 300 + 200 + 100 + 4 = 854 \text{ мА.}$$

Тобто споживаний струм одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 із усіма під'єднаними до нього модулями дорівнює 854 мА.

Також потрібно розрахувати споживання струму плати Arduino nano та модуля MPU-6050 GY-521 із підсистеми стабілізації так само, як одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4, за формулою (2.1) та даних таблиці 2.1, тобто модуль MPU-6050 GY-521 під'єднано до плати Arduino nano та споживаний струм Arduino nano є сумою споживаного струму плати Arduino nano та модуля MPU-6050 GY-521:

$$20 + 4 = 24 \text{ мА.}$$

Тобто споживаний струм одноплатного комп'ютера Arduino nano із усіма під'єднаними до нього модулями дорівнює 24 мА, що є дуже малим значенням.

До деяких пристроїв слід подавати живлення не з плати Arduino NANO, а з окремої лінії живлення, бо піни живлення плати Arduino NANO можуть витримувати максимальну напругу у 800 мА а підвищення цього значення може пошкодити плату, що призведе до неможливості подальшого використання плати [36].

Враховуючи вимогу до струму сервоприводів MG996 у 900 мА підключати їх до плати Arduino NANO не є безпечним та слід використати окрему лінію або джерело живлення.

Необхідним є розрахувати споживання струму сервоприводів для вибору окремого джерела живлення використовуючи формулу для розрахунку споживання елементів системи (2.1) та дані таблиці 2.1:

$$900 + 900 = 1800 \text{ мА.}$$

Споживання струму сервоприводів дорівнює 1800 мА при великому навантаженні. Обрані максимальні значення споживання для запобігання передчасної розрядки акумулятора.

У якості акумулятора для джерела живлення обрана модель Westinghouse Li-ion ICR18650, що видає напругу 3,7 В та має ємність 3000 мА/год. Максимально напруга при повному заряді дорівнює 4,2 В а при повному розряді 2,75 В. Для усіх пристроїв, що використовуються в системі, потрібна потужність 5 В та більше. Послідовне вмикання однакових акумуляторів підвищує напругу на виході згідно формули (2.2):

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n, \quad (2.2)$$

де U – загальна напруга на виході блоку акумуляторів;

$U_{1,2,\dots,n}$ – напруга кожного акумулятора, що підключено послідовно.

При цьому ємність акумуляторів залишається незмінною.

Використовуючи формулу (2.2) вирахуємо потрібну кількість акумуляторів, для цього потрібну напругу 5 В необхідно поділити на напругу одного акумулятора 3,7 В акумуляторів та округлити отримане значення до більшого дійсного числа:

$$\frac{5}{3,7} = 1,351 \text{ В.}$$

Округливши 1,351 до більшого цілого значення після розрахунку потрібної кількості акумуляторів отримаємо 2, тобто нам потрібно 2 акумулятори напругою 3,7 В. Отримана напруга на виході акумуляторного блоку із двох паралельно з'єднаних акумуляторів буде дорівнювати:

$$3,7 + 3,7 = 7,4 \text{ В.}$$

Отримане значення напруги у 7,4 В забагато для плати Arduino nano та одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4. Підключення їх напругу виведе з ладу обидва пристрої. Для того, щоб вирівняти напругу до допустимих 5 В необхідно використовувати понижаючий перетворювач LM2596S DC-DC 3A з регулюванням вихідної напруги від 1,25 В до 35 В при вхідному від 4,5 В до 40 В. КПД пристрою при пониженні з 7,4 В до 5 В дорівнює приблизно 92 %.

До виходу перетворювача підключимо плату Arduino nano та одноплатний комп'ютер Raspberry pi 4 із усією периферією, окрім плати QUASAR ARM та котушки DD 30X32, які будуть під'єднанні безпосередньо до акумуляторів.

Загальне споживання струму такої системи буде дорівнювати суми споживання струму плати Arduino nano, одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 та плати QUASAR ARM та котушки DD 30X32 за формулою (2.1):

$$854 + 24 + 280 = 1158 \text{ мА.}$$

Для більш легкого розуміння отриманих результатів створимо схему підключення живлення до елементів системи пошуку ВНО із вказанням напруги на лінії (рис. 2.5).

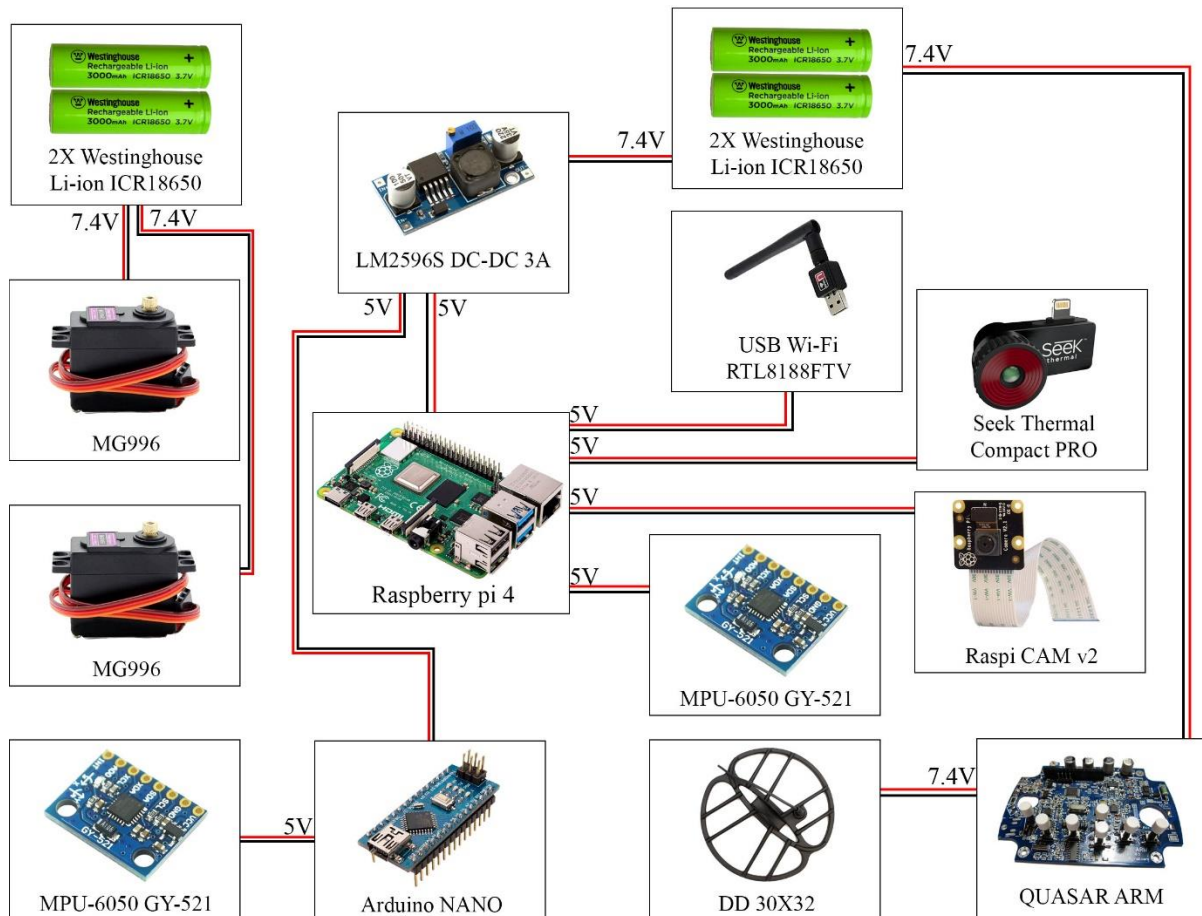


Рисунок 2.5 – Схема підключення живлення до елементів системи пошуку ВНО із вказанням напруги на лінії

Потужність схеми розраховується за допомогою формули (2.3):

$$P = I_1 \cdot U_1 + I_2 \cdot U_2 + \dots + I_n \cdot U_n, \quad (2.3)$$

де $I_{1,2,\dots,n}$ – загальне споживання струму системи 1,2,...,n;

$U_{1,2,\dots,n}$ – загальна потреба напруги у системі 1,2,...,n.

Тобто потужність акумуляторного блоку за формулою (2.3) дорівнює:

$$P_{\text{акум}} = 7,4 \cdot 3 = 22,2 \text{ Вт/год.}$$

Потужність плати Arduino nano, одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 та плати QUASAR ARM та котушки DD 30X32 за формулою (2.3):

$$P_{\text{плат}} = 5 \cdot 0,878 + 7,4 \cdot 0,28 = 6,462 \text{ Вт.}$$

Формула для розрахунку наближеного до дійсного часу автономної роботи споживача від акумулятора (2.4):

$$t = \frac{P_{\text{акум}}}{P_{\text{спож}}}, \quad (2.4)$$

де t – наближеного до дійсного часу автономної роботи споживача;

$P_{\text{акум}}$ – потужність акумулятора;

$P_{\text{спож}}$ – потужність споживача.

Щоб визначити наближений до дійного час автономної роботи схеми від одного повністю зарядженого акумулятора потрібно поділити потужність акумулятора на потужність схеми (2.4):

$$t_{\text{плат}} = \frac{22,2}{6,462} = 3,435 \text{ год.}$$

Тобто від двох акумуляторів потужністю 22,2 Вт/год плата Arduino nano, одноплатного комп'ютер Raspberry pi 4 та плата QUASAR ARM з котушкою DD 30X32 матимуть живлення для роботи приблизно 3 години 20 хвилин.

Для підключення сервоприводів буде використано окремий блок із двох акумуляторів Westinghouse Li-ion ICR18650, що також відає напругу 7,4 В та має потужність 22,2 Вт/год. Це обумовлено можливими перешкодами для сигналів з датчиків під час роботи сервоприводів та їх підвищених умов до живлення, а саме більша напруга та споживання струм.

Для розрахунку часу автономної роботи сервоприводів від окремого блоку акумуляторів потрібно визначити потужність сервоприводів за формулою (2.3):

$$P_{\text{серв}} = 7 \cdot 1,800 = 12,6 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо час, котрий сервоприводи можуть працювати від блоку акумуляторів подібно до розрахунку часу за формулою часу автономної роботи споживача від акумулятора (2.4):

$$t_{\text{плат}} = \frac{22,2}{12,6} = 1,76 \text{ год.}$$

Тобто від двох акумуляторів потужністю 22,2 Вт/год два сервоприводи матимуть живлення для роботи приблизно 1 годину 45 хвилин.

За загальний час автономної роботи системи обирається найменший час роботи одного із окремих компонентів системи. Порівняємо час автономної роботи плати QUASAR ARM, одноплатного комп'ютера Raspberry pi 4 та плати Arduino nano з часом автономної роботи сервоприводів MG996. 1 година 45 хвилин менше за 3 години 20 хвилин. Тобто, якщо обраний для системи БПЛА має час автономної роботи більший ніж сервоприводи, часом автономної роботи системи без заміни або зарядження акумуляторів може вважатися 1 година 45 хвилин.

Для забезпечення автономної роботи системи протягом 1 години 45 хвилин використовується 2 блока акумуляторів, що містять 2 акумулятора Westinghouse Li-ion ICR18650, що видає напругу 3,7 В та має ємність 3000 мА/год.

2.3.3 Розрахунок загальної ваги

Майже єдиною умовою для обирання БПЛА для системи є вантажопідйомність: БПЛА повинен мати можливість переносити систему над полем, на якому виконується пошук ВНО. Вага системи визначає мінімальну допустиму вантажопідйомність та складається з суми ваги усіх обраних компонентів та складових корпусу.

Корпус системи буде зроблено із труб поліпропіленових PN20. Вони забезпечують достатню жорсткість та легкість. Для виготовлення корпусу за схемою системи (рис. 2.2) достатньо 250 см труби, у якої товщина стінки дорівнює 3,4 мм а зовнішній діаметр дорівнює 20 мм. Така конструкція буде важити приблизно 425 гр.

Вагові характеристики та кількість використаних плат, датчиків та пристроїв системи занесемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники ваги та кількості усіх елементів системи

Назва пристрою, плати або датчику	Вага F , гр.	Використана кількість, шт.
Raspberry pi 4 +	45	1
MPU-6050 GY-521	5	2
MG996	55	2
USB Wi-Fi RTL8188FTV	40	1
Seek Thermal Compact PRO	14	1
Raspi CAM v2	4	1
Arduino nano	6	1
QUASAR ARM	40	1
DD 30X32	800	1
Westinghouse Li-ion ICR18650	46	4
LM2596S DC-DC 3A	10	1
PN20	425	1

Формула загальної ваги системи дорівнює суми усіх пристроїв помножених на кількість (2.5):

$$F_{\text{заг}} = F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \dots + F_n \cdot y_n, \quad (2.5)$$

де $F_{\text{заг}}$ – загальна вага системи;

$F_{1,2,\dots,n}$ – вага певного елемента системи;

$u_{1,2,\dots,n}$ – кількість певного елемента у системи.

Використовуючи формулу для розрахунку загальної ваги системи (2.5) та дані з таблиці (2.2) знайдемо загальну вагу системи:

$$F_{\text{заг}} = 45 + 5 \cdot 2 + 55 \cdot 2 + 40 + 14 + 4 + 6 + \\ + 40 + 800 + 46 \cdot 4 + 10 + 425 = 1688 \text{ гр.}$$

Загальна вага системи дорівнює 1688 грам, що дорівнює 1,7 кілограмів з округленням до більшого десятиного значення. Вимоги до вантажопідйомності БПЛА, що буде переносити системи, становлять змогу підняти та транспортувати прикріплений вантаж вагою не менш ніж 1,7 кілограмів.

2.4 Розроблення алгоритму роботи автоматизованої системи виявлення потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості

Система пошуку ВНО складається із двох окремих систем. Перша керується платою Arduino nano та вирішує задачу стабілізацію відносно початкового положення. Друга система керується одноплатним комп'ютером Raspberry pi 4 та зчитує дані з датчиків, обробляє їх, створює 2D карту місцевості, на якій відбувається пошук, та аналізує її.

Система стабілізації починає свою роботу із моменту подачі живлення на плату Arduino nano. Після цього оператор має 5 секунд, щоб відкоригувати положення системи так, щоб котушка металошукача знаходилася перпендикулярно поверхні, яка буде перевірятися на наявність ВНО. Після очікування 5 секунд система зчитає поточні дані із акселерометру та гіроскопу та запам'ятає положення частини системи із датчиками. Далі відбувається опитування акселерометру та гіроскопу, розрахунок кутів відхилення та порівняння їх з початковими. Якщо відхилення присутнє система компенсує його за допомогою сервоприводів. Виконання опитування, розрахунку та

корегування відбувається кожні 0,03 секунди (допустима частота опитування обраного модуля – 0,01 секунди). Якщо стабілізація відбувається некоректно або оператор не встиг виставити положення системи згідно умовам слід вимкнути систему та повторити корегування. Алгоритм виконується безперервно до вимикання системи або до розрядження батареї.

Згідно описаного алгоритму створимо блок-схему алгоритму системи стабілізації положення датчиків (рис. 2.5).

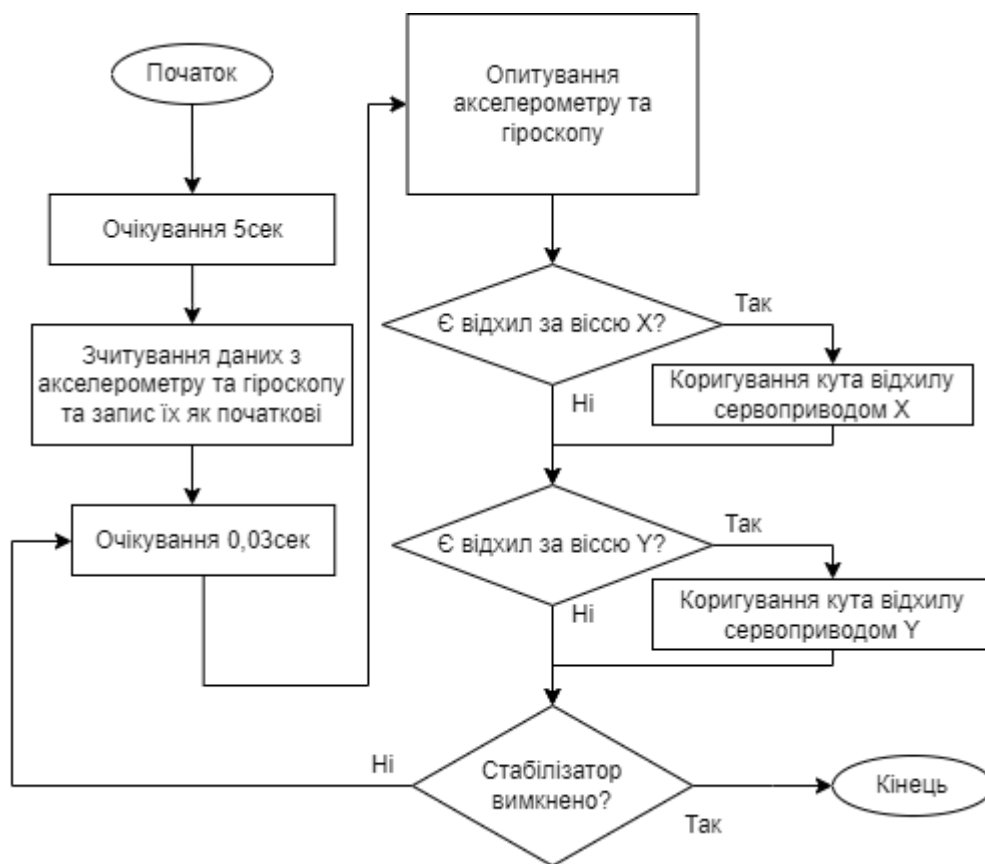


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму системи стабілізації положення датчиків

Система, котра керується одноплатним комп'ютером Raspberry pi 4 та зчитує дані з датчиків, обробляє їх, створює 2D карту місцевості, на якій відбувається пошук, та аналізує її відрізняється від системи стабілізації більш складним алгоритмом.

На одноплатний комп'ютер Raspberry pi 4 буде встановлено операційну систему Windows 7, котра має підтримку підключення до зовнішнього робочого

столу [37]. Оператору потрібно зі свого ноутбуку підключитися до віддаленого робочого столу Raspberry pi 4 за допомогою бездротового зв'язку, відкрити віконний програмний додаток для створення 2D карти та ініціювати виконання алгоритму.

Алгоритм роботи цієї системи можна поділити на два основних блока: блок створення карти, блок аналізу карти.

Робота алгоритму створення карти починається тоді, коли оператор натискає кнопку «Почати створення карти місцевості». На екрані з'являється квадратний та круглий курсори. Круглий курсор відповідає за відображення сигналів металошукача. Квадратний курсор малює карту використовуючи зображення з обох камер. Також з'явиться вікно із пропозицією обрати один з двох режимів роботи тепловізійної камери: зростання температури (ранок, день) та падіння температури (вечір, ніч). Ці дані зберігаються у файлі із створеною картою як параметр для подальшого аналізу теплового зображення місцевості.

Починається процес створення карти, котрий поділений на 3 окреми потоки.

Перший потік кожні 30 мілісекунд опитує акселерометер із гіроскопом, розраховує кут відхилу системи та прискорення згідно отриманим даним, після чого змінює кут повороту та положення пристрою у вигляді курсорів на екрані.

Другий потік кожні 100 мілісекунд визначає, чи наявні дані про звичайне та теплове зображення місцевості у курсорі у повному обсязі та, якщо його немає у більш ніж 30 відсотків області курсору із камер отримується зображення та розміщується у положенні курсору.

Третій потік кожні 100 мілісекунд опитує порт виводу даних металошукача та перезаписує зображення у області курсору металошукача, віддаючи перевагу сигналу, що говорить про виявлення металевого або металовмісного об'єкту.

Якщо користувач натисне кнопку «Завершити пошук» усі потоки припинять роботу, файл карти буде збережено для подальшого використання та аналізу а виконання алгоритму створення карти буде завершено.

Згідно описаного алгоритму створимо блок-схему алгоритму створення карт (рис. 2.6).

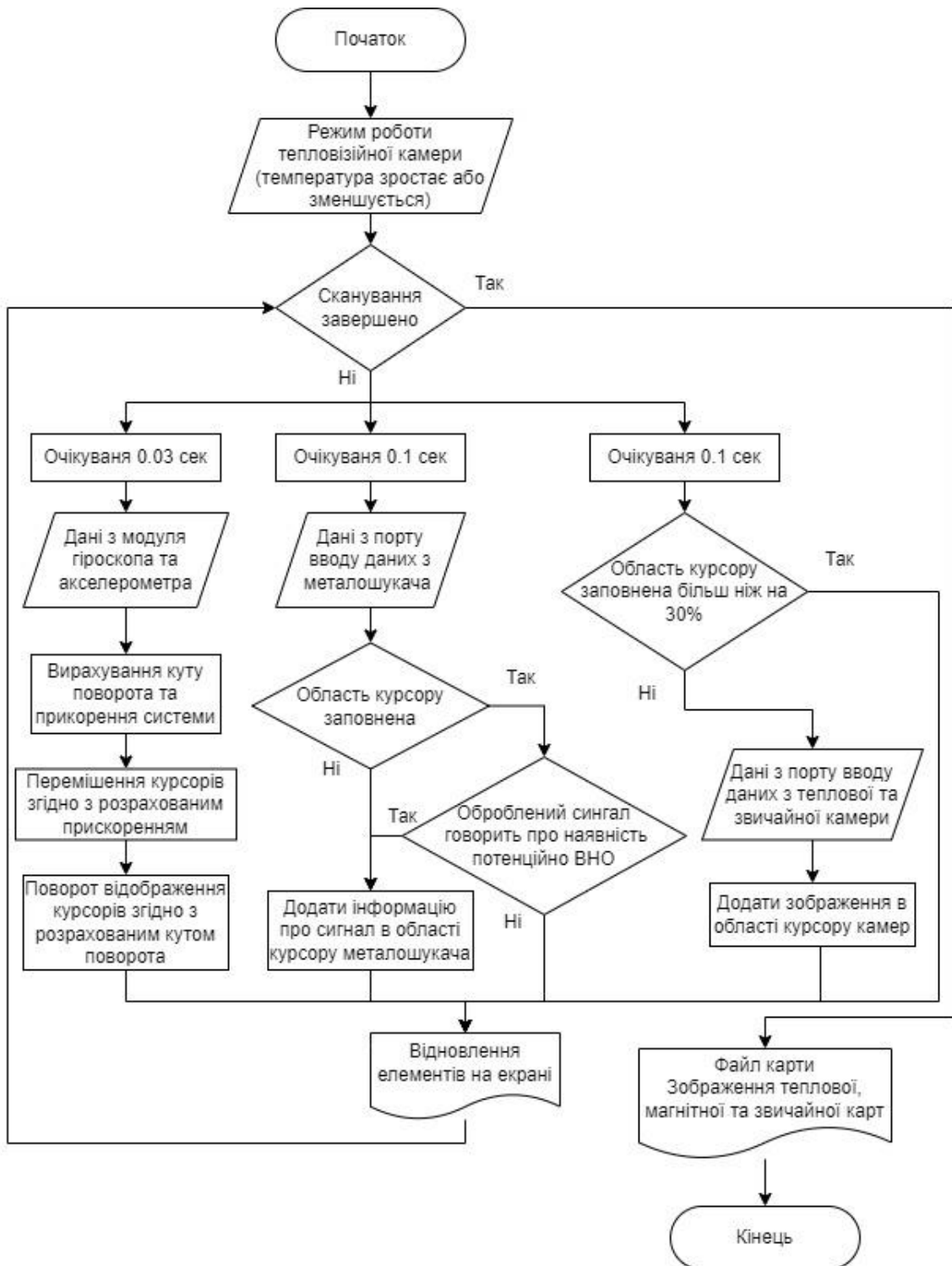


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму створення карт

Робота алгоритму аналізу карти починається, коли оператор натисне кнопку «виконати аналіз створеної карти» та обере із вже створених карти, що будуть проаналізовані.

Алгоритм завантажує до системи карти та, якщо їх немає, видає помилку. Корисними для алгоритму є усі три карти: фотографічна, теплова та магнітна. Першочергово усі карти доводяться до однакового розширення. Усі карти у програмному додатку уявлені як масив пікселів. Далі отримується інформація про обраний у процесі створення карти режим тепловізора. Наступним кроком є початок циклу обробки обох карт за кожним пікселем.

Спочатку обробляється піксель магнітної карти, так як вона заповнюється лише синім кольором. Кожен піксель уявляється як частина трьох вимірного масиву, де третій вимір уявляє собою піксель. Піксель містить інформацію про три значення: R (red, червоний колір) G (green, зелений колір) та B (blue, синій колір). Для магнітної карти обробка проводиться доволі легко, вона має тільки синій колір. Тобто у маску карти можливого знаходження ВНО, яка створюється на даному етапі, заносяться дані про синій колір з пікселей магнітної карти, що відображає рівень отриманого із металошукача сигналу на певному відрізку місцевості. Значення B (blue, синій колір) пікселя переноситься з магнітної карти на маску карти можливого знаходження ВНО.

Обробка теплової карти є більш складним алгоритмом. Тепловізійна камера для більш зручного використання людиною відтворює теплову карту із заливкою згідно з градієнтною кольоровою шкалою температур тепловізійної камери (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Градієнтна кольорова шкала температур тепловізійної камери

Розподілення кольорів на градієнтній кольоровій шкалі (рис. 2.7) відповідає наступним правилам:

- найхолодніші ділянки виділяються чорним кольором ($R=0, G=0, B=0$);
- починає зростати інтенсивність синього кольору та більш теплі за чорні ділянки позначаються синім кольором ($R=0, G=0, B=255$);
- починає зростати інтенсивність червоного кольору та більш теплі за сині ділянки будуть мати рожевий відтінок ($R=255, G=0, B=255$);
- починає зменшуватись інтенсивність синього кольору та більш теплі за рожеві ділянки мають червоний окрас ($R=255, G=0, B=0$);
- починає зростати інтенсивність зеленого кольору та більш теплі за червоні ділянки матимуть жовтий окрас ($R=255, G=255, B=0$);
- починає зростати інтенсивність синього кольору та найбільш теплі ділянки матимуть білий окрас ($R=255, G=255, B=255$).

Знаючи правила обирання інтенсивності кольорів для кожного пікселя та використовуючи умовні оператори з кожного пікселя розраховується число від 0 до 765. Потім це число поділяють на три та, залежно від обраного режиму тепловізійної камери при створенні карти, або відраховують його від 255 або передається його дійсне значення. Отримане число приймається як інтенсивність пікселя теплової карти порівнюється з відповідним пікселем маски карти можливого знаходження ВНО. Якщо піксель маски більш інтенсивний ніж інтенсивність цього пікселя у тепловій карті піксель буде збережено без змін. Якщо інтенсивність цього пікселя у тепловій карті буде більшою за інтенсивність пікселя маски піксель буде перезаписано на більш інтенсивний.

Створений піксель маски карти можливого знаходження ВНО перетворюється на коефіцієнт множення, тобто, так як маска представлена у вигляді чорно-білого зображення, інтенсивність будь якого з кольорів ділиться на 255, що є максимальним значенням інтенсивності кольору.

Далі інтенсивність усіх кольорів пікселя оригінальної карти у тому ж самому положенні помножається на отриманий коефіцієнт множення. Таким чином створюється піксель нового зображення, що є результатом обробки

створеної за тепловою та магнітною картами маски та оригінальної фотографічної карти місцевості.

Описаний алгоритм виконується для кожного пікселя усіх зображень, доки не залишиться необроблених пікселів.

Після завершення виконання програми аналізу теплової, магнітної та фотографічної карт оператор може отримати маски карти можливого знаходження ВНО та саме карту місцевості з виявленими додатком ділянками, котрі на картах сигналів металошукача та тепловізійної камери позначаються як ділянки місця знаходження потенційно ВНО. Згідно описаного алгоритму створимо блок-схему алгоритму аналізу магнітної та температурної карт (рис. 2.8).

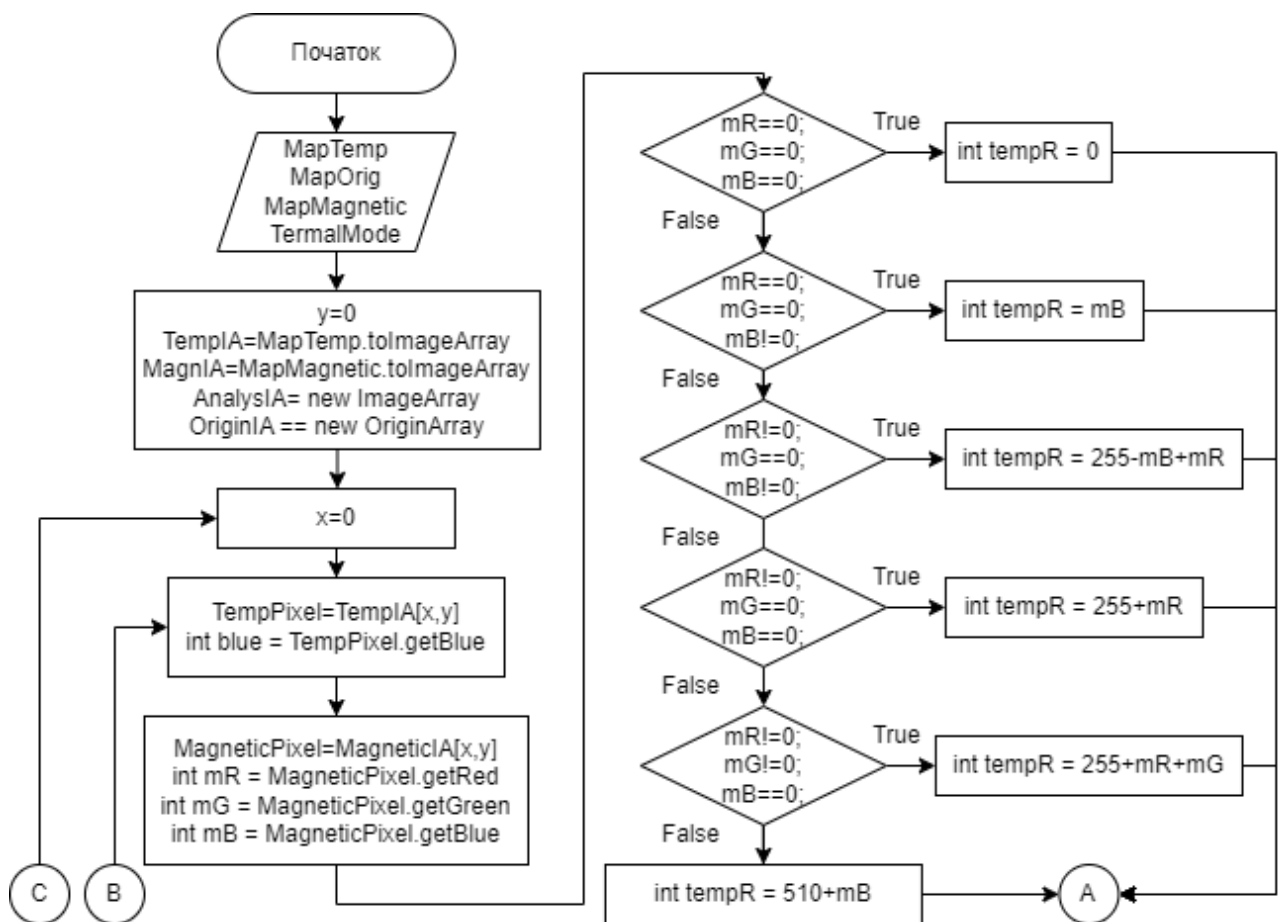


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритму аналізу магнітної та температурної карт, аркуш 1

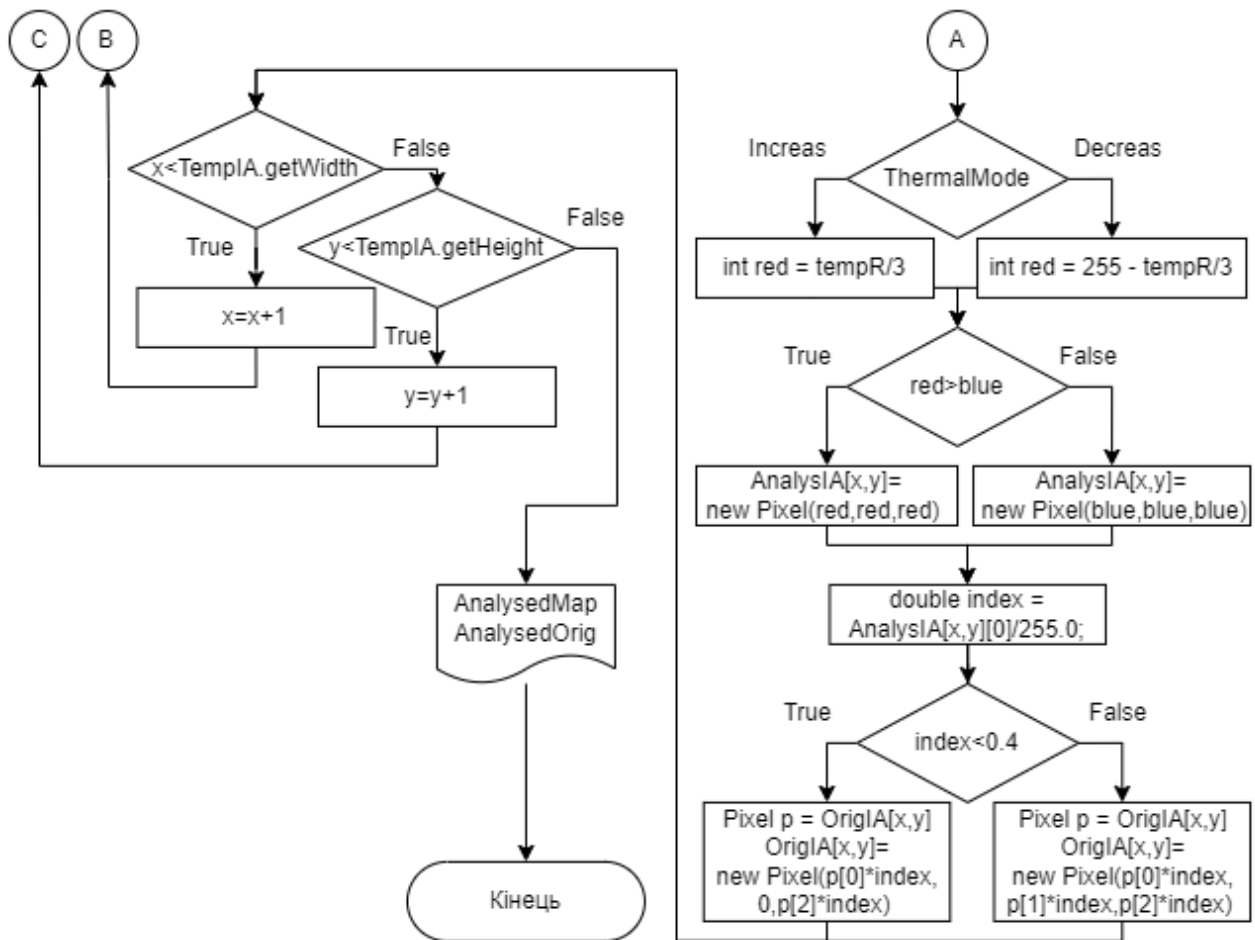


Рисунок 2.8, аркуш 2

Для детального опису роботи алгоритму обробки та аналізу карт прийнято рішення зробити математичний опис алгоритму.

Теплову карту T можна уявити у вигляді матриці:

$$T = \begin{bmatrix} Tp_{1,1} & \cdots & Tp_{x,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Tp_{1,y} & \cdots & Tp_{x,y} \end{bmatrix},$$

де T – теплова карта;

$Tp_{1,1}$ – перший піксель зображення карти;

x – кількість пікселів зображення карти у ширину;

y – кількість пікселів зображення карти у висоту.

Магнітну карту Mg можна уявити у вигляді матриці:

$$Mg = \begin{bmatrix} Mgp_{1,1} & \cdots & Mgp_{x,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Mgp_{1,y} & \cdots & Mgp_{x,y} \end{bmatrix},$$

де Mg – магнітна карта;

$Mgp_{1,1}$ – перший піксель зображення карти;

x – кількість пікселів зображення карти у ширину;

y – кількість пікселів зображення карти у висоту.

Фотографічну карту F можна уявити у вигляді матриці:

$$F = \begin{bmatrix} Fp_{1,1} & \cdots & Fp_{x,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Fp_{1,y} & \cdots & Fp_{x,y} \end{bmatrix},$$

де F – карта теплова;

$Fp_{1,1}$ – перший піксель зображення карти;

x – кількість пікселів зображення карти у ширину;

y – кількість пікселів зображення карти у висоту.

Наприклад виконаємо послідовність дій алгоритму для першого пікселя, що буде проаналізовано. Алгоритм аналізу можна представити як систему R :

$$R = \langle T, Mg, F, Mo \rangle,$$

де T – тепла карта;

Mg – магнітна карта;

F – фотографічна карта;

Mo – режим роботи теплової камери.

Кожен піксель *Pixel* уявлено як сукупність інтенсивності трьох кольорів r, g, b :

$$Pixel = \{r, g, b\},$$

де r – інтенсивність червоного кольору;

g – інтенсивність зеленого кольору;

b – інтенсивність синього кольору.

Для чорно-білої маски Ma карти інтенсивність усіх трьох кольорів Mi за схемою RGB є однаковою, тобто піксель маски $M_{x,y}$ може бути уявлено наступним чином:

$$M_{x,y} = \{Mi_{x,y}, Mi_{x,y}, Mi_{x,y}\}, Mi_{x,y} \in [0; 255].$$

На початку інтенсивність першого пікселя $M_{1,1}$ чорно-білої маски Ma задається як інтенсивність синього кольору $bm_{1,1}$ у пікселі магнітної карти Mg :

$$M_{1,1} = \{bm_{1,1}, bm_{1,1}, bm_{1,1}\},$$

де $bm_{1,1}$ – інтенсивність синього кольору магнітної карти.

Математичне уявлення процесу умовного перебору інтенсивності теплової карти T та визначення коефіцієнта інтенсивності пікселя P_p подано у вигляді системи:

$$P_p = \begin{cases} P_p = 0: Tpr = 0, Tpg = 0, Tpb = 0; \\ P_p = Tpb: Tpr = 0, Tpg = 0, Tpb > 0; \\ P_p = 255 - Tpb + Tpr: Tpr > 0, Tpg = 0, Tpb > 0; \\ P_p = 255 + Tpr: Tpr > 0, Tpg = 0, Tpb = 0; \\ P_p = 255 + Tpr + Tpg: Tpr > 0, Tpg > 0, Tpb = 0; \\ P_p = Tpr + Tpg + Tpb: Tpr > 0, Tpg > 0, Tpb > 0. \end{cases}$$

де P_p – коефіцієнт інтенсивності пікселя теплової карти;

Tpr – інтенсивність червоного кольору пікселя теплової карти;

Tpg – інтенсивність зеленого кольору пікселя теплової карти;

Tpb – інтенсивність синього кольору пікселя теплової карти.

Потім визначається коефіцієнт інтенсивності чорно-білого кольору маски E згідно з інтенсивністю пікселя теплової карти P_p та режимом роботи тепловізійної камери під час проведення пошуку Mo :

$$E = \begin{cases} E = 255 - \frac{P_p}{3} : Mo = 0; \\ E = \frac{P_p}{3} : Mo = 1. \end{cases}$$

Далі згідно з порівнянням інтенсивності пікселя теплової карти P_p та інтенсивності пікселя магнітної карти $M_{1,1}$ визначається остаточно інтенсивність чорно-білого пікселя маски карти C :

$$C = \begin{cases} C = E : E > P_p; \\ C = P_p : P_p > E. \end{cases}$$

Для виділення обраного пікселя $Ap_{1,1}$, якщо на ньому виявлено ВНО та навпаки, зменшення інтенсивності пікселя, якщо ВНО на ньому не знайдено використовується отримання коефіцієнту діленням інтенсивності чорно-білого пікселя маски карти C на 255 та помноження інтенсивності кожного кольору оригінального зображення на знайдений коефіцієнт:

$$Ap_{1,1} = \left\{ Or \frac{C}{255}, Og \frac{C}{255}, Ob \frac{C}{255} \right\}.$$

Отриманий піксель $Ap_{1,1}$ є результатом аналізу вхідних даних для першого пікселю проаналізованої фотографічної карти A . Аналогічні дії будуть виконані для усіх пікселів теплової, фотографічної та магнітної карт.

2.5 Висновки до другого розділу

Визначені класи об'єктів, що можуть бути виявленими за допомогою автоматизованої системи виявлення потенційно ВНО на відкритій місцевості.

Створено схему та демонстраційну модель автоматизованої системи, що розробляється з врахуванням обраних методів виявлення потенційно ВНО на відкритій місцевості.

Визначено певні існуючі компоненти автоматизованої системи, що розробляється. Створено схему живлення та розраховано час автономної роботи. Розраховано вагу автоматизованої системи та висунуто вимогу до вантажопідйомності БПЛА.

Розроблено алгоритм системи стабілізації частини з датчиками, алгоритм створення фотографічної, теплової та магнітної карт відкритої місцевості та алгоритм аналізу створених карт для допомоги оператору в прийнятті рішення щодо наявності у певних ділянках місцевості потенційних ВНО.

Для детального опису алгоритму аналізу створених карт місцевості зроблено математичний опис алгоритму.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1 Вибір мови програмування та середовища розроблення

Для проведення експерименту обрано третій із створених у п. 2.3 алгоритмів. Виконання програмного додатку, що створюється, буде проводитися на Середи виконання програми, що розробляється, є Windows 7 буде встановлена на одноплатний комп'ютер Raspberry pi 4. Raspberry pi 4 має можливість обирати кількість оперативної пам'яті до 8 гігабайт, що й буде обрано.

Для виконання поставленої задачі потрібна мова програмування, котра може створювати та обробляти зображення. Це може бути будь-яка мова програмування, що підтримує об'єктно-орієнтоване програмування, тому що програмні додатки створені за принципом об'єктно-орієнтованого програмування дозволяють обробляти вхідні та створювати вихідні сигнали з цифрових портів одноплатного комп'ютера, створювати, редагувати та зберігати зображення за допомогою стандартних бібліотек.

3.1.1 Java

Java – об'єктно-орієнтована мова програмування, презентована у 1995 році компанією «Sun Microsystems» як основний компонент платформи Java. У 2009 році компанію «Sun Microsystems» придбала «Oracle». Від того часу мовою займається компанія «Oracle». В офіційній реалізації Java-програми компілюються у байт-код, котрий при виконанні інтерпретується віртуальною машиною Java Virtual Machine для конкретної платформи.

Мова Java містить відносно мало абстракцій у порівнянні з іншими об'єктно-орієнтованими мовами програмування. Віртуальна машина JVM служить переносимою та високопродуктивною основою для виконання програм

на Java та інших мовах. Разом вони створюють дуже вагому конкуренцію при обиранні мови розробки великими компаніями.

«Oracle» надає компілятор Java та віртуальну машину Java, які задовольняють специфікації Java Community Process, під ліцензією GNU General Public License [37].

З моменту створення Java іншими людьми та компаніями створено доволі велику кількість сторонніх бібліотек і компонентів. Це означає, що розробники можуть отримати велику вигоду з існування поєднувачів та драйверів для будь-яких цілей та існуючих технологій. Це може бути як закритих та запатентованих технологій так і технологій відкритої з загальнодоступним вихідним кодом.

У сьогоднішній доволі тяжко знайти компоненти, що не пропонують з'єднувачі із Java. Будь-який тип системи поточного контролю, що використовується великими корпораціями, реляційні бази даних, нереляційні розподілені бази типу NoSQL, Інтернет речей (IoT), системи обміну повідомленнями – все це інтегрується з Java [38].

Саме ця обставина стала головною під час прийняття технологій Java на невеликих підприємствах та у великих компаніях. Використовуючи готові та актуальні компоненти та бібліотеки розробники змогли розкрити свій потенціал. Це надихнуло розробників створювати найбільш оптимальні та актуальні архітектури на основі технологій та бібліотек Java.

Платформа Java є достатньо привабливою для виконання прикладного коду завдяки поєднанню віртуальної першорозрядної машини з відкритим стандартом для двійкового коду та багатій екосистемі. Насправді, крім Java, є чимало інших мов програмування, котрі мають змогу застосувати JVM для виконання і взаємодії з Java, що дозволяє користуватися успіхами даної платформи. До них належать Kotlin, Scala, Groovy та багато інших. Хоч вони невеликі в порівнянні з Java, але теж знаходяться у попиті на рівні з Java, виконуючи роль джерела для нововведень і складаючи здорову конкуренцію Java [39].

3.1.2 C#

Мова C# створена корпорацією Microsoft для підтримки середовища розробки .NET Framework. Її головним розробником був Андерс Хейльсберг (Anders Hejlsberg) – найвідоміший із іюпових програмування. C# походить від двох найвдаліших мов програмування: C++ та C. Від мови C++ він успадкував вдосконалену об'єктну модель а від C – синтаксис, багато ключових слів і операторів. Крім того, C# тісно пов'язаний з мовою Java [40].

C# і Java дуже схожі. Обидві мови застосовують проміжний код для забезпечення безпеки та переносимості та підтримують розподілене програмування, але відмінності наявні в питаннях реалізації. Також обидві мови мають гарні інструменти для керування виконання коду та пошуку помилок. На відміну від Java, мова C# надає доступ до покажчиків - засобів програмування, які підтримуються в C++. Отже, C# поєднує у собі ефективність C++ та типову безпеку Java. Більше того, компроміси між ефективністю та безпекою у цій мові програмування реалізовані досить акуратно.

Навіть за умов дуже гарної можливості переносу програм через інтернет, можливості Java скінченні. Їй бракує міжмовної взаємодії, яка називається також багатомовним програмуванням. Це можливість коду, написаного однією мовою, взаємодіяти з кодом, написаним іншою мовою. Міжмовна можливість взаємодії потрібна для побудови великих, розподілених програмних систем. Іноді вона дуже потрібна при створенні окремих компонентів програм, оскільки найбільш цінним компонентом вважається той, що є універсальним, який може бути використаний у різних мовах програмування і в найбільшій кількості операційних середовищ [41].

Іншою можливістю, яка відсутня в Java, є інтеграція з платформою Windows. Програми, що написані мовою Java можуть виконуватися в середовищі Windows, але тільки за умови, що встановлена віртуальна машина Java. Середовище Java і Windows не сильно пов'язані. Оскільки Windows є найпоширенішою операційною системою в усьому світі, відсутність прямої

підтримки Windows є доволі великим недоліком Java [40].

C# використовується в багатьох великих компаніях. Він входить до першої п'ятірки найпопулярніших мов програмування на 2022 рік. Зараз компанія Microsoft починає охоплювати тренд розвитку універсальності і кроссплатформенності для цієї мови. Вже зараз з її допомогою можна розробляти будь-який тип програм.

Компанія Microsoft залишається однією з найбільших ІТ компаній світу, а C# її флагманська мова програмування, яка постійно вбирає у себе нові можливості і розвивається. Тому в найближчому майбутньому спаду популярності у цієї мови виникнути не повинно.

3.1.3 Python

Python –потужна мова програмування, що підтримує безліч парадигм програмування. Python оптимізований для забезпечення високої продуктивності програмістів, читабельності коду та якості програмного забезпечення [42].

Python є універсальною скриптовою мовою та завдяки цьому підходить для безлічі платформ і завдань, від серверних ОС та розробки браузерних додатків до мобільних додатків під iOS/Android [43].

Переваги мови Python [43]:

- логічний синтаксис. Логічний синтаксис цієї мови спрощує читання та розуміння коду, завдяки чому її досить легко освоїти. Python вважається однією з найбільш простих мов програмування для початківців;

- читання коду Python інтуїтивно зрозуміло, що робить обслуговування легким. Синтаксис Python чіткий і стислий. Мова розроблена так, щоб вона була читабельною і була близькою до фактичної англійської, що дозволяє легко її розшифрувати;

- різноманітність бібліотек. Крім стандартної бібліотеки, для Python є великий вибір додаткових бібліотек. Серед найпопулярніших з них варто відзначити SQLAlchemy (для роботи з базами даних), Pygame (для розробки

мультимедійних додатків та ігор), Flask та Django (для розробки серверної частини ПЗ), NumPy (для розробки у сфері машинного навчання та штучного інтелекту), Pandas (для обробки big data) тощо;

– Python популярний і широко підтримується. Python швидко піднімається на перший план серед найпопулярніших мов програмування у світі. Постійне зростання популярності визначає Python як одну з найбільш затребуваних мов програмування 2020 року. Використовуючи популярну мову, ви маєте набагато більший шанс знайти рішення будь-якої проблеми, з якою ви можете зіткнутися. Насправді, якщо ваша проблема є достатньо поширеною, зараз, мабуть, є готове рішення в Python;

– для створення програм на Python потрібно написати набагато менший обсяг коду, ніж на Java або C. Це прискорює розробку, дозволяючи створювати будьяке програмне забезпечення швидше, ніж використовуючи інші мови програмування;

– масштабованість. Написані на Python програми легко розширюються та масштабуються завдяки можливості адаптації їх високорівневої логіки.

Але Python також має свої недоліки [43]:

– проблеми динамічної типізації. У невеликих проектах це є перевагою. Завдяки динамічній типізації у програміста є можливість писати код набагато швидше. Але під час зростання проекту це буде тільки заважати, бо буде просто неможливо встежити за типами даних, що передаються, і розробка перетвориться на проблему перевірки типів. Зазвичай такі проблеми вирішуються доробками та підкрутками, але все одно це не робить код чистіше. Також від цього впадає швидкість виконання коду;

– низька швидкість виконання. Python використовує динамічну типізацію та автоматично керує пам'яттю. У малих проектах такий підхід є перевагою язика, але у великих, складних проектах це буде тільки заважати, тому що код, котрий на інших язиках виконується за декілька хвилин на Python може витратити набагато більше часу. Але навіть за такими обставинами він не є найповільнішою мовою програмування.

3.1.4 Вибір мови програмування

Серед описаних мов програмування більш за все для вирішення поставленої задачі (розроблення програмного додатку що реалізує) підходить мова програмування Java.

Мова Java об'єднує у собі усі переваги вищенаведених мов (C#, Python) та майже не має недоліків.

Мова програмування Java відповідає усім вимогам для виконання задачі моделювання аналізу отриманих теплових та магнітних карт місцевості за рахунок вбудованої бібліотеки AWT, що дозволяє обробляти, зберігати та редагувати зображення.

Java проста й зручна у використанні, має добре пророблену документацію, включає у себе великий набір інструментів розробки, володіє високим рівнем безпеки та надійності, підтримує багатопоточність та зворотню сумісність, є кросплатформовою мовою за рахунок JVM.

3.2 Розроблення програми

На основі створеної блок-схеми алгоритму аналізу магнітної та температурної карт буда написана програма з використанням мови Java та вбудованої бібліотеки AWT.

Під час написання коду програмного додатку (рис. 3.1) використані такі класи та методи:

- File – клас, абстрактне представлення імен файлів і каталогів;
- BufferedImage – підклас BufferedImage описує зображення з доступним буфером даних зображення;
- WritableRaster – клас розширює Raster, щоб забезпечити можливості піксельного запису;
- ImageIO – клас, що містить статичні зручні методи для пошуку ImageReaders і ImageWriters, а також виконання простого кодування та

декодування;

- `read(@NotNull java.io.File input)` – метод, що повертає `BufferedImage` як результат декодування наданого файлу за допомогою `ImageReader`, автоматично вибраного серед зареєстрованих наразі;
- `java.awt.image.WritableRaster getRaster()` – метод, що повертає `WritableRaster` об'єкта класу `BufferedImage`, на якому викликаний;
- `int getHeight()` – метод, що повертає висоту растру `WritableRaster` в пікселях;
- `int getWidth()` – метод, що повертає ширину растру `WritableRaster` в пікселях;
- `int[] getPixel(int x, int y, int[] iArray)` – метод, що повертає зразки в масиві `int` для вказаного пікселя;
- `void setPixel(int x, int y, int[] iArray)` – метод, що встановлює піксель у `DataBuffer`, використовуючи масив `int` зразків для введення;
- `void setData(java.awt.image.Raster r)` – метод, що встановлює піксель у `DataBuffer`, використовуючи масив `int` зразків для введення.

```

1 package org.nure;
2
3 import javax.imageio.ImageIO;
4 import java.awt.image.BufferedImage;
5 import java.awt.image.WritableRaster;
6 import java.io.File;
7 import java.io.IOException;
8
9 import static java.awt.image.BufferedImage.TYPE_INT_RGB;
10
11 public class Program {
12     public static void main(String[] args) throws IOException {
13         String tempNum = "1";
14         String magneticNum = "1";
15         boolean mode = true;
16         File magneticFile = new File("Magnetic" + magneticNum + ".png");
17         File temperatureFile = new File("Temperature" + tempNum + ".png");
18         File origFile = new File("Orig" + magneticNum + ".png");
19         BufferedImage magneticBufferedImage = ImageIO.read(magneticFile);
20         BufferedImage temperatureBufferedImage = ImageIO.read(temperatureFile);
21         BufferedImage origBufferedImage = ImageIO.read(origFile);
22         WritableRaster magneticRaster = magneticBufferedImage.getRaster();
23         WritableRaster origRaster = origBufferedImage.getRaster();
24         BufferedImage baseBufferedImage =

```

Рисунок 3.1 – Код розробленого програмного додатку, аркуш 1

```

25         new BufferedImage(magneticRaster.getWidth(), magneticRaster.getHeight(), TYPE_INT_RGB);
26     WritableRaster baseRaster = baseBufferedImage.getRaster();
27     WritableRaster temperatureRaster = temperatureBufferedImage.getRaster();
28     for (int x = 0; x < magneticRaster.getHeight(); x++) {
29         for (int y = 0; y < magneticRaster.getWidth(); y++) {
30             int[] basePixel = new int[4];
31             int mB = magneticRaster.getPixel(x, y, new int[4])[2];
32             if (mB < 100) {
33                 fillPixel(basePixel, 0);
34             } else {
35                 fillPixel(basePixel, mB);
36             }
37             int[] temperaturePixel = temperatureRaster.getPixel(x, y, new int[4]);
38             int analysedTemperaturePixel = analyseTemperaturePixel(temperaturePixel);
39
40             if (basePixel[0] < createPixel(analysedTemperaturePixel, mode)) {
41                 fillPixel(basePixel, createPixel(analysedTemperaturePixel, mode));
42             }
43             baseRaster.setPixel(x, y, basePixel);
44
45             int[] origPixel = origRaster.getPixel(x, y, new int[4]);
46             double index = basePixel[0]/255.0;
47             if (index < 0.4) {
48                 origPixel[0] = (int) (origPixel[0] * index);
49                 origPixel[1] = 0;
50                 origPixel[2] = (int) (origPixel[2] * index);
51             } else {
52                 origPixel[0] = (int) (origPixel[0] * index);
53                 origPixel[1] = (int) (origPixel[1] * index);
54                 origPixel[2] = (int) (origPixel[2] * index);
55             }
56             origRaster.setPixel(x, y, origPixel);
57         }
58     }
59     baseBufferedImage.setData(baseRaster);
60     ImageIO.write(baseBufferedImage, "png", new File("Mask" + tempNum + ".png"));
61     origBufferedImage.setData(origRaster);
62     ImageIO.write(origBufferedImage, "png", new File("Analysed" + tempNum + ".png"));
63 }
64
65 static int analyseTemperaturePixel(int[] source) {
66     int tR = source[0];
67     int tG = source[1];
68     int tB = source[2];
69     if (tR == 0 && tG == 0 && tB == 0) {
70         return 0;
71     } else if (tR == 0 && tG == 0 && tB != 0) {
72         return tB;
73     } else if (tR != 0 && tG == 0 && tB != 0) {
74         return 255 - tB + tR;
75     } else if (tR != 0 && tG == 0 && tB == 0) {
76         return 255 + tR;
77     } else if (tR != 0 && tG != 0 && tB == 0) {
78         return 255 + tR + tG;
79     }
80     return tR + tG + tB;
81 }
82
83 static int createPixel(int power, boolean mode) {
84     if (mode) {
85         return power / 3;
86     }
87     return 255 - power / 3;
88 }
89
90 static void fillPixel(int[] basePixel, int number) {
91     for (int i = 0; i < 3; i++) {
92         basePixel[i] = number;
93     }
94 }
95 }
96

```

Рисунок 3.1, аркуш 2

3.3 Планування машинних експериментів

Для проведення експериментів за допомогою створеною програмою для аналізу теплової, фотографічної та магнітної карти вирішено створити дві карти місцевості із захованими ВНО. Для кожної карти буде проведено два експерименти, тобто взагалі планується проведення чотирьох експериментів.

У якості відкритій місцевості для першого та другого експерименту обрано зображення галявини, що покрита травою. На ньому розташовано 15 ВНО (рис. 3.2, а), 4 з яких можливо виявити тільки за допомогою тепловізійної камери та 2 ВНО котрі можна виявити тільки за допомогою металошукача. Для більш зручної оцінки результатів експериментів ВНО на зображеннях буде сховано (рис. 3.2, б).



а)



б)

а) карта з ВНО, б) карта з прихованими ВНО

Рисунок 3.2 – Оригінальні зображення першого та другого експерименту

Для виконання першого та другого експерименту на основі створеної карти місцевості створена одна магнітна карта (рис. 3.3), на котрій знайдено 11 ВНО та дві температурні карти (рис. 3.4) що схожі на ті, які були б створені

автоматизованою системою пошуку та виявлення потенційних ВНО. На температурних картах знайдено 13 ВНО.

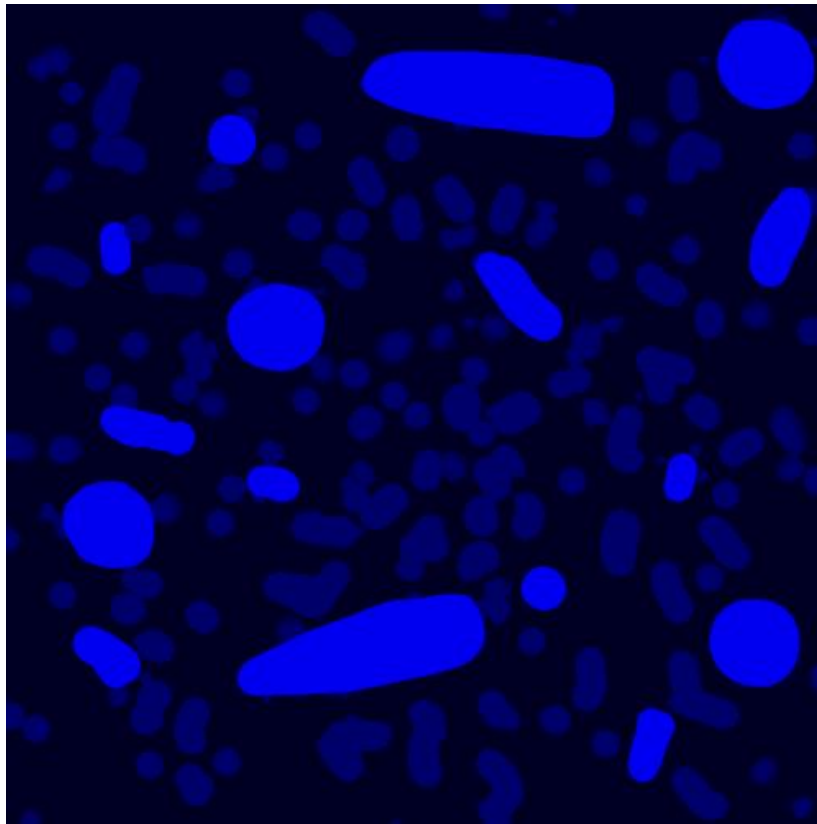
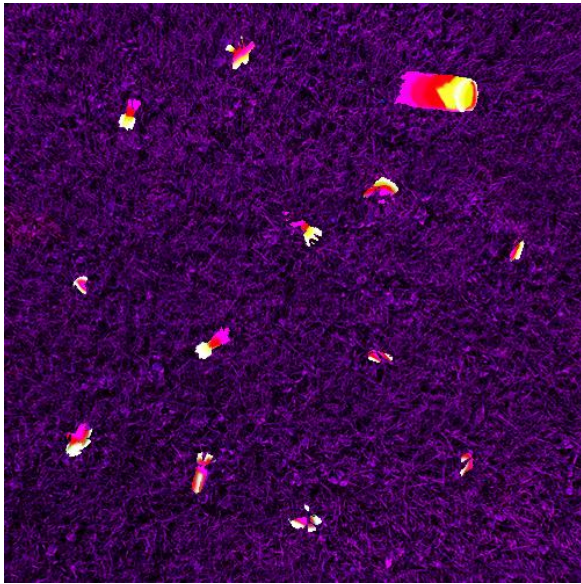


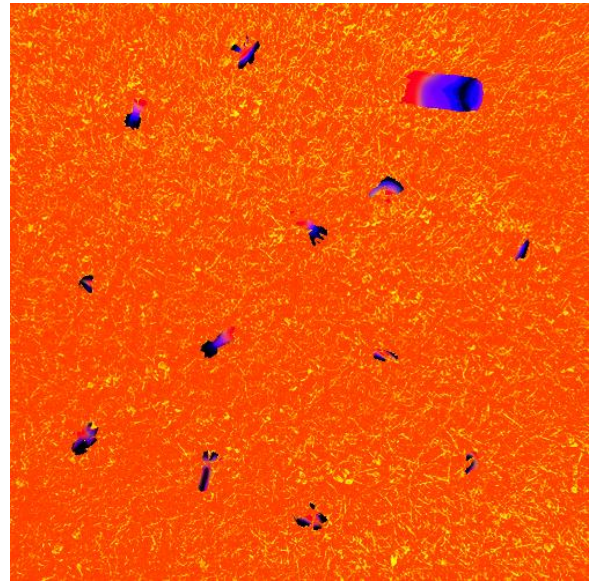
Рисунок 3.3 – Магнітна карта першого та другого експериментів

Відрізняються перший та другий експерименти режимом роботи тепловізійної камери. Для першого експерименту створена теплова карта, що відповідає умовам першого режиму роботи тепловізійної камери (рис. 3.4, а), коли температура навколишньої середовища збільшується. Тобто карта створена з врахуванням зростання температури навколишнього середовища, симулюючи проведення пошукових робіт вранці та ближче до полудня.

Для другого експерименту створена карта, що відповідає умовам другого режиму роботи тепловізійної камери (рис. 3.4, б), коли температура навколишньої середовища зменшується. Тобто карта створена з врахуванням падіння температури навколишнього середовища, симулюючи проведення пошукових робіт після полудня, вечорі та ближче до ночі.



а)



б)

а) теплова карта, що відповідає умовам першого режиму роботи тепловізійної камери, б) теплова карта, що відповідає умовам другого режиму роботи тепловізійної камери

Рисунок 3.4 – Температурні карти першого та другого експериментів

У якості відкритій місцевості для третього та четвертого експерименту обрано зображення поля, що покрита ґрунтом. На ньому розташовано 20 ВНО (рис. 3.5, а), 4 з яких можливо виявити тільки за допомогою тепловізійної камери та 7 ВНО котрі можна виявити тільки за допомогою металошукача. Для більш зручної оцінки результатів експериментів ВНО на зображеннях буде сховано (рис. 3.5, б).



а)



б)

а) карта з ВНО, б) карта з прихованими ВНО

Рисунок 3.5 – Оригінальні зображення першого та другого експерименту

Для виконання першого та другого експерименту на основі створеної карти місцевості створена одна магнітна карта (рис. 3.6), на котрій знайдено ВНО та дві температурні карти (рис. 3.7) що схожі на ті, які були б створені автоматизованою системою пошуку та виявлення потенційних ВНО. На температурних картах знайдено 13 ВНО.

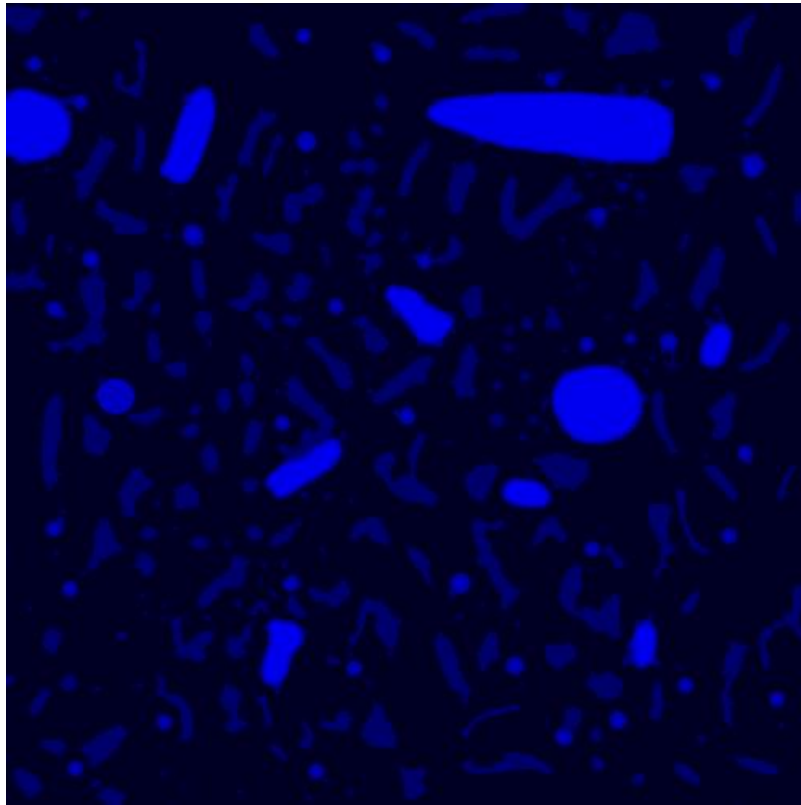
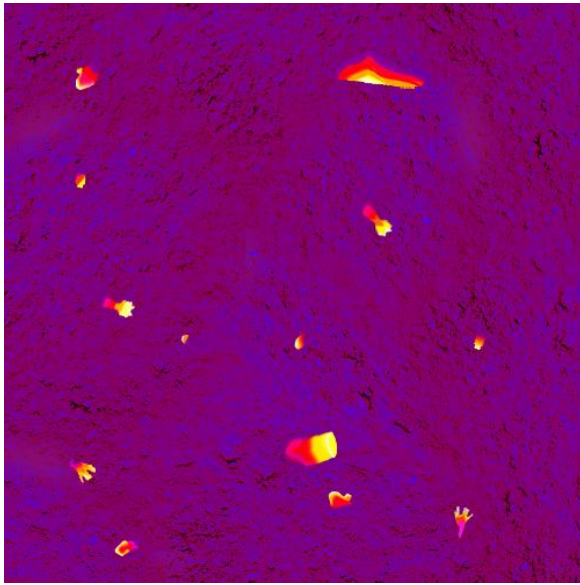


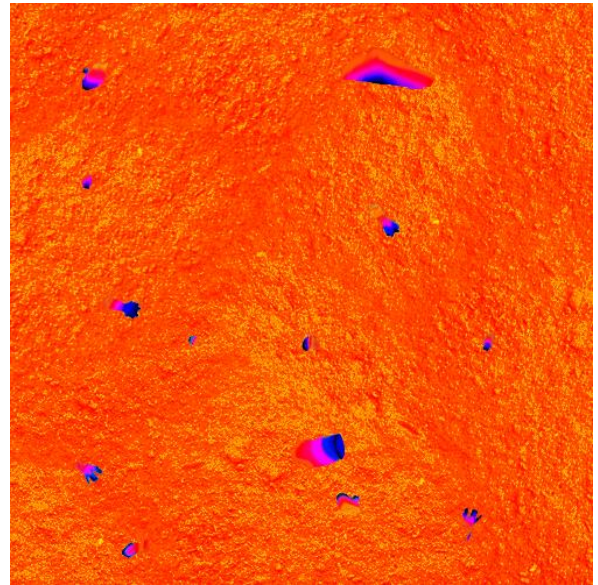
Рисунок 3.6 – Магнітна карта першого та другого експериментів

Відрізняються третій та четвертий експерименти режимом роботи тепловізійної камери. Для першого експерименту створена теплова карта, що відповідає умовам першого режиму роботи тепловізійної камери (рис. 3.7, а), коли температура навколишньої середовища збільшується. Тобто карта створена з врахуванням зростання температури навколишнього середовища, симулюючи проведення пошукових робіт вранці та ближче до полудня.

Для другого експерименту створена карта, що відповідає умовам другого режиму роботи тепловізійної камери (рис. 3.7, б), коли температура навколишньої середовища зменшується. Тобто карта створена з врахуванням падіння температури навколишнього середовища, симулюючи проведення пошукових робіт після полудня, вечорі та ближче до ночі.



а)



б)

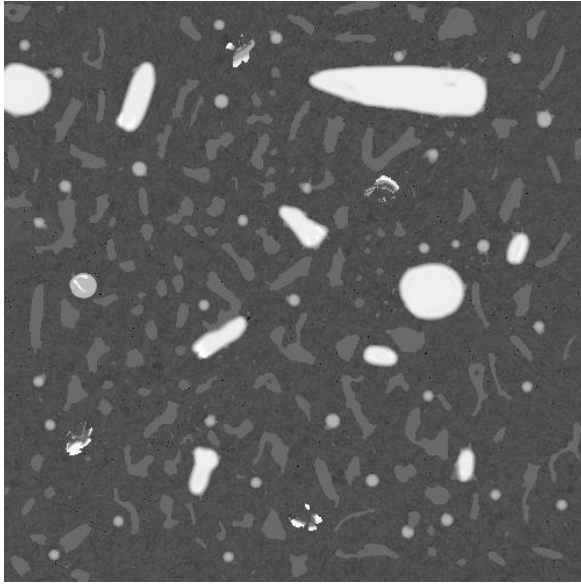
а) теплова карта, що відповідає умовам першого режиму роботи тепловізійної камери, б) теплова карта, що відповідає умовам другого режиму роботи тепловізійної камери

Рисунок 3.7 – Температурні карти першого та другого експериментів

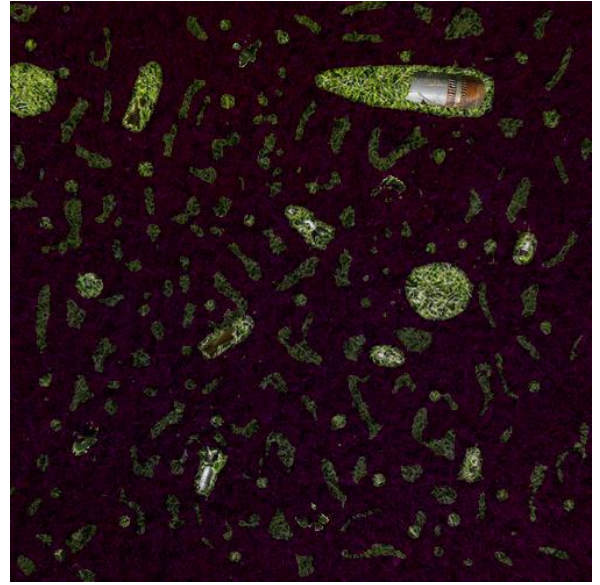
3.4 Аналіз результатів

Після проведення чотирьох експериментів отримано чотири маски карти можливого знаходження ВНО (рис. 3.8, а, рис. 3.9, а, рис. 3.10, а та рис. 3.11, а) та саме карти можливого знаходження ВНО створені розробленим програмним додатком (рис. 3.8, б, рис. 3.9, б, рис. 3.10, б та рис. 3.11, б).

Отримані маски та карти є результатом аналізу створених фотографічної, магнітної та температурної карт за обраним режимом тепловізора. Для більш зручного аналізу оператором, що буде проводити пошук ВНО, створені маски подаються у чорно-білому форматі а на обробленій фотографічній карті ділянки, де не виявлено потенційних ВНО окрашені червоним кольором. Таким чином досягнуто підвищену контрастність та читабельність маски та карти.



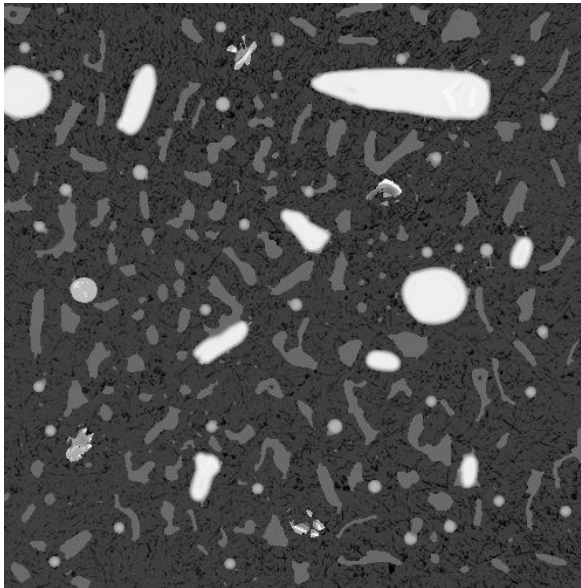
а)



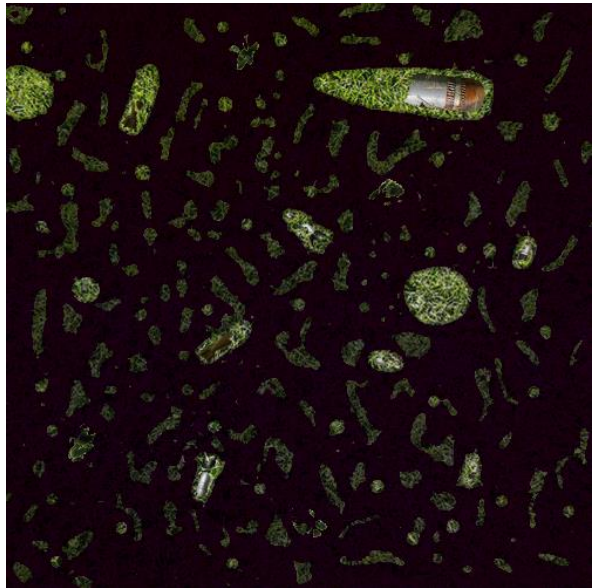
б)

а) маски карти можливого знаходження ВНО, б) карта можливого знаходження ВНО

Рисунок 3.8 – Результат проведення першого експерименту



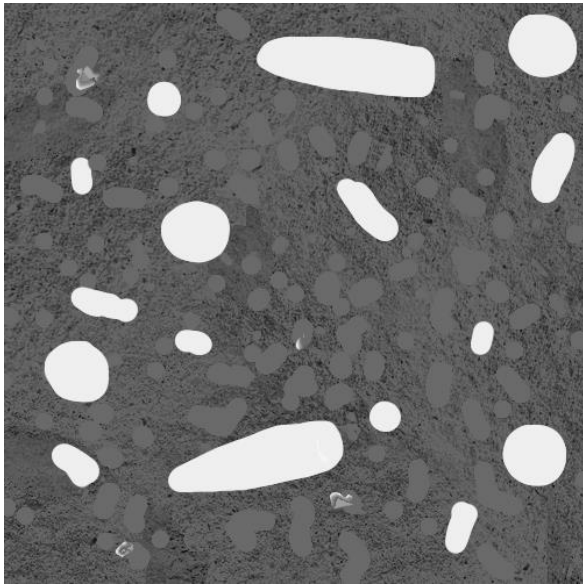
а)



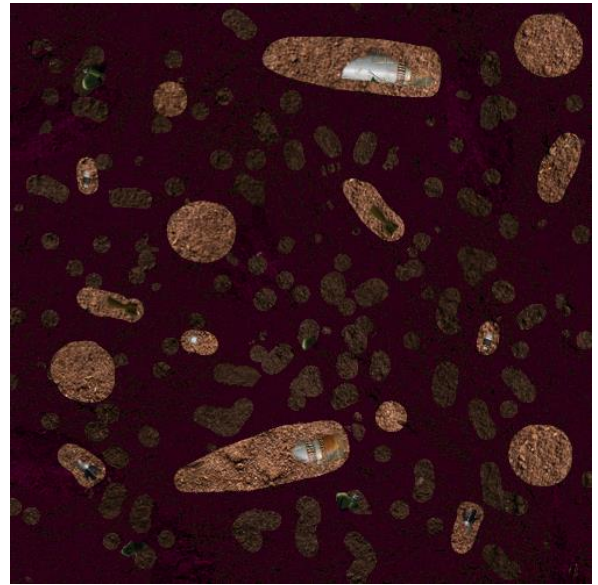
б)

а) маски карти можливого знаходження ВНО, б) карта можливого знаходження ВНО

Рисунок 3.9 – Результат проведення другого експерименту



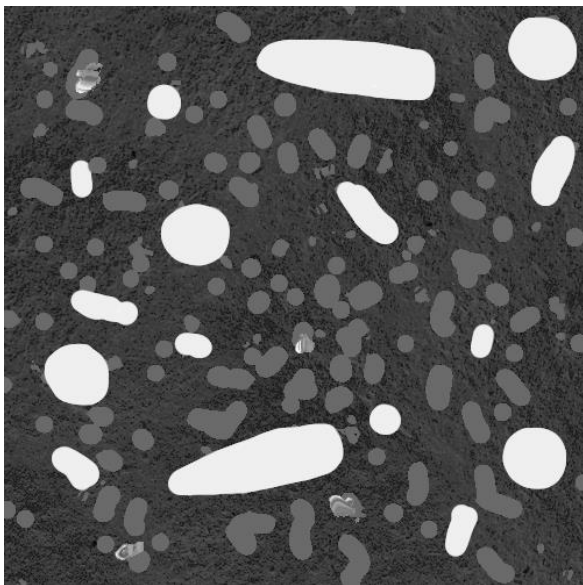
а)



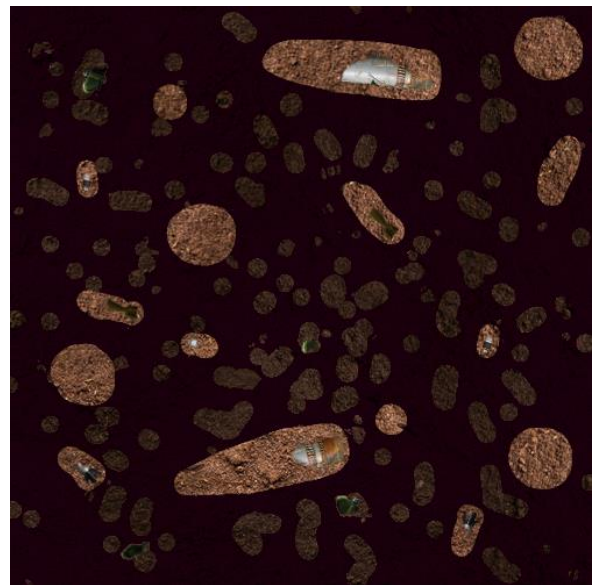
б)

а) маски карти можливого знаходження ВНО, б) карта можливого знаходження ВНО

Рисунок 3.10 – Результат проведення третього експерименту



а)



б)

а) маски карти можливого знаходження ВНО, б) карта можливого знаходження ВНО

Рисунок 3.11 – Результат проведення четвертого експерименту

Вхідними даними першого експерименту є фотографічна карта (рис. 3.2, б), температурна карта (рис. 3.4, а), магнітна карта (рис. 3.3) та режим роботи тепловізійної камери під час створення карт автоматизованою системою пошуку потенційно ВНО, тобто режим «Зростання температури».

Отримані карта (рис. 3.8, а) та маска (рис. 3.8, б) є достатньо контрастні, щоб при порівнянні мати змогу виділити ділянки із знайденими потенційними ВНО. Усього яскраво виділено 15 ділянок, тобто програмний додаток виконав задачу обробки карт та виділив усі ділянки, на яких сховано ВНО для першого експерименту.

У якості вхідних даних другого експерименту обрано фотографічну карту (рис. 3.2, а), та магнітну карту (рис. 3.3) першого експерименту. Для перевірки роботи другого режиму обрана інша температурна карта (рис. 3.4, б), та інший режим роботи тепловізійної камери під час створення карт автоматизованою системою пошуку потенційно ВНО, тобто режим «Падіння температури».

Отримані карта (рис. 3.9, а) та маска (рис. 3.9, б) є достатньо контрастні, щоб при порівнянні мати змогу виділити ділянки із знайденими потенційними ВНО. Усього яскраво виділено 15 ділянок, тобто програмний додаток виконав задачу обробки карт та виділив усі ділянки, на яких сховано ВНО для першого експерименту.

Третій експеримент відрізняється від двох попередніх зміненими вхідними даними. Фотографічна (рис. 3.5, б), температурна (рис. 3.7, а) та магнітна карти (рис. 3.6) створені для нової місцевості та режим роботи тепловізійної камери під час створення карт автоматизованою системою пошуку потенційно ВНО обрано аналогічно першому експерименту, тобто «Зростання температури».

Отримані карта (рис. 3.10, а) та маска (рис. 3.10, б) є достатньо контрастні, щоб при порівнянні мати змогу виділити ділянки із знайденими потенційними ВНО. Усього яскраво виділено 20 ділянок, тобто програмний додаток виконав задачу обробки карт та виділив усі ділянки, на яких сховано ВНО для першого експерименту.

У якості вхідних даних четвертого експерименту обрано фотографічну карту (рис. 3.5, б) та магнітну карту (рис. 3.6) третього експерименту. Для перевірки роботи другого режиму обрана інша температурна карта (рис. 3.7, б), та інший режим роботи тепловізійної камери під час створення карт автоматизованою системою пошуку потенційно ВНО, тобто режим «Падіння температури».

Отримані карта (рис. 3.11, а) та маска (рис. 3.11, б) є достатньо контрастні, щоб при порівнянні мати змогу виділити ділянки із знайденими потенційними ВНО. Усього яскраво виділено 20 ділянок, тобто програмний додаток виконав задачу обробки карт та виділив усі ділянки, на яких сховано ВНО для першого експерименту.

3.5 Висновки до третього розділу

За результатами аналізу сучасних мов об'єктно-орієнтованого програмування для створення програмного додатку для аналізу створених автоматизованою системою карт місцевості під час пошуку потенційних ВНО обрану достатньо потужну мову Java.

Використання Java дозволило швидко провести процес створення маски із теплової та магнітної карт, обробити оригінальну фотографічну карту з урахуванням маски та зберегти результати до файлової системи одноплатного комп'ютера.

Після розробки програми розв'язано основні задачі аналізу отриманих теплових та магнітних карт місцевості. Це дозволило точніше визначити ділянки місцевості, на котрих знайдено потенційне ВНО під час проведення пошуків.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

Людина, яка працюватиме з розробленою системою є сапером з навичками знешкодження ВНО. Сапер повинен дотримуватися усіх зазначених загальнопрофесійних компетентностей.

До виконання робіт допускаються особи, які пройшли навчання, інструктаж з питань охорони праці, у тому числі при виконанні робіт з підвищеною небезпекою, ознайомлені з правилами поведіння при виникненні аварій та надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05).

Сапер зобов'язаний знати [44]:

- основні законодавчі акти з охорони праці;
- права працівників з охорони праці на підприємстві;
- положення колективного договору щодо охорони праці;
- порядок проведення адміністративно-громадського контролю за станом охорони праці;
- основні вимоги правил безпеки праці до службових приміщень і споруд піротехнічного підрозділу;
- вимоги правил безпеки праці до піротехнічних та аварійно-рятувальних автомобілів, спеціальних пристроїв для проведення піротехнічних та аварійно-рятувальних робіт, переносного спеціального та аварійно-рятувального інструменту, засобів індивідуального бронезахисту фахівців піротехнічних;

- вимоги правил безпеки праці під час проведення саперних, піротехнічних та вибухових, а також аварійно-рятувальних робіт, ліквідування надзвичайних ситуацій та їх наслідків;

- основи електробезпеки;

- параметри й властивості, що характеризують вибухонебезпеку середовища;

- основи пожежної безпеки та шляхи її забезпечення;

- основи гігієни праці та виробничої санітарії;

- засоби та методи захисту працівників від шкідливого та небезпечного впливу виробничих факторів;

- правила проходження медичних оглядів.

Також, згідно з загальнопрофесійною компетентністю сапер зобов'язаний вміти [44]:

- дотримуватись вимог безпеки праці під час проведення саперних, піротехнічних та вибухових, а також аварійно-рятувальних робіт, ліквідування надзвичайних ситуацій та їх наслідків;

- дотримуватись вимог безпеки праці під час роботи із піротехнічними та аварійно-рятувальними автомобілями, спеціальними пристроями для проведення піротехнічних та аварійно-рятувальних робіт, переносним спеціальним та аварійно-рятувальним інструментом;

- використовувати за призначенням засоби індивідуального бронезахисту фахівців піротехнічних підрозділів;

- дотримуватись вимог електробезпеки під час роботи із електрифікованим обладнанням та електроустановками;

- володіти засобами і методами індивідуального та колективного захисту від небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

4.2 Загальні вимоги до знань та вмій сапера в області надання домедичної допомоги

Згідно з загальнопрофесійною компетентністю сапер зобов'язаний знати [44]:

- медико-правові та етичні аспекти надання домедичної допомоги;
- як надавати домедичну допомогу, щоб виявити фактори, які загрожують життю, та усунути або зменшити їх негативний вплив на організм людини;
- як оцінювати стан постраждалого, здійснювати первинний і вторинний його огляд, ґрунтуючись на принципах анатомії, фізіології, патофізіології та особливостях вікового розвитку людини;
- як здійснювати серцево-легеневу реанімацію, виконувати основи підтримки життєдіяльності;
- як надавати допомогу постраждалим з невідкладними медичними станами або станами, що викликані факторами навколишнього середовища, як-от: загальне переохолодження, обмороження, перегрівання, опіки;
- як надавати домедичну допомогу постраждалим з тупими травмами, проникаючими пораненнями, пошкодженнями опорно-рухового апарату;
- як вживати невідкладних заходів для зупинки кровотечі, накладати пов'язки;
- як працювати з базовим медичним обладнанням, застосовувати підручні засоби;
- принципи іммобілізації та евакуації постраждалих з транспортних засобів, запобігати пошкодженням хребта, особливо його шийного відділу;
- як надавати домедичну допомогу вагітним в разі пологів.

Згідно з загальнопрофесійною компетентністю сапер зобов'язаний вміти [44]:

- оглядати постраждалого;
- визначати життєві показники;
- оцінювати стан постраждалого;

- надавати допомогу при зупинці серця, використовувати автоматичний зовнішній дефібрилятор;
- використовувати дихальне обладнання;
- надавати допомогу при критичних кровотечах;
- використовувати допоміжні засоби для забезпечення прохідності дихальних шляхів;
- накладати шийний комір та іммобілізувати хребет;
- іммобілізувати кінцівки;
- евакуювати постраждалого з транспортного засобу;
- накладати пов'язки;
- надавати допомогу при опіках, обмороженнях;
- дотримуватись заходів безпеки під час роботи у небезпечних місцях;
- надавати допомогу при пологах.

4.3 Вимоги безпеки при аварійній ситуації

При аварійній ситуації програміст зобов'язаний:

- при виявленні небезпечної ситуації (пожежа, землетрус, радіаційна безпека, неполадки в електрогосподарстві тощо) для власного життя та життя співробітників заспокоїти і заспокоїти оточуючих;
- не усувати самому несправностей електромережі та електрообладнання, а вимкнути загальне електропостачання;
- при виявленні пожежі зобов'язаний негайно викликати пожежну частину;
- вжити заходів згідно з планом евакуації на випадок пожежі, виробничих та природних явищ та вивести працівників у безпечне місце. Організувати роботу ДПД щодо збереження майна та цінних паперів;
- при появі сторонньої особи, яка застосовує протиправні дії щодо безпеки життєдіяльності оточуючих, викликати міліцію;

– у випадку травмування працівників або клієнтів під час роботи підприємства необхідно викликати швидку допомогу або за потреби надати першу долікарську допомогу, за необхідності створити комісію по розслідування нещасного випадку, видати акт встановленого зразка, наказ про підсумки розслідування, повідомлення про наслідки нещасного випадку.

Дії при наданні першої долікарської допомоги:

– надання першої медичної допомоги починати з оцінки загального стану потерпілого і на підставі цього скласти думку про характер пошкодження;

– у разі різкого порушення або відсутності дихання, зупинки серця негайно зробити штучне дихання та зовнішній масаж серця, викликати швидку медичну допомогу.

Дії при ураженні електричним струмом:

– необхідно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електрообладнання від джерела живлення, а при неможливості відключення – відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал;

– за відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані оживлення необхідно починати негайно, після чого викликати швидку медичну допомогу.

Дії при пораненні:

– для надання першої допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти на рану стерильний перев'язувальний матеріал і зав'язати її бинтом;

– якщо індивідуального пакету немає, то для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку тощо. На те місце ганчірки, що приходить безпосередньо на рану, бажано накапати декілька капель настойки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після цього накласти ганчірку на рану.

Дії при переломах, вивихах, ударах, розтягненні:

– при переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластинкою, палицею, картоном або іншим подібним предметом. Пошкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба;

– при передбачуваному переломі черепа (несвідомий стан після удару голови, кровотеча з вух або рота) необхідно прикласти до голови холодний предмет (грілку з льодом або снігом, чи холодною водою) або зробити холодну примочку;

– при підозрі перелому хребта необхідно потерпілого покласти на дошку, не підіймаючи його, чи повернути потерпілого на живіт обличчям у низ, наглядаючи при цьому, щоб тулуб не перегинався з метою уникнення ушкодження спинного мозку;

– при переломі ребер, ознакою якого є біль при диханні, кашлю, чханні, рухах необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

Дії при теплових опіках:

– при опіках вогнем, парою, гарячими предметами ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються, та перев'язувати опіки бинтом;

– при опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом; при опіках другого ступеня (пухирі) обпечене місце обробляють спиртом, 3 % марганцевим розчином або 4 % розчином таніну;

– при опіках третього ступеня (зруйнування шкіряної тканини) накривають рану стерильною пов'язкою та викликають лікаря.

Дії при кровотечі:

– для того, щоб зупинити кровотечу, необхідно підняти поранену кінцівку вгору, кровоточиву рану закрити перев'язувальним матеріалом (із пакета), складеним у клубочок, придавити її зверху, не торкаючись самої рани;

– при сильній кровотечі, яку не можна зупинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровоносних судин, які живлять поранену область, за допомогою згинання кінцівок у суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою.

4.4 Висновки до четвертого розділу

Для забезпечення безпечних умов праці сапера розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Зокрема, розглянуто вимоги до обов'язкових знань сапера з питань техніки безпеки, надання домедичної допомоги та при виникненні аварійних операцій.

Також приведено послідовність дій, що потрібно виконати при наданні першої долікарської допомоги, ураженні електричним струмом, пораненні, переломах, вивихах, ударах, розтягненні, теплових опіках та кровотечі.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи запропоновано рішення актуальної задачі підвищення ефективності автоматизованої системи пошуку потенційно вибухонебезпечних об'єктів на відкритій місцевості за рахунок використання декількох методів пошуку одночасно та відокремлення системи від певної моделі БПЛА.

За результатами огляду й аналізу сучасного стану проблеми встановлено, що розвиток автоматизації зробив можливим створення сучасних систем виявлення вибухонебезпечних об'єктів які дозволяють спеціалістам здійснювати пошук вибухонебезпечних об'єктів швидше, точніше та більш безпечно.

Проведено аналіз існуючих автоматизованих систем виявлення ВНО на відкритій місцевості та обрано для розроблення автоматизовану систему виявлення із застосуванням БПЛА. Розглянуті методи виявлення ВНО та визначено методи, що будуть використовуватися системою, що розробляється.

Також було сформовано послідовність етапів створення автоматизованої системи виявлення та ідентифікації ВПО, виявлено основні компоненти та розроблено схему та демонстраційну модель системи, що розробляється.

Обрано датчики та пристрої обробки для системи, що створюється, розраховано час автономної роботи та обрано джерело живлення. Проведено розрахунок загальної ваги та висунуто вимогу до вантажопідйомності БПЛА.

Розроблено алгоритм системи стабілізації частини з датчиками, алгоритм створення фотографічної, теплової та магнітної карт відкритої місцевості та алгоритм аналізу створених карт для допомоги оператору в прийнятті рішення щодо наявності або відсутності у певних ділянках місцевості потенційних ВНО.

Для детального опису алгоритму аналізу створених карт місцевості зроблено математичний опис алгоритму.

Проаналізовано сучасні мови програмування для розробки програмного додатку, що виконує аналіз створених теплових, фотографічних та магнітних

карт місцевості та видає чорно-білу маску оригінальної фотографічної карти та проаналізовану фотографічну карту.

Проаналізовано результати експерименту та виявлено, що створений програмний додаток аналізу впорався з поставленою задачею аналізу та виділив усі ділянки з ВНО.

Для подальшого розвитку можливе програмне та технічне покращення розробленої автоматизованої системи виявлення ВНО на відкритих місцевостях додаванням до системи потужних ліхтарів для можливості роботи в темряві, вдосконалення алгоритму аналізу для можливості використання розробленої системи у пролісках та під'єднанням далекомірів, що дозволить оцінювати якість інформації, що надходить до датчиків в залежності від віддаленості системи від поверхні землі.

По темі кваліфікаційної роботи було підготовлено статтю у журналі «Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості». 2022. №2 (20) (Харків, 30 червня 2022 р.) [45] та опубліковано тези у матеріалах IV міжнародної конференції з природничих наук та технологій (Анталія, 24-26 серпня 2022 р.) [46];

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.

2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

3. Барбашин В. В. Утилізація та знищення вибухонебезпечних предметів. Навчальний посібник (в трьох томах) / В. В. Барбашин, О. М. Смирнов, І. О. Толкунов. – Харків : [б. в.], 2015. – Т. 1 : Порядок та правила утилізації вибухонебезпечних предметів. – 416 с.

4. Смирнов О. М. Утилізація та знищення вибухонебезпечних предметів. Навчальний посібник (в трьох томах) / О. М. Смирнов, В. В. Барбашин, І. О. Толкунов. – Харків : [б. в.], 2015. – Т. 2 : Заходи безпеки при поводженні з ракетами і боєприпасами під час проведення робіт з утилізації. – 484 с.

5. Як виявляють і знешкоджують міни - BBC News Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/vert-fut-39698204> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

6. Бевз, А. М., Толкунов І. О. Державне управління процесами гуманітарного розмінування в Україні // Державне управління у сфері цивільного захисту: наука, освіта, практика : матеріали Всеукраїнської науково-практичної

конференції, 28–29 квітня 2016 р. / за заг. ред. В. П. Садкового. – Х. : Вид-во НУЦЗУ, С. 154–158.

7. Говдун А.В., Полотай О.І. Проекти Гуманітарного Розмінування Та Їх Особливості // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф. Молодих вчених, курсантів та студентів: [в 2 ч.]. Ч. 2. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017 С. 95.

8. Proof: How Small Drones Can Find Buried Landmines in the Desert Using Airborne IR Thermography / J. Fardoulis [et al.] // The Journal of Conventional Weapons Destruction. – 2020. – Vol. 24, no. 2. – P. 15. – Режим доступу: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4409641> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

9. Application of a Drone Magnetometer System to Military Mine Detection in the Demilitarized Zone / L. S. Yoo [et al.] // Sensors. – 2021. – Vol. 21, no. 9. – P. 3175. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/s21093175> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

10. An integrated aerial system for landmine detection: SDR-based Ground Penetrating Radar onboard an autonomous drone [Електронний ресурс] / J. Colorado [et al.] // Advanced Robotics. – 2017. – Vol. 31, no. 15. – P. 791–808. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/01691864.2017.1351393> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

11. Features and benefits of tEODor EVO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/teodor-evo> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

12. Accessories tEODor EVO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/teodor-evo/accessories-teodor-evo> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

13. STANDARD EOD-ROBOT tEODor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.army-guide.com/eng/product4011.html> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

14. telemax family [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/telemax-family> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

15. TELEMAX EVO telemax EVO 4X4 with wheels: versatile and cost-efficient [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/telemax-family/telemax-evo-4x4/page> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

16. telemax RECCE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/telemax-family/telemax-recce/page> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

17. telemax EVO PLUS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/telemax-family/telemax-evo-plus/page> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

18. telemax EVO PRO [Електронний ресурс]. – Mode of access: <https://www.telerob.com/en/products/telemax-family/telemax-evo-pro/page> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

19. telemax EVO HYBRID [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.telerob.com/en/products/telemax-family/telemax-evo-hybrid/page> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

20. Robots - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechology.com/robots/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

21. Mini-CALIBER - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechology.com/robots/mini-caliber/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

22. CALIBER T5 - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechology.com/robots/caliber-t5/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

23. MK3 CALIBER - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechnology.com/robots/mk3-caliber/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

24. CALIBER FLEX - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechnology.com/robots/caliber-flex/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

25. CALIBER MK4 - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechnology.com/robots/caliber-mk4/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

26. ICOR Technology is donating Robots to Ukraine - ICOR Technology - Tactical & Security Robotics Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icortechnology.com/news/icor-technology-is-donating-robots-to-ukraine/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

27. System to detect underground objects using a sensor array : пат. 02377909 Сполучені Штати Америки (США) : G06V 20/17, G06V 10/75, G06V 10/82, B64C 39/02 / К. NURKIC. – № 17/586,677 ; заявл. 27.01.2022 ; опубл. 28.07.2022, Бюл. № 63/142,394. – 13 с.

28. Переносний комплекс для пошуку та виявлення мінн [Електронний ресурс] : пат. 125886 Україна : F41H11/12, B64C39/02 / С. П. Мосов, М. О. Попов. – № а202004366 ; заявл. 13.07.2020 ; опубл. 19.01.2022, Бюл. № 3. – 7 с. – Режим доступу: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1693774/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

29. 5 найважливіших винаходів Олександра Грема Белла - Наука - 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.warbletoncouncil.org/inventos-alexander-graham-bell-6411> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

30. Чи може металошукач замінити міношукач? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metalloiskateli.com.ua/minoiskatel-vs-metalloiskatel> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана.

31. GPR Technology | What is GPR? | ImpulseRadar [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://impulseradargpr.com/technology/> (дата звернення: 25.09.2022). – Назва з екрана. Кривонос О.М., Кузьменко Є.В., Кузьменко С.В. Огляд та перспективи використання платформи Arduino NANO 3.0 у вищій школі // Інформаційні технології і засоби навчання. – Т.56, № 6. – 2016. – С. 77-87. doi:10.33407/itlt.v56i6.1506.

32. MPU-6050 - гіроскоп - акселерометр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.avislab.com/mpu-6050/> (дата звернення: 27.10.2022). – Назва з екрана.

33. Zuev A. The method of primary processing of thermograms obtained using small-size thermal imagers [Електронний ресурс] / Andrey Zuev // Advanced Information Systems. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 136–140. – Режим доступу: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.23> (дата звернення: 14.12.2022). – Назва з екрана.

34. Raspberry Pi Camera Module 2 for Raspberry Pi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-v2/> (дата звернення: 27.10.2022). – Назва з екрана.

35. Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.wiki.uk-ua.nina.az/Arduino_Nano.html#Живлення (дата звернення: 14.12.2022). – Назва з екрана.

36. Як увімкнути підключення до віддаленого робочого столу в Windows 7 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.athowto.com/how-enable-remote-desktop-connection-windows-7> (дата звернення: 15.11.2022). – Назва з екрана.

37. Java [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Java> (дата звернення: 15.11.2022). – Назва з екрана.

38. Еванс Б., Фленеган Д. Java. Посібник розробника. Санкт-Петербург, 2019. 592 с.
39. Лонг Дж. Java у хмарі. 2019. 624 с.
40. Троелсен Е., Джелікс Ф. Мова програмування C# 7 та платформи .NET і .NET Core. 2018. 1330 с.
41. Alls J. Clean Code in C#: Refactor your legacy C# code base and improve application performance by applying best practices. Packt publishing, 2020. 500 с.
42. Волошин О. Переваги і недоліки мови Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.ithillel.ua/articles/perevagi-i-nedoliki-movi-python> (дата звернення: 15.11.2022). – Назва з екрана.
43. Що таке Python: переваги програмування на Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://futurenow.com.ua/shho-take-python-piton-perevagu-programuvannya-na-python/> (дата звернення: 15.11.2022). – Назва з екрана.
44. СП(ПТ)О 5169.О.84.25 - 2019. Стандарт професійної (професійно-технічної) освіти (Сапер (розмінування)). – Чинний від 2019-05-31. – Вид. офіц. – Київ : МОН України Міністерство соц. політики України, 2019. – 70 с.
45. Pakhnyts I. SYSTEM FOR DETECTION AND IDENTIFICATION OF POTENTIALLY EXPLOSIVE OBJECTS IN OPEN AREA [Електронний ресурс] / Ivan Pakhnyts, Sofiia Khrustalova, Kirill Khrustalev // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2022. – № 2 (20). – С. 106–112. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30837/itssi.2022.20.106> (дата звернення: 10.12.2022). – Назва з екрана.
46. DETECTION AND IDENTIFICATION OF POTENTIALLY EXPLOSIVE OBJECTS IN OPEN AREA / Igor NEVLIUDOV [та ін.] // INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES : міжнар. конф. з природн. наук та технологій, Antalya, 24 серп. 2022 р. – [Б. м.], 2022. – С. 104.