

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки  
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр РОЛІК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані системи управління»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
на тему: «Система боротьби з дронами»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ІА-61  
Тичинська Анастасія Ігорівна

\_\_\_\_\_

Керівник:

Заступник декана, к.т.н., доцент,  
Писаренко Андрій Володимирович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент кафедри ТК, к.т.н., доцент,  
Ткач Михайло Мартинович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**

**Автоматики та управління в технічних системах**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані системи управління»

«Затверджую»

Завідувач кафедри

О.І. Ролік

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студентки**

**Тичинської Анастасії Ігорівни**

1. Тема проєкту «Система боротьби з дронами», керівник проєкту Писаренко Андрій Володимирович к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «\_07\_» \_\_\_\_\_ травня 2020р. №1081-с.

2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2020

3. Вихідні дані до проєкту: локатор, обчислювальний модуль, модуль глушіння, дрон із камерою, модель комп'ютерного зору, що здатна розпізнавати літаючі об'єкти, програмне забезпечення для додатку користувача, програмне забезпечення для використання моделі комп'ютерного зору.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, огляд та аналіз існуючих рішень, розроблення та опис структурної схеми, опис функціональної схеми, опис блок-схеми, опис діаграми класів, підбір компонентів, реалізація розпізнавання дронів, боротьба із дронами, висновки, перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу: схема структурна, схема функціональна, блок-схема, діаграма класів.

6. Дата видачі завдання 30 квітня 2020 року

## Календарний план

№	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	10.03.20 – 20.03.20	
2	Пошук даних для машинного навчання	20.03.20 – 03.04.20	
3	Тренування моделі комп'ютерного зору	03.04.20 – 12.04.20	
4	Розробка концептуального додатку, що використовує натреновану модель	13.04.20 – 25.04.20	
5	Перевірка роботи моделі та її коректування	25.04.20 – 29.04.20	
6	Проектування системи	29.04.20 – 05.04.20	
7	Підбір компонентів системи	09.05.20 – 10.05.20	
8	Розроблення схем та діаграм	10.05.20 – 21.05.20	
9	Оформлення текстової документації	21.05.20 – 08.06.20	

Студент

Анастасія ТИЧИНСЬКА

Керівник

Андрій ПИСАРЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Тичинська А.І. Система боротьби з дронами. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2020.

Пояснювальна записка складається з 9 розділів, 60 с. тексту, містить 22 рисунки, 1 таблицю, посилання на 35 літературних джерел, 5 додатків та 4 кресленики.

Ключові слова: система боротьби з дронами, комп'ютерний зір, машинне навчання, розпізнавання зображень, дрони, радіоелектронна боротьба.

Об'єктом розробки є система боротьби з дронами.

Мета розробки – виконати огляд існуючих рішень боротьби із ворожими дронами, порівняти їх та на базі порівняння розробити власну систему безпечної протидії дронам у повітряному просторі.

У дипломному проєкті було розглянуто декілька методів виявлення дронів (радіолокатор та розпізнавання за допомогою комп'ютерного зору), а також боротьби із ними (робота модулю глушіння, використання іншого дрону для пострілу снарядом). У ході роботи було натреновано модель розпізнавання літаючих об'єктів із зображень, створено додаток для демонстрації її роботи та підібрано деякі компоненти. Розроблена система є унікальною та не має повних аналогів на ринку.

## SUMMARY

Tychynska A.I. Drone control system. Igor Sikorsky KPI, Kyiv, 2020.

The explanatory note consists of 9 sections, 60 pages of text, 22 figures, 1 table, references to 35 literature sources, 5 appendices and 4 drawings.

Keywords: drone control system, computer vision, machine learning, image recognition, drones, electronic warfare.

The object of development is a drone control system.

The purpose of the development is to review existing solutions to combat enemy drones, compare them and, on the basis of comparison, develop our own system of safe countering of drones in the airspace.

The diploma project considered several methods of detecting drones (radar and recognition by computer vision), as well as combating them (operation of the jamming module, the use of another drone to fire a projectile). In the course of the work, a model of recognizing flying objects on images was trained, an application was created to demonstrate its work and some components were selected. The developed system is unique and has no complete analogues on the market.

**Пояснювальна записка  
до дипломного проекту  
на тему: «Система боротьби  
з дронами»**

Київ – 2020 року

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	6
1.1 Kaspersky Antidrone .....	6
1.2 REX-1.....	7
1.3 SkyWall Auto .....	8
1.4 AeroSnare .....	10
1.5 SkyFence .....	12
1.6 Висновки до розділу .....	13
2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ .....	15
2.1 Висновки до розділу .....	17
3 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ.....	18
4 ОПИС АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ .....	20
5 ОПИС ДІАГРАМИ КЛАСІВ СИСТЕМИ.....	22
6 ПІДБІР КОМПОНЕНТІВ .....	26
6.1 Обчислювальний модуль наземного пристрою .....	26
6.2 Камера наземного пристрою .....	27
6.3 Модуль глушіння .....	28
6.4 Дрон .....	30
6.5 Камера дрону.....	32
7 РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ .....	34
7.1 Локатор.....	34
7.1.1 Магнетрон .....	35
7.1.2 Антена .....	37

					<b>ІА61.240БАК.005 ПЗ</b>			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Тичинська			Система повітряної боротьби з дронами	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Писаренко					2	60
Н. контр.					НТУУ(КПІ) ФІОТ група ІА-61			
Затв.								

7.1.3	Дуплексер.....	38
7.1.4	Приймач .....	39
7.2	Комп'ютерний зір .....	39
7.2.1	Тренування моделі.....	42
7.2.2	Демонстрація роботи моделі.....	46
7.3	Висновки до розділу .....	48
8	РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ ІЗ ДРОНАМИ.....	50
8.1	Модуль глушіння .....	50
8.1.1	Джерело перешкод .....	51
8.1.2	Підсилювач сигналу .....	51
8.1.3	Антенa .....	52
8.2	Захоплення сіткою .....	52
8.2.1	Реалізація пострілу .....	53
8.2.2	Опис снарядів .....	54
	ВИСНОВКИ .....	56
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	58

## ВСТУП

Дрони поступово знаходять широке застосування у житті людей. Зокрема, у сільськогосподарській сфері дрони із функцією GPS-навігації використовуються для опилення полів. Таким чином досягається значна економія хімікатів, а також більш точна обробка посівів у порівнянні із традиційною пілотною авіацією.

Дрони також використовуються для доставки медикаментів та гуманітарних вантажів у важко доступні райони. Вони можуть використовуватися для перевірки ліній електропередач та трубопроводу. Рятувальники використовують дрони у цілях моніторингу та прогнозування незвичайних ситуацій, а також для контролю небезпечних об'єктів.

Зйомка фільмів, вистежування заторів на дорогах – усе це лише мала частина того, що можуть робити дрони на користь людства.

Нажаль, технічний прогрес у області дронів спровокував використання дронів у якості важливої складової бойових дій, промислового шпигунства, тероризму а також інших протиправних дій. Якщо на початку дрони виконували допоміжні функції розвідки, то сьогодні вони є самостійною ударною силою, яка може завдати багато неприємностей як охороняємим об'єктам, так і цивільному населенню.

Саме через це традиційні методи безпеки стають марними. Крім цього, дрони стають менші, розумніші та дешевші у виробництві. Тому питання захисту від дронів приватних об'єктів та державних установ по всьому світу стає дуже актуальним.

І в зв'язку з подібним масовим поширенням дронів багато структур, що забезпечують безпеку своїх країн, почали розробляти нові технології протидії їм. Нижче представлені методи і способи нейтралізації дронів:

а) акустичні;

					IA61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

- б) лазерні;
- в) мікрохвильові;
- г) системи із снарядами;
- д) системи РЕБ;
- е) системи перехоплення управління безпілотних літальних апаратів.

Проблема деяких сучасних рішень – висока вартість, складнощі у розгортанні та масштабуванні системи. Ще одна проблема – це небезпека для людей та об'єктів, які знаходяться у точках, куди можуть впасти знешкодовані дрони та їх частини.

Мета даного проекту – забезпечення ефективної протидії ворожим дронам у повітряному просторі за рахунок розроблення системи боротьби із застосуванням комп'ютерного зору.

					<b>ІА61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		5

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

## 1.1 Kaspersky Antidrone

Це програмне забезпечення, яке можна підключити до обчислювального модулю. Також для роботи потрібно підключити будь-який пристрій, що сканує простір над потрібною зоною – камеру, лідар, радар, акустичний сенсор. Додатково можна підключити IPTV-камери, які вже використовуються на охороняємому об'єкті.

Обчислювальний модуль, на який встановлено програмне забезпечення знаходить об'єкт, що рухається, зчитує його координати і передає їх на сервер. Потім переміщення об'єкта відстежує опорно-поворотний модуль з встановленими на ньому камерами високої роздільної здатності. Нейронна мережа аналізує об'єкт і з'ясовує, дрон це чи ні. Якщо це дрон, то вмикається модуль глушіння, який блокує зв'язок дрона з пультом управління і змушує його повернутися до точки старту або здійснити м'яку посадку в місці втрати зв'язку з оператором. Програмне забезпечення має змогу глушити декілька дронів одночасно [1].

Недоліки Kaspersky Antidrone:

- а) для підключення потрібно мати в наявності певні пристрої, на які можна буде завантажити ПЗ;
- б) не портативна система;
- в) не дає користувачам можливість отримати керування над перехопленим дроном.

Переваги Kaspersky Antidrone:

- а) легко підключити на територію, де є багато камер;
- б) не потрібна людина для керування пристроєм;
- в) глушить кілька дронів одночасно.

					<b>ІА61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		6

## 1.2 REX-1

Це портативний пристрій, що глушить сигнал для дрона, на який буде направлено пристрій. Для використання пристрою потрібна людина, що буде його тримати. Зовні він схожий на ручну зброю та важить приблизно 4 кг (рисунок 1.1). Пристрій здатний блокувати на відстані одного кілометра сигнали GSM, 3G, LTE і ставити перешкоди на частотах 900 МГц, 2,4, 5,2-5,8 ГГц.

Суть роботи REX-1 полягає в приглушенні сигналу систем навігації та зв'язку, якими користуються дрони. В нього вбудовано блок, який в радіусі двох кілометрів заглушає сигнали супутникової навігації. Пристрій активується натисканням однієї кнопки і дрон глушиться. Дрон фізично не знищується, але втрачає зв'язок з пультом управління і приземляється. Пристрій оснащено системою кріплення, так що на нього можна додатково встановити приціли та ліхтарі. Пристрій портативний, його потрібно заряджати. Час роботи без підзарядки – 3 години [2].

### Недоліки REX-1:

- а) глушить одночасно лише один дрон;
- б) працює лише три години, потім потрібна перезарядка;
- в) система не працює самостійно – для роботи потрібна людина, що керуватиме пристроєм;
- г) не можна отримати керування над перехопленим дроном.

### Переваги REX-1:

- а) портативний пристрій;
- б) для підключення не потрібні додаткові пристрої або ПЗ.

					<b>ІА61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		7



Рисунок 1.1 – REX-1 [3]

### 1.3 SkyWall Auto

Це автономний пристрій, що сканує охороняємий простір, виявляє ворожі дрони за допомогою нейромережі та випускає снаряд, що швидко фіксує дрони в сітках (рисунок 1.2). Використовується спільно з електронними контрзаходами для багатошарової оборони або в умовах, де електронна атака не може бути використана. Є кілька версій пристрою, одна з сіткою, інша з сіткою та парашутом, що підкріплений до неї.

Камера пристрою сканує небесний простір та надсилає зображення до обчислювального модулю. Нейронна мережа пристрою сканує отримане зображення, аналізує об'єкти, що з'являються у її полі зору, з'ясовує що це за об'єкти. Якщо це дрон, то пристрій запускає снаряд із сіткою до цільового дрона. Якщо це версія пристрою із парашутом, то після захоплення у сітку, він відкривається і захоплений дрон плавно опускається. Система може бути постійно встановлена на будівлі або транспортному засобі, таким чином пристрій можна вважати портативним та перевозити його на різні об'єкти.

					IA61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		8

Снаряди SkyWall мають змогу бути використаними повторно. Потрібно зняти сітку або сітку та парашут із захопленого дрона та помістити у пристрій [4].



Рисунок 1.2 – SkyWall Auto [5]

Недоліки SkyWall Auto:

- а) не глушить та не перериває зв'язок між дроном та пультом керування;
- б) не можна отримати керування над перехопленим дроном.

Переваги SkyWall Auto:

- а) портативний пристрій, що можна встановити як на будівлю, так і на машину;
- б) дає можливість боротися з багатьма дронами майже одночасно;
- в) не потрібна людина для керування пристроєм;
- г) можна використовувати в умовах, де електронна атака не може бути використана.

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

ІА61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

9

#### 1.4 AeroSnare

Це пристрій, який забезпечує фізичну можливість захоплення дрона для поліції та силовиків, які вже експлуатують власні дрони. AeroSnare надійно приєднується до будь-якого дружнього дрона. Він використовує мотузку та парашут, які прикріплені до дружнього дрону (рисунок 1.3).

Для керування дроном потрібна людина. Спочатку до дружнього дрону потрібно прикріпити пристрій. Сам пристрій складається із пластикового корпусу та снаряду у ньому. Снаряд складається із мотузки із алюмінієвим важелем вагою 0,025кг на одному кінці мотузки та парашуту на іншому кінці. Парашут причеплено до корпусу за допомогою магніту. Перед запуском потрібно прослідкувати за тим, щоб кінець мотузки із важелем був рівним, незаплутаним і знаходився за дроном. Дружній дрон у ручному режимі потрібно помістити над ворожим дроном таким чином, щоб мотузка заплутала його гвинти. Після цього ворожий дрон зупиняється та починає падати донизу. Так як ворожий дрон важкий, він тягне мотузку і магніт, за допомогою якого мотузка із парашутом тримаються за корпус. Магніт відпускає парашут з мотузкою, тож цей процес активує функцію розгортання парашуту. Це дає змогу повільно опустити ворожий дрон на землю.

Мотузку та парашут AeroSnare можна використовувати повторно. Потрібно зняти мотузку та парашут із захопленого дрона та повторно помістити у пристрій [6].

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – AeroSnare [7]

Недоліки AeroSnare:

- а) не глушить та не перериває зв'язок між дроном та пультом;
- б) не можна отримати керування над перехопленим дроном;
- в) для використання пристрою потрібна людина;
- г) потрібно мати свій дрон, щоб прикріпити до нього пристрій;
- д) заглушує одночасно лише один дрон;
- е) для того, щоб зупинити ворожий дрон потрібно в ручну помістити дружній дрон над ним, через що пристрій малоефективний для боротьби зі швидкими дронами.

Переваги AeroSnare:

- а) портативний пристрій;
- б) для підключення не потрібні додаткові пристрої або ПЗ;
- в) можна використовувати в умовах, де електронна атака не може бути використана;
- г) снаряди пристрою можна використовувати багато разів;
- д) низька вартість у порівнянні з іншими аналогами.

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

ІА61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

11

## 1.5 SkyFence

Це система пов'язаних між собою пристроїв, які формують «електронну стіну», що простягається на 500 метрів у небо. Пристрої глушать ворожі дрони і вони не можуть перелетіти через «стіну» до охороняємої території (рисунок 1.4). Система пристроїв може бути встановлена горизонтально або вертикально (формуючи «дах, який перешкоджає опусканню ворожих дронів на охороняємий об'єкт») залежно від експлуатаційних вимог. Потрібно встановити пристрої на відстані 50-40 метрів один від одного, щоб у «електронній стіні» не було прогалин.

Система працює автономно. У ній використовується декілька пристроїв, які стратегічно розміщуються навколо захищеного місця. Увімкнувшись, вони передають сигнал, призначений для переповнення частот дрона. Таким чином порушується зв'язок між дроном та оператором. За допомогою спеціальної технології компанії «Precision Antenna Technology SkyFence» зменшує вплив на інші електронні пристрої і впливає лише на ворожі у небі, що наближаються до охороняємого об'єкту. Таким чином стає можливим використання будь-яких дружніх дронів всередині об'єкту. У системі відсутня технологія розпізнавання об'єктів нейромережею, як у деяких попередніх аналогах [8].

Недоліки SkyFence:

- а) не можна отримати керування над перехопленим дроном;
- б) не портативна система;
- в) потрібно встановлювати декілька пристроїв.

Переваги SkyFence:

- а) система нескінченно масштабується, щоб відповідати розміру периметра будь-якого охороняємого об'єкта, а також можливість

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		12

встановити пристрої так, щоб вони утворили вертикальну або горизонтальну стіну;

- б) для підключення не потрібні додаткові пристрої або ПЗ;
- в) глушить одночасно безліч дронів;
- г) не потрібна людина для керування пристроєм.



Рисунок 1.4 – SkyFence [9]

## 1.6 Висновки до розділу

У цьому розділі було проаналізовано найпоширеніші існуючі рішення, що використовуються для боротьби із ворожими дронами. Вони дозволяють виявляти та знешкоджувати їх за різними механізмами

На основі аналізу було розроблено порівняльну таблицю розглянутих пристроїв.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.1 – Порівняння пристроїв

	Kaspersky Antidrone	REX-1	SkyWall Auto	AeroSnare	SkyFence
Може працювати автономно, без людини	+	-	+	-	+
Не потребує додаткового обладнання	-	+	+	-	+
Низька вартість пристрою	-	-	-	+	-
Портативність	-	+	+	+	-
Глушіння дронів	+	+	-	-	+
Постріл сіткою	-	-	+	+	-
Знешкодження декількох цілей	+	-	-	-	+
Використання нейромережі для виявлення дронів	+	-	+	-	-

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

14

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Структурна схема представлена на кресленику ІА61.240БАК.005 Э1.

Основні структурні елементи системи:

- а) наземний пристрій, що складається з:
  - 1) обчислювального модулю;
  - 2) камери із високою роздільною здатністю та кутом огляду 360°;
  - 3) модулю глушіння;
  - 4) локатора;
  - 5) блоку живлення.
- б) Дружній дрон з камерою.
- в) Пристрій для запуску снаряду, що складається з:
  - 1) керуючої схеми;
  - 2) передавача радіосигналу;
  - 3) приймача радіосигналу;
  - 4) GPS-локатора;
  - 5) мотора;
  - 6) шестерні;
  - 7) пружини;
  - 8) поршню;
  - 9) снаряду;
- г) Сервера.
- д) Мобільного застосунку.

Обчислювальний модуль складається з:

- а) процесора,
- б) оперативної пам'яті;
- в) Wi-Fi-модулю;

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		15

- г) передавача сигналів;
- д) приймача сигналів
- е) флеш-пам'яті.

Наземний пристрій включає в себе обчислювальний модуль, камеру, локатор, модуль глушіння, блок живлення. Обчислювальний модуль відповідає за обчислювальні операції за допомогою процесора, передачу та прийом сигналів, а також містить у собі WiFi-модуль. Також він сканує зображення, які надсилає йому камера за допомогою комп'ютерного зору.

Камера використовується для того, щоб надсилати зображення небесного простору до обчислювального центру.

Локатор потрібен для виявлення повітряних об'єктів, а також для визначення їхньої дальності та геометричних параметрів. Використовує метод, заснований на випромінюванні радіохвиль і реєстрації їх віддзеркалень від об'єктів. Локатор складається з передавачу, дуплексеру, антени та приймача.

Модуль глушіння використовується для того, щоб у випадку виявлення ворожих дронів передавати інтенсивний білий шум на тих же радіочастотах, на яких дрони зв'язуються з пультом управління. Таким чином порушується зв'язок між ними. Модуль глушіння складається з керуючого пристрою, джерела перешкод, підсилювачу та антени.

Дружній дрон потрібен для того, щоб знешкоджувати дронів. Дружній дрон вміщає на собі пристрій для випуску снаряду.

Сервер потрібен для того, щоб зберігати дані про знешкодження дронів. Він надсилає ці дані до мобільного застосунку. Він складається з мережевої карти, процесору, бази даних.

Деякі компоненти системи описано у шостому розділі.

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
						16
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.1 Висновки до розділу

На основі аналізу існуючих рішень було вирішено створити систему, яка комбінує два режими боротьби із ворожими дронами:

- а) активація модулю глушіння;
- б) вивільнення снаряду із пристрою на дружньому дроні.

Користувач системи матиме змогу обирати режим протидії самостійно. Завдяки двом режимам, у випадку, якщо один із них не спрацює – буде активовано інший режим.

У системі існує два методи виявлення дронів: сканування локатором, та виявлення за допомогою комп'ютерного зору. Для цього камера відсилає до обчислювального центру зображення, яке аналізується комп'ютерним зором. Після цього активується один із режимів протидії дронам.

Користувач має змогу обирати режим протидії у мобільному застосунку. Також у ньому є можливість переглядати звіти щодо знешкоджених об'єктів: кількість, режим знешкодження.

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		17

### 3 ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

Розроблена функціональна схема представлена на кресленику ІА61.240БАК.005 Э1.

Наземний пристрій працює за допомогою блоку живлення, який надає струм обчислювальному модулю, камері, модулю глушіння та локатору.

Передавач локатору надсилає керуючий сигнал до магнетрону, який виробляє високочастотні імпульси. Дуплексер перемикає локатор на режим антени та передає за допомогою неї високочастотні імпульси. Коли антена прийняла відбитий сигнал, дуплексер у режимі передавача передає отриманий сигнал демодулятору, який, у свою чергу, передає процесору обчислювального блоку дані щодо знайдених локатором повітряних об'єктів. Камера надсилає відеопотік процесору, який розкладає його на зображення та за допомогою комп'ютерного зору розпізнає на них літаючі об'єкти.

Якщо обчислювальний модуль працює у ручному режимі, то він надсилає повідомлення про нього на сервер, а з нього на застосунок, що стоїть на усіх зв'язаних смартфонах. Через смартфон користувач має змогу обрати спосіб знешкодження: активація модулю глушіння або випускання дружнього дрону.

Модуль глушіння починає роботу після отримання керуючого струму від обчислювального модулю. Керуючий пристрій надсилає керуючий сигнал на джерело перешкод, що починає виробляти псевдовипадкові імпульси та передавати їх на підсилювач. Підсилені ним імпульси передаються у простір за допомогою антени.

Якщо користувач не відповідає, або зв'язок із ним буде перервано, система самостійно знешкодить дрон, використовуючи спосіб який раніше було обрано у автономному режимі.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Дружній дрон розпочинає роботу після прийому радіосигналу та координатів ворожого дрону від обчислювального модулю. Дружній дрон передає обчислювальному модулю зображення з камери та свою локацію. Для пострілу, акумулятор подає струм на мотор пристрою. Мотор обертає шестерні, які обертають поршень. Після того, як поршень затискає пружину, шестерні перестають обертатися. Це спричиняє поштовх поршню пружиною та випуск снаряду.

Сервер отримує на мережеву карту статистичні дані від процесору обчислювального модулю. Процесор надсилає їх у базу даних. Він також надсилає їх через мережеву карту у мобільний застосунок.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		19

#### 4 ОПИС АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ

Розроблена блок-схема алгоритму роботи представлена на кресленику ІА61.240БАК.005 Д1. Алгоритм має 14 основних етапів роботи, без урахування початку та кінця роботи.

На етапі блоку 1 у системі розпочинається робота локатору. Він виявляє чи є на небі літаючі об'єкти. Антена локатору розповсюджує сигнал у небесний простір. Коли він відбивається від об'єкту, антена сприймає відбитий сигнал.

На етапі 2 приймач передає інформацію щодо відлуння до обчислювального модулю, який приймає рішення щодо того, чи виявлено літаючий об'єкт.

На етапі 3 розпочинається робота камери, яка надсилає зображення небесного простору до обчислювального модулю.

На етапі 4 обчислювальний модуль активує роботу нейромережі, що аналізує зображення з камери та розпізнає об'єкти на ньому.

На етапі 5 нейромережа вирішує, чи є знайдений об'єкт дроном.

На етапі 6 система перевіряє, який режим знешкодження встановлено за замовчуванням.

Якщо знешкодження не автоматичний, то розпочинається етап 7, на якому система надсилає запит користувачу на мобільний застосунок.

На етапі 8 система отримує від користувача відповідь.

На етапі 9 система перевіряє, чи дав користувач згоду на знешкодження. Якщо відповідь – ні, це означає кінець роботи. Якщо відповідь – так, то розпочинається наступний етап.

На етапі 10 система вирішує, який метод знешкодження обрано. Якщо це випуск снаряду, то розпочинається випуск дружнього дрону із снарядом. Якщо це глушіння, то розпочинається робота модулю глушіння.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

На етапі 11 розпочинається робота дружнього дрону. Обчислювальний модуль направляє його у точку простору на відстані 2-3 метри від ворожого дрону надсилає сигнал про активацію пострілу (етап 12).

На етапі 13 розпочинається робота модулю глушіння. Антена модулю розповсюджує перешкоди.

На етапі 14 система приймає рішення щодо того, чи було дрон знешкоджено. Якщо так, це означає кінець роботи. Якщо ні, тоді повторюється етап 7.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ОПИС ДІАГРАМИ КЛАСІВ СИСТЕМИ

Розроблена діаграма класів системи представлена на кресленику ІА61.240БАК.005 Д2. Вона складається із 5 класів та одного переліку.

Усі поля класів є приватними. Доступ до них можливий лише через методи. Це необхідно для того, щоб забезпечити безпеку даних від читання та зовнішнього втручання. Натомість, більшість методів є публічними, оскільки за рахунок методів відбувається контроль того, які дані отримує клієнт.

User – клас, що описує можливості користувачів.

Клас User має наступні поля:

а) id – унікальний ідентифікатор кожного користувача (ідентифікатор зашифровується у ключ доступу, який генерує сервер при авторизації);

б) username – ім'я користувача (це не обов'язкове поле, яке потрібне лише для звернень до користувача у інтерфейсі мобільного застосунку);

в) password – пароль користувача (він використовується у парі з унікальним ім'ям користувача для авторизації, може містити літери, цифри та знаки).

Клас User надає такі методи:

а) getUsername – метод, що повертає ім'я користувача;

б) addStation – метод, що приймає унікальний ідентифікатор станції та додає вказану станцію до користувача;

в) verifyCredentials – метод, що повертає булеве значення, приймає логін та пароль, вираховує хеш та порівнює із значенням у базі (метод повертає True у випадку, якщо хеш співпадає із збереженим значенням, та False якщо хеш не співпадає).

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		22

Station – клас, який описує можливості станції. Клас є посередником для керування дроном.

Клас Station має наступні поля:

- а) id – унікальний ідентифікатор станції;
- б) userId – унікальний ідентифікатор користувача, до якого прив'язана станція;
- в) name – ім'я станції, що надається користувачем;
- г) ammoAmount – кількість снарядів, що залишились у станції.
- д) defaultNeutralizationMode – тип нейтралізації ворожого дрону, що буде використано станцією за замовчуванням.

Клас Station надає такі методи:

- а) getName – метод, що повертає ім'я станції;
- б) getDroneModel – метод, що повертає модель прив'язаного до даної станції дрону;
- в) getAmmoAmount – метод, що повертає кількість снарядів, що залишились на станції;
- г) getStationVideo – метод, що повертає відеопотік з камер на станції;
- д) sendNotification – метод, що надсилає у мобільний застосунок користувача повідомлення щодо виявлених комп'ютерним зором об'єктів;
- е) getDroneLocation – метод, що повертає поточне положення дружнього дрону у просторі.

Drone – клас, який описує можливості дрона. Є посередником для керування пристроєм для пострілу.

Клас Drone має наступні поля:

- а) id – унікальний ідентифікатор дрону;
- б) stationId – унікальний ідентифікатор станції, до якої прив'язано дрон;

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		23

в) `model` – модель дрону, використовується у випадках, коли користувач хоче оновити або переглянути її.

Клас `Drone` надає такі методи:

а) `getModel` – метод, що надає користувачу інформацію щодо поточної моделі дрону;

б) `getCameraStream` – метод, що надає відеопотік з камери дрону, який надає відеопотік з камери дрону (відеопотік використовується станцією для прийняття рішень щодо знешкодження ворожого дрону та координації у просторі);

в) `getLocation` – метод, що надає дані щодо поточної локації дрона (дані надаються типу `Location`);

г) `fire` – метод, що використовується станцією для надання команди пострілу;

д) `moveToLocation` – метод, що надає станції можливість керування дроном у просторі.

`Gun` – клас, який описує можливості пристрою для пострілу.

Клас `Gun` має наступні поля:

а) `loaded` – булеве поле, що відповідає за стан заряду пристрою снарядом;

б) `ammoAmount` – поле, що відповідає за кількість снарядів, що залишились у пристрої.

Клас `Gun` надає такі методи:

а) `isLoading` – метод, що дозволяє дізнатись стан заряду пристрою снарядом;

б) `fire` – метод, що надає дрону можливість ініціювати процес пострілу;

в) `getAmmoAmount` – метод, що надає поточну кількість снарядів, що залишились у пристрої.

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		24

Перелік NeutralizationMode містить наступні можливі стани:

а) Jammer – стан, що відповідає знешкодження за допомогою модуля глушіння;

б) Drone – стан, що відповідає за знешкодження за допомогою дружнього дрону;

в) AskOnDetection – стан, що відповідає за знешкодження за допомогою способу, що буде обрано користувачем у застосунку.

Клас Location використовується як тип поля, що зберігає у собі дані щодо положення у просторі.

Клас Location має наступні поля:

а) latitude – поле, що відповідає за широту;

б) longitude – поле, що відповідає за довготу;

в) height – поле, що відповідає за висоту.

Клас Location надає такі методи:

а) getLatitude – метод, що надає дані щодо поточної широти;

б) getLongitude – метод, що надає дані щодо поточної довготи;

в) getHeight – метод, що надає дані щодо поточної висоти.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		25

## 6 ПІДБІР КОМПОНЕНТІВ

### 6.1 Обчислювальний модуль наземного пристрою

Для роботи обчислювального модулю потрібні такі компоненти, що забезпечать роботу комп'ютерного зору. Достатнім для цих задач буде Raspberry Pi 4 B (рисунок 6.1). Перевагами такого рішення є невисока ціна та наявність великої кількості портів. Raspberry Pi 4 B забезпечує продуктивність стаціонарних рішень початкового рівня на X86 архітектурі. Оперативна пам'ять на платі – 4GB LPDDR4-2400 SDRAM.

Для роботи Raspberry Pi 4 B необхідна флеш-пам'ять. У даному випадку було використано карту Transcend SDHC 16GB UHS-I ємністю 16ГБ.

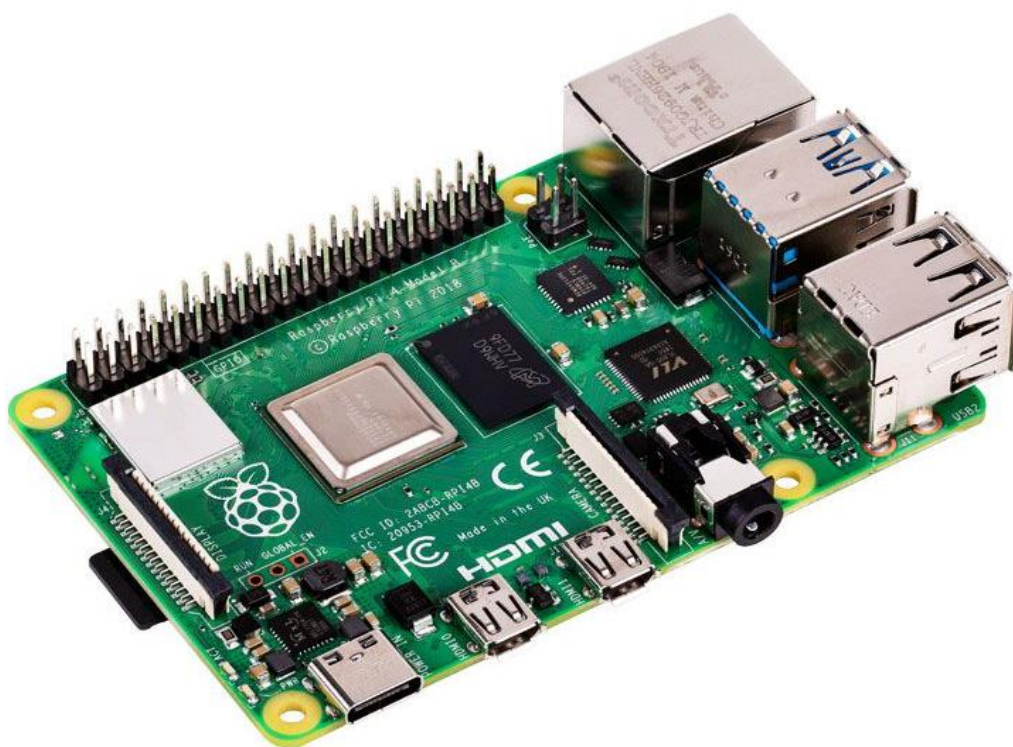


Рисунок 6.1 – Raspberry Pi 4 B [10]

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

26

## 6.2 Камера наземного пристрою

У наземному пристрої камера виконує роль додаткового джерела інформації щодо виявленого локатором літаючого об'єкту. Камера використовується для роботи моделі комп'ютерного зору із ціллю подальшого розпізнавання типу виявленого локатором літаючого об'єкту задля подальшого прийняття рішення щодо його знешкодження. Через можливу високу віддаленість від об'єкту, камера повинна мати високу роздільну здатність, а також кут огляду 360° задля того, щоб розпізнавати об'єкти незалежно від положення у просторі. Для даної задачі було обрано камеру Kandao Obsidian GO (рисунок 6.2).

Характеристики камери Kandao Obsidian GO:

- а) частотний діапазон – від 2404 до 2476 МГц;
- б) формат відео – MOV;
- в) формат фото – JPG/DNG;
- г) вага – 1015 г;
- д) носій інформації – MicroSD card;
- е) вхідна напруга – батарея 7.4 В, адаптер 12 В;
- ж) робоча температура – від -10 до +40°C;
- з) робоча вологість повітря – 10-90%;
- и) роздільна здатність відео – 3840\*3840;
- к) частота кадрів – 30fps;
- л) розподільна здатність фото – 7680\*7680 [11].

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рисунок 6.2 – Kandao Obsidian [12]

### 6.3 Модуль глушіння

У системі модуль глушіння є одним із можливих варіантів знешкодження ворожого дрону. Він встановлений на наземному пристрої та спрацьовує до випуску дружнього дрону (рисунок 6.3). Оскільки дрони працюють на частотах у діапазоні від 2.4ГГц до 5ГГц, модуль глушіння має надавати покриття цього діапазону та близьких до нього частот.

Характеристики обраного модулю глушіння:

- а) тип частоти 8 смуг: GPS L1 1575МГц 40В, GPS L2 1227МГц 15В, ДУ 433 / 434МГц 20В, ДУ 868/912 850-950МГц 25В, ДУ 2.4Ghz WIFI 2400-2500МГц 20В, ДУ 2.4Ghz WIFI 2400-2500МГц 20В, 5.8G 5100-5945 МГц 2В, 5.8G 5100-5945 МГц 2В;
- б) загальна вихідна потужність: 180 Ватт;
- в) кожна з 8 частот модулю глушіння є окремою і регулюється;

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		28

- г) радіус приглушення: 200-800м;
- д) система охолодження: 3 великих верхніх вентилятора + 5 маленьких всередині, з низьким рівнем шуму;
- е) антени: всеспрямовані зі скловолокна 500мм;
- ж) час роботи: Без обмеження;
- з) живлення: від 50 до 60Hz, від 100 до 240В змінного струму;
- и) розміри: 560 x 235 x 95 мм;
- к) споживання енергії: 330 Вт;
- л) маса: 11.0 кг.



Рисунок 6.3 – Модуль глушіння [13]

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

29

## 6.4 Дрон

У системі дрон є другим можливим варіантом знешкодження ворожого дрону. Він повинен переносити на собі пристрій для випуску снаряду, а також камеру для орієнтації у просторі. Також, він має надавати достатню швидкість для знешкодження найрозповсюдженіших дронів. Для системи було обрано дрон DJI S1000 оскільки він має змогу літати із вантажем вагою до 11кг (рисунок 6.4). Таким чином буде охоплено усі вагові категорії ворожих дронів.

Характеристики рами:

- а) діагональна база – 1045мм;
- б) довжина променя – 386мм;
- в) вага променя (з мотором, регулятором, гвинтом) – 0,325кг;
- г) діаметр центральної рами – 337мм;
- д) вага центральної рами (з базою шасі, сервоприводами) – 1,520кг;
- е) розмір шасі – 460мм (Довжина) × 511мм (Ширина) × 305мм

(Висота).

Характеристики моторів:

- а) розмір статора – 41 × 14мм;
- б) обороти на вольт – 400обертів/вольт;
- в) максимальна потужність – 500Вт;
- г) вага (з вентилятором охолодження) – 0,158кг.

Характеристики регуляторів обертів:

- а) робочий струм – 40А;
- б) частота сигналу – 30Гц ~ 450Гц;
- в) частота ШІМ приводу – 8кГц;
- г) вага (з радіаторами) – 0,035кг.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		30

Характеристики гвинтів 1552/1552R:

- а) складаний повітряний гвинт;
- б) матеріал – високоміцний пластик;
- в) розмір —  $15 \times 5.2$ ";
- г) вага – 0,013кг.

Льотно-технічні характеристики:

- а) злітна вага – від 6.0 до 11.0кг;
- б) загальна вага – 4.400кг;
- в) батарея живлення – LiPo 22A;
- г) максимальна споживана потужність – 4000Вт;
- д) потужність на висінні – 1500Вт;
- е) тривалість висіння – 900с;
- ж) робочий діапазон температур – від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  [14].



Рисунок 6.4 – Дрон DJI S1000 [15]

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

31

Дрон оснащено акумулятором на 22А. Це дозволяє дрону проводити у польоті від 900с до 1800с, в залежності від ваги вантажу.

Також встановлено GPS-датчик та камеру.

### 6.5 Камера дрону

Камера прикріплюється до дрону та використовується ним для орієнтації у просторі, а також для надання наземному пристрою свого положення відносно ворожого дрону задля вибору моменту для випуску снаряду. У якості камери було використано Go Pro Max (рисунок 6.5).



Рисунок 6.5 – Камера Go Pro Max [16]

Характеристики камери Go Pro Max:

- а) тип носія – Flash-пам'ять;
- б) об'єктив – Max SuperView, широкий, лінійний, вузький;

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		32

- в) стабілізатор зображення – Max HyperSmooth;
- г) РК-монітор – сенсорний екран;
- д) режим відеознімання – сферичне відео: 5.6 К 30 кадрів/сек  
1440р: Max SuperView: 60, 30, 24 кадри/сек; широкий: 60, 30, 24 кадри/сек;  
лінійний: 60, 30, 24 кадри/с; вузький: 60, 30, 24 кадри/с  
1080р: Max SuperView: 60, 30, 24 кадри/с; широкий: 60, 30, 24 кадри/с;  
лінійний: 60, 30, 24 кадри/с; вузький: 60, 30, 24 кадри/с;
- е) режим знімання фото – сферичне фото 16.6 Мп/фото 5.5 Мп у режимі HERO;
- ж) запис аудіо;
- з) карта пам'яті – 1 карта microSD не нижче класу 10;
- и) роз'єми – USB Type-C;
- к) живлення – знімний літій-іонний акумулятор 1600 мА·год;
- л) розміри (Д x Ш x В), мм – 24 x 64 x 69;
- м) вага – 0,157кг [17].

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		33

## 7 РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ДРОНІВ

Розпізнавання – важлива частина системи, яка реалізована за допомогою комп’ютерного зору та локатору. Локатор сканує небесний простір. Одночасно з ним працює камера, яка обертається, робить знімки простору та надсилає інформацію до обчислювального модулю. Отримані зображення аналізуються за допомогою комп’ютерного зору. Таким чином точність виявлення збільшуються, оскільки виявленням займаються два модулі одночасно.

### 7.1 Локатор

Локатор складається із:

- а) передавача;
- б) антени;
- в) дуплексеру;
- г) приймача.

Передавач потрібен для генерування високочастотних імпульсів. Він генерує їх за допомогою магнетрону, що знаходиться всередині. Дуплексер перемикає передавач на антену. Антена посилає вузький промінь радіохвиль. Радіохвилі відбиваються ворожий дрон і їх відлуння відбивається назад. Антена діє як передавач, так і як приймач, по черзі посилаючи радіохвилі та приймаючи їх. Дуплексер змушує її перемикатися між режимами передачі сигналів та прийому відлуння. Прийнятий сигнал демодулюється та надсилається до обчислювального центру, у якому визначаються координати об’єкта [18].

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		34

### 7.1.1 Магнетрон

Радіохвилі, що використовуються локатором, виробляються магнетроном. Радіохвилі схожі на світлові хвилі: вони рухаються з однаковою швидкістю, але їх хвилі набагато довші і мають значно нижчі частоти. Світлові хвилі мають довжину хвилі приблизно 500 нанометрів, тоді як радіохвилі, які використовуються локатором, коливаються приблизно від декількох сантиметрів до метра.

І світлові, і радіохвилі є частиною електромагнітного спектру, а значить, вони складаються з коливань, що проникають через повітря, електричну та магнітну енергію. Хвилі, які виробляє магнетрон, – це насправді мікрохвилі, подібні до тих, що утворюються мікрохвильовою піччю. Різниця полягає в тому, що магнетрон в локаторі повинен посилати хвилі на більшу дистанцію, а не лише на кілька сантиметрів, тому він набагато більший і потужніший.

Магнетрон – це потужна електронна лампа, що генерує мікрохвилі при взаємодії потоку електронів із магнітним полем (рисунок 7.1).

Основою магнетрону є анодний блок, який представляє собою товстий полий мідний циліндр, у стінках якого вирізані порожнини, що з'єднані із центральним простором. Ці порожнини являють собою кільцеву систему резонаторів. У центрі анодного блоку знаходиться широкий круглий отвір, через який підключено джерело живлення за допомогою спеціальних виводів до катоду. Катод проходить уздовж центральної осі аноду. Вивід високочастотних коливань встановлюється в одному із резонаторів. Торці циліндру герметично закриті, а всередині забезпечується вакуум високого ступеню. Ефективне охолодження блоку забезпечують ребристі радіатори, що знаходяться на його поверхні.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		35

Увесь анодний блок встановлюється у сильне магнітне поле, що створюється постійними магнітами. Між анодом і катодом встановлюється висока електрична напруга. При цьому позитивний полюс прикладається до аноду. Електрони, що вилітають із катода рухаються у радіальному напрямку до аноду, однак під впливом магнітного поля вони змінюють траєкторію руху. При певних величинах магнітного та електричного полів вдається досягти такого стану, коли електрони описуючи окружність, проходячи поруч із анодом знову повертаються на катод, а на анод потрапляє лише незначна частина вилетівших електронів.

Оскільки електрони постійно переміщуються від катода до аноду, поруч із резонаторами встановлюється заряд кільцеобразної форми, що постійно обертається. Таким чином електрони збуджують у кожному резонаторі незатухаючі високочастотні коливання. Виводяться ці коливання за допомогою витку дротів, що знаходяться у порожнині одного з резонаторів. За допомогою металевого хвилеводу частина цього поля передається до антени, звідки випромінюється в простір [19].

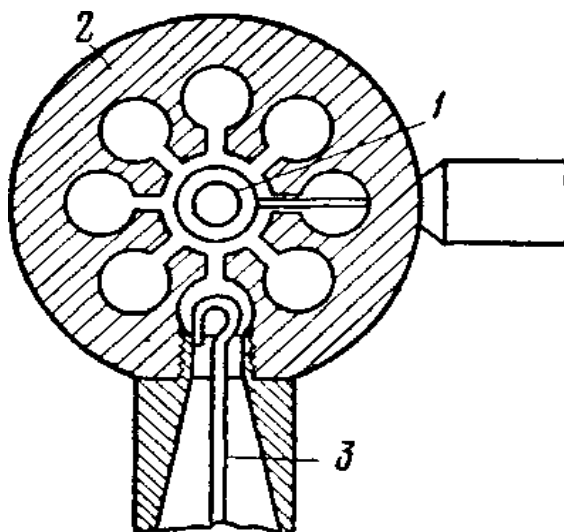


Рисунок 7.1 – Основні частини магнетрона:

1 — катод; 2 — анодний блок, 3 — вивід високочастотної енергії [20]

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

36

### 7.1.2 Антена

Конструкція антени складається із металевих струмопровідних елементів, що з'єднані із магнетроном.

У режимі передачі змінний електричний струм, що протікає по струмопровідним елементам антени, в за законом Ампера створює у просторі поруч із собою змінне магнітне поле. Магнітне поле створює навколо себе змінне електричне поле. А це змінне електричне поле створює навколо себе змінне магнітне поле [21].

Таким чином, утворюється взаємозв'язане змінне електромагнітне поле, що утворює електромагнітну хвилю, яка розповсюджується від антени у простір.

У режимі прийому сигналу, електромагнітні хвилі наводять в антені струми, які потім підсилюються і демодулюються приймачами. В даному випадку використовується параболічна антена. Її особливість у тому, що її електромагнітне поле створюється за рахунок відображення електромагнітної хвилі від металевої поверхні, яку ще називають рефлектором.

У якості джерела хвилі виступає невеликий випромінювач, розташований у фокусі рефлектора. Основний принцип параболічних антен зводиться до перетворювання сферичного або циліндричного фронту хвилі у плоский фронт.

Параболічна антена обертається на  $360^\circ$ , що дозволяє виявляти ворожі дрони на значній площі. Коли ці сигнали контактують із дронами, вони зазвичай відбиваються від нього або розсіюються в багатьох напрямках, хоча деякі з них будуть поглинені і проникнуть у ціль [22].

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		37

### 7.1.3 Дуплексер

Дуплексер змушує антену перемикатися між режимами передачі сигналів та прийому відлуння. Поки антена передає, вона не може приймати – і навпаки (рисунок 7.2).

Дуплексер має три порти: для підключення антени, радіоприймача і передавача. Широко використовується для побудови дуплексних ретрансляторів.

Робота дуплексеру заснована на принципі пропускання сигналу однієї частоти, і замикання іншої частоти. Таким чином, в приймальному плечі з антени вільно проходить прийнятий корисний сигнал до приймача. У той же час цей фільтр не пускає сигнали несучого передавача. В протилежному плечі, сигнал від передавача вільно досягає антени, а його шуми в області прийомних частот замикаються [23].

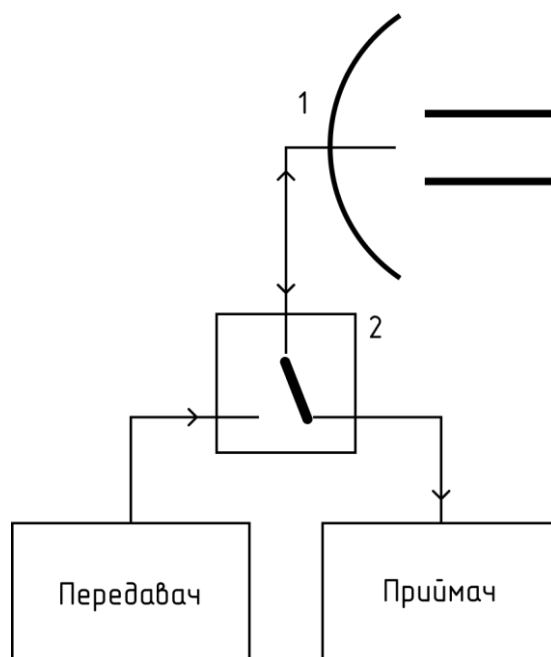


Рисунок 7.2 – Схема роботи дуплексеру у локаторі:

1 — антена, 2 — дуплексер [24]

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

38

#### 7.1.4 Приймач

Приймач посилює і демодулює будь-які відбиті сигнали, підхоплені антеною. Після цього він спрямовує їх на обчислювальний модуль, який дає змогу виявити відстань до дрону. Вона визначається з часу, пройденого між передачею імпульсу та отриманням відлуння. Це можна точно визначити за формулою (7.1), оскільки радіолокаційний сигнал рухається зі швидкістю світла, яка є постійною.

$$s = (c*t)/2, \quad (7.1)$$

де  $s$  – відстань від локатору до дрону (м),  $c$  – швидкість світла (м/с),  $t$  – час, що пройшов між передачею імпульсу та отриманням відлуння (с).

#### 7.2 Комп'ютерний зір

Камера із високою роздільною здатністю та кутом огляду у  $360^\circ$  надсилає до процесора обчислювального модулю зображення простору над нею. За допомогою комп'ютерного зору обчислювальний модуль аналізує зображення для того, щоб визначити чи є на небі якісь рухомі об'єкти та виявляє дрон це чи ні.

Для того, щоб обчислювальний модуль розпізнавав об'єкти, що надсилає йому камера, було проведено аналітичну роботу по збору даних для тренування моделі – розпізнавання об'єктів за допомогою нейромережі, технологію, що являє собою програмну імплементацію нейронних структур людського мозку.

Нейромережі – це система з'єднаних і взаємодіючих між собою простих процесорів (штучних нейронів). Кожен процесор подібної мережі має справу тільки з сигналами, які він періодично отримує, і сигналами, які він періодично посилає іншим процесорам. І, тим не менше, будучи

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		39

з'єднаними в досить велику мережу з керованою взаємодією, прості процесори разом здатні виконувати досить складні завдання.

Нейронні мережі не програмуються, а навчаються. Можливість навчання – це одна з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Технічно навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами.

В процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними даними і вихідними, а також виконувати узагальнення. Це означає, що в разі успішного навчання мережа зможе повернути вірний результат на підставі даних, які були відсутні в навчальній вибірці, а також неповних або «зашумлених», частково спотворених даних.

Для того, щоб навчити нейромережі розпізнавати об'єкти та зображення нейромережі потрібна велика кількість прикладів розпізнавання зображення із правильними відповідями, або спеціальної структури нейронної мережі, яка враховуватиме специфіку завдання [25].

Для розпізнавання зображень використовують такі види архітектури нейромережі:

- а) навчання з учителем:
  - 1) перцептрон;
  - 2) глибокі нейромережі;
- б) навчання без учителя (мережі адаптивного резонансу);
- в) змішане навчання (мережі радіально-базисних функцій)).

Для рішення задачі виявлення об'єктів, система розпізнавання дронів використовує згорткову нейронну мережу, оскільки цей вид показує найкращі результати у цій області. Це зумовлено тим, що згорткові нейронні мережі мають змогу оброблювати зображення великих розмірів. Тобто, вони можуть оброблювати зображення з камер, що мають високу

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
						40
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

точність зображення. Саме такі камери потрібні, щоб у системи була можливість розглядіти дрон у небесному просторі [26]. На рисунку 7.3 зображена архітектура згорткової нейронної мережі.

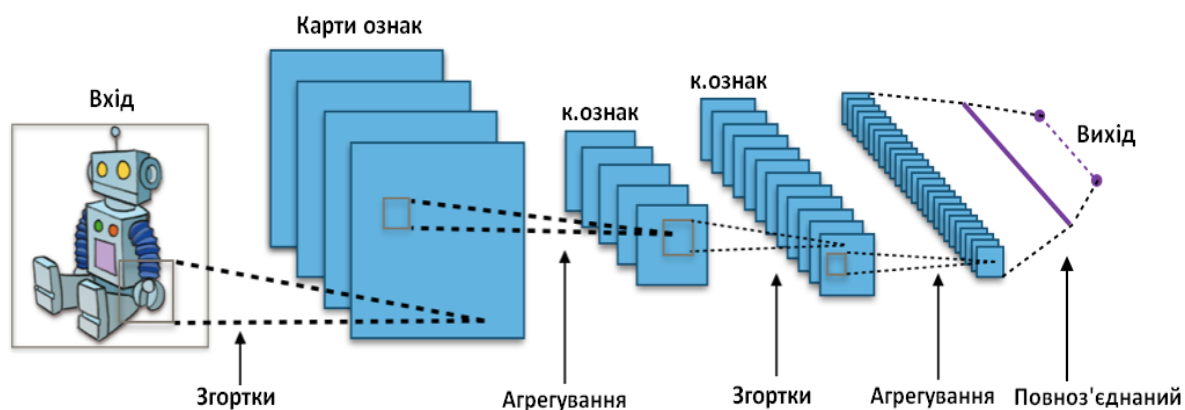


Рисунок 7.3 – Архітектура згорткової нейронної мережі [27]

Згорткові нейронні мережі забезпечують часткову стійкість до змін масштабу, зсувів, поворотам, зміні ракурсу і іншим спотворень. Згорткові нейронні мережі об'єднують три архітектурні ідеї, для забезпечення інваріантності до зміни масштабу, повороту зрушення і просторовим спотворенням:

- а) локальні рецепторні поля (забезпечують локальну двовимірну зв'язність нейронів);
- б) загальні вагові коефіцієнти синапсів (забезпечують детектування деяких рис в будь-якому місці зображення і зменшують загальне число вагових коефіцієнтів);
- в) ієрархічну організацію з просторовими підвибірками [28].

## 7.2.1 Тренування моделі

Для того, щоб натренувати нейронну мережу, що використовує систему, було використано програму CreateML – інструмент для роботи із машинним навчанням (рисунок 7.4) [29]. Навчена в Create ML модель є результатом застосування алгоритму машинного навчання для набору навчальних даних. Моделі не займають багато місця (близько 3Мб), тому їх можна зберігати в проекті.

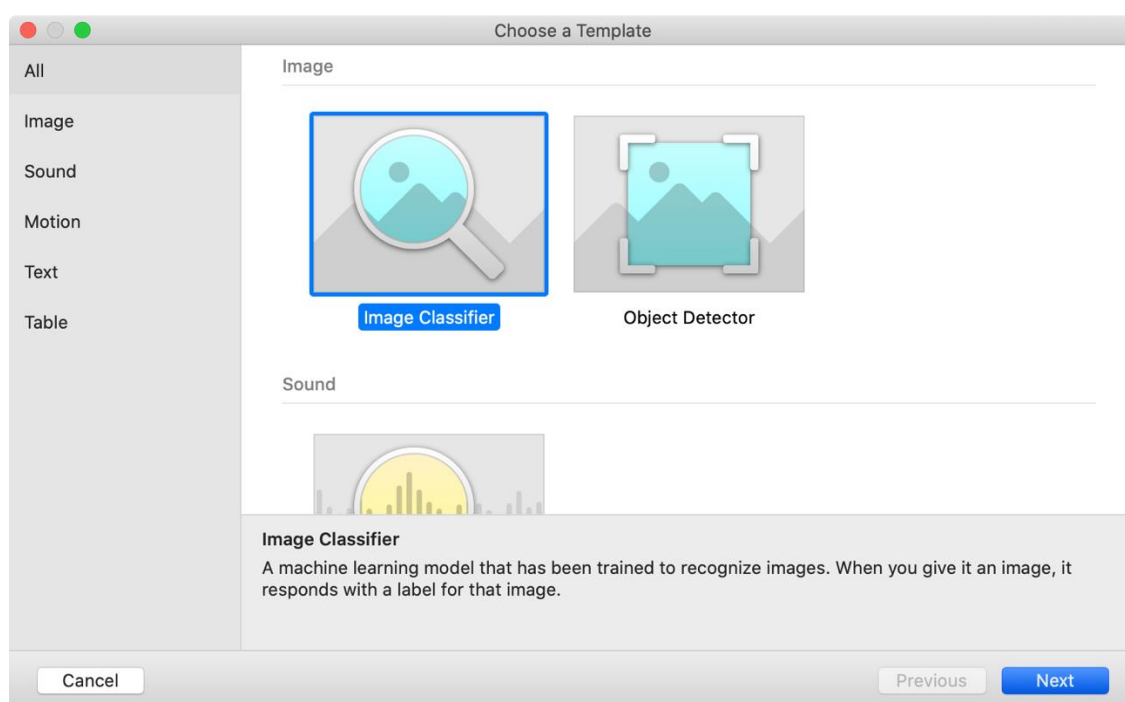


Рисунок 7.4 – Програма CreateML, шаблони із використанням зображень

При навчанні з використанням зображень доступні два шаблони – Image Classifier (класифікатор зображень) і Object Detector (детектор об'єктів).

Image Classifier використовується для класифікації зображень на основі їх вмісту. Навчивши модель, можна ідентифікувати один об'єкт на зображенні і віднести його до якого-небудь типу. Наприклад,

ідентифікувати види тварин на зображеннях і навіть розрізнити які види рослин зображено на фотографії. У Create ML шаблон Image Classifier використовує трансферне навчання.

Трансферне навчання – це здатність комбінувати заздалегідь навчену модель з одними даними, що дозволяє навчати моделі на невеликій кількості зображень.

Зображення для Image Classifier не повинні бути менше 299 на 299 пікселів. Набори для навчання повинні містити не менше 10 зображень, але чим більше, тим краще. Кількість зображень для кожного набору повинна бути рівною, інакше буде зміщення в бік однієї з категорій. Приблизно 80% зображень використовується для навчання моделі, а інші 20% – для тестування. Також зображення не повинні повторюватися, тобто в папці з зображеннями для навчання не повинні бути зображення, які будуть в подальшому використовуватися для тестування. Назви папок для навчання будуть використовуватися в якості ідентифікаторів для відповідних класів, при використанні моделей [30].

Для тренування моделі комп'ютерного зору було створено вибірку із 296 фото літаючих об'єктів, з них:

- а) 96 – гелікоптери;
- б) 79 – дрони;
- в) 78 – літаки;
- г) 32 – планери;
- д) 11 – дирижаблі.

Зображення у Image Classifier потрібно завантажувати із анотаціями до них, що будуть містити положення літаючого об'єкта на зображенні. Для цього було використано IBM Cloud Annotations. Це сервіс, що дозволяє відмічати на фотографіях певні об'єкти. Для цього треба обвести їх у чотирикутник та надати назву (рисунок 7.5).

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		43

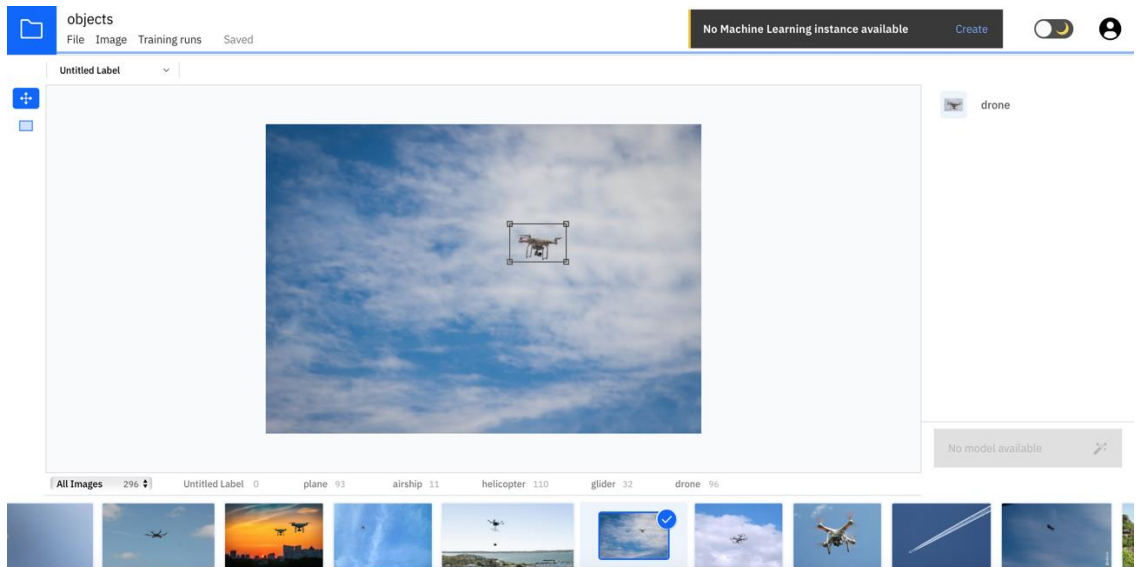


Рисунок 7.5 – Сервіс CreateML, шаблони із використанням зображень

Після цього файл із зображеннями було експортовано як архів для програми CreateML, що містить теку із зображеннями та файлом із анотаціями (рисунок 7.6).

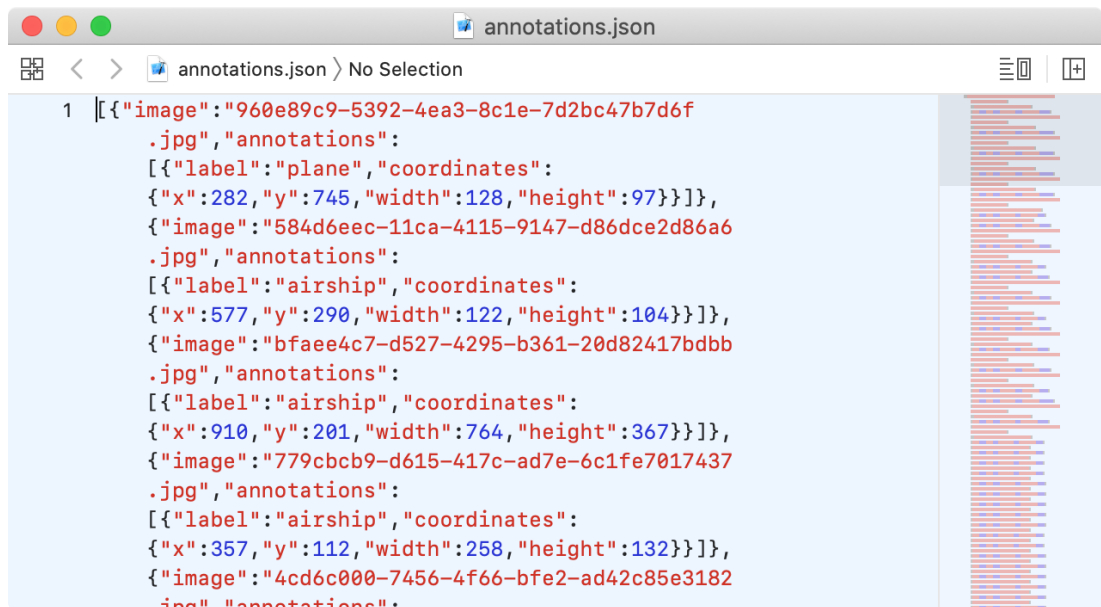


Рисунок 7.6 – Анотація для зображень

Після того, як тека із зображеннями та анотацією готова, можна розпочинати тренування моделі. Для цього у CreateML потрібно обрати шаблон Image Classifier та створити новий проект (рисунок 7.7).

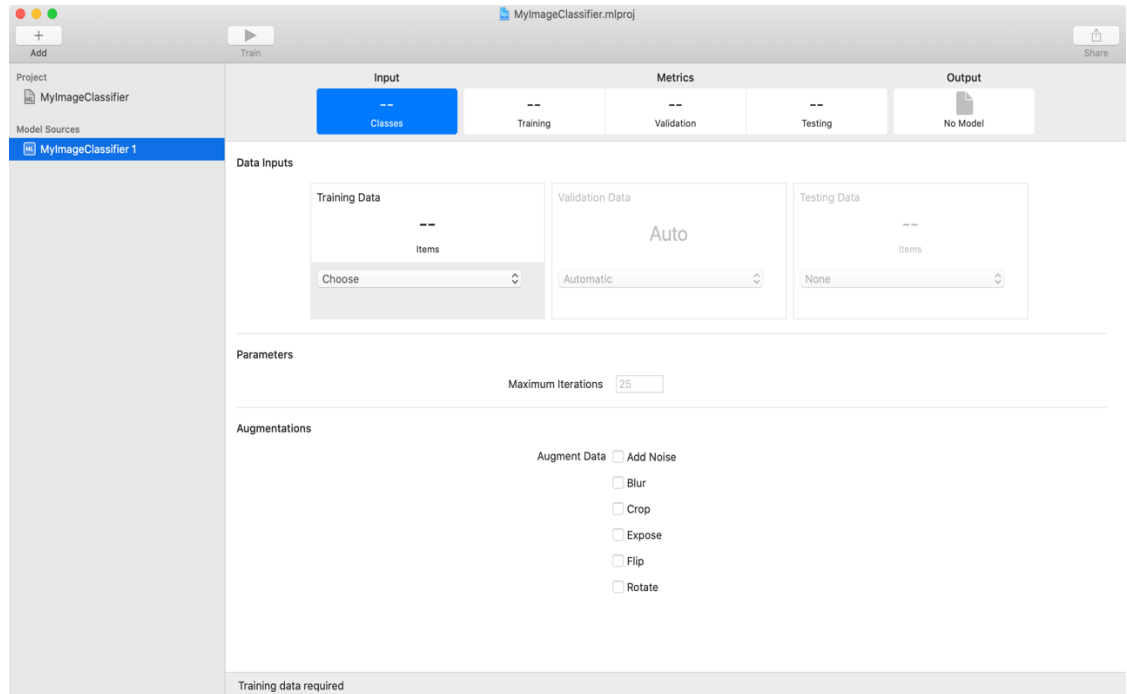


Рисунок 7.7 – Робоча область нового проекту для тренування моделі

У інспекторі зліва відображається назва проекту (Project), натискання по ньому відображає інформацію про проект та дозволяє відредагувати її. Нижче, в Model Sources, містяться всі моделі, які використовуються в проекті.

У Training Data було додано зображення для тренування моделей. У Validation Data можна додати набір зображень для перевірки моделі. У Testing Data необхідно додати зображення для тестування моделі, які не були задіяні в тренуванні моделі.

У розділі Parameters можна задати максимальну кількість ітерацій, зроблених над одним зображенням під час тренування моделі. А в розділі Augmentations можна вибрати ефекти, що накладаються на зображення.

Після усіх налаштувань була натиснута кнопка Train, що розпочинає процес тренування.

Тренування зайняло 35 хвилин 17 секунд, після чого модель майже готова. Після тренування можна оцінити, наскільки добре модель класифікує зображення із набору зображень, завантажених у Training Data. Оскільки модель натренована на цих зображеннях, вона добре класифікує їх. У нашому випадку модель визначила 93% зображень із тренувального набору і 54% зображень з перевірного. За результатами тестування, модель впоралася на 81% (рисунок 7.8).

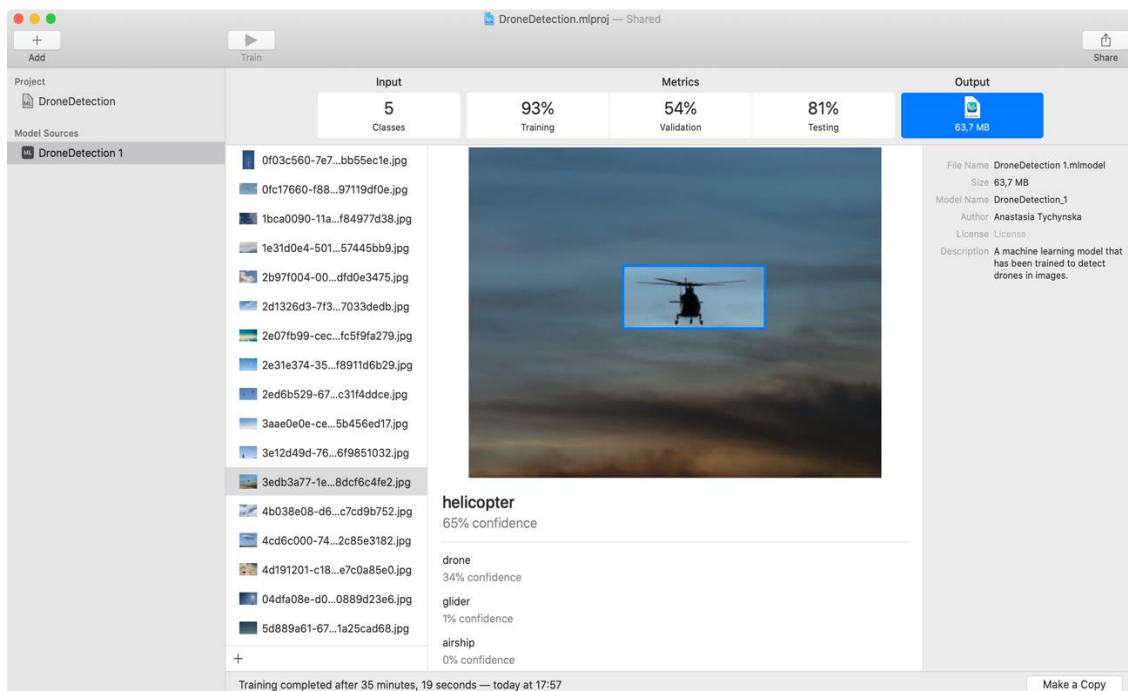


Рисунок 7.8 – Результати тестування моделі

### 7.2.2 Демонстрація роботи моделі

Для демонстрації роботи моделі, у програмі XCode було створено застосунок на iOS, що використовує попередньо натреновану модель.

Застосунок аналізує зображення із камери у режимі реального часу та відображає результат аналізу на екран.

На рисунку 7.9 показано, що комп'ютерний зір застосунку проаналізував зображення з екрану та виявив на ньому дрон. Лістинг знаходиться у застосунку Д.

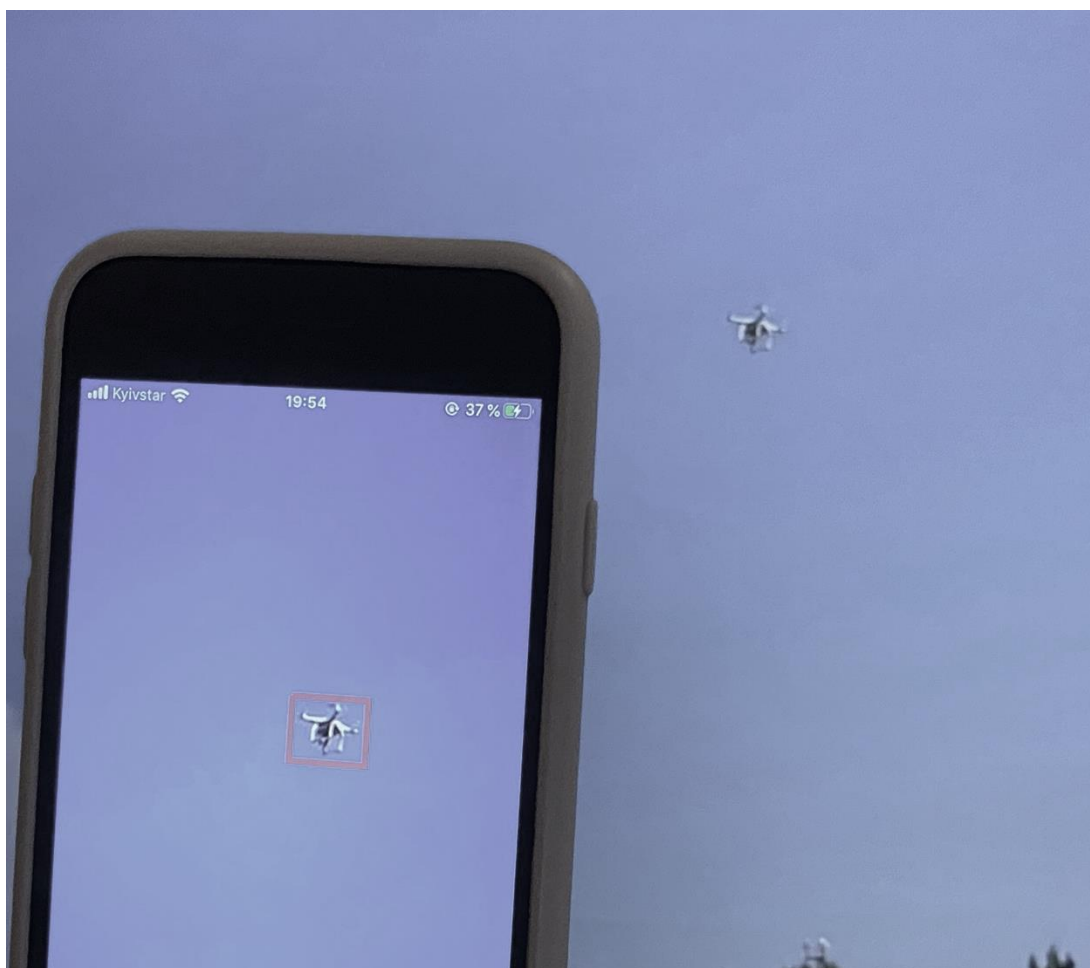


Рисунок 7.9 – Застосунок розпізнав дрон

Якщо комп'ютерний зір розпізнав дрон, то у застосунку його буде обведено червоним кольором. Якщо комп'ютерний зір розпізнає літак, гелікоптер, планер або дирижабль, то у застосунку він буде обведений зеленим кольором (рисунок 7.10).

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		47

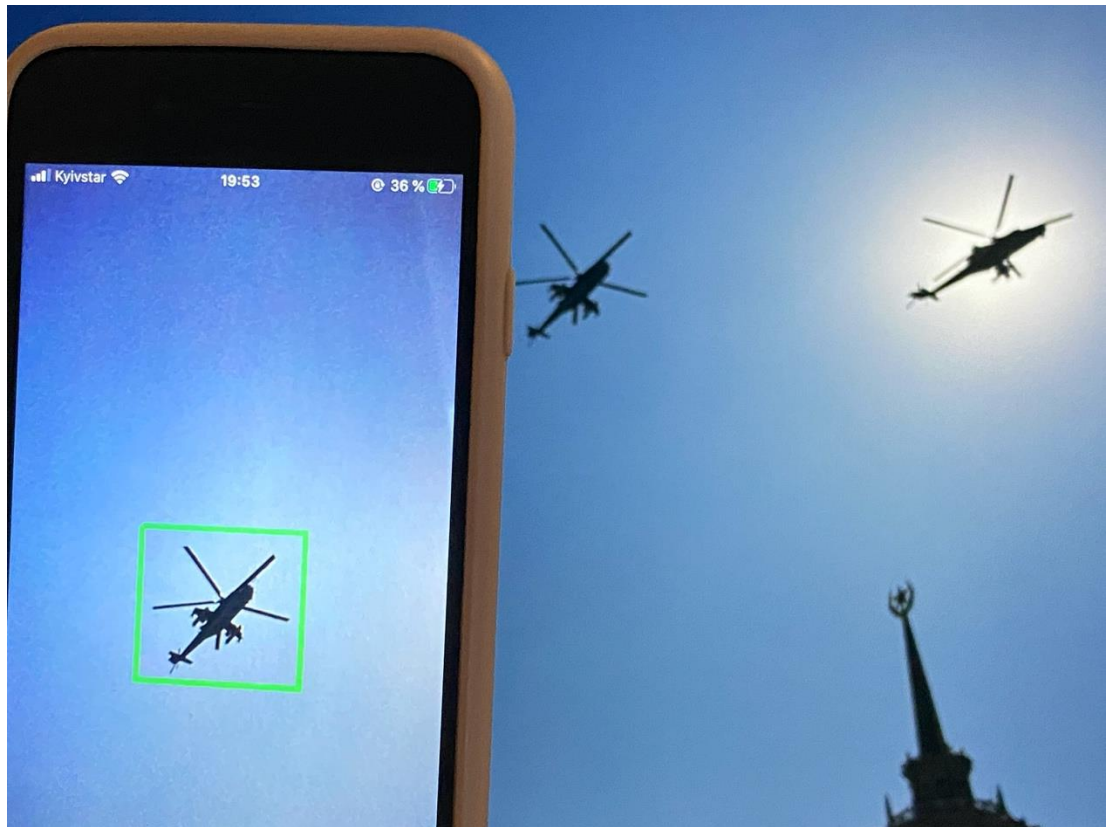


Рисунок 7.10 – Застосунок розпізнав гелікоптер

### 7.3 Висновки до розділу

У розділі було описано роботу локатору та реалізовано розпізнавання дронів комп'ютерним зором.

Передавач локатору за допомогою магнетрону генерує радіохвилі. Він працює в імпульсному режимі, тобто формує короткі потужні імпульси, що повторюються.

Після створення радіохвиль, антена, яка працює як передавач, випромінює сигнали у простір. Антена обертається на  $360^\circ$ , це дозволяє виявляти ворожі дрони на великій площі. Коли сигнали контактують із

Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

IA61.240БАК.005 ПЗ

Аркуш

48

дронами, вони зазвичай відбиваються від них. Антена приймає відбите від дрона відлуння сигналу.

Дуплексер змушує антену перемикатися між режимами передачі сигналів та прийому відлуння. Поки антена передає, вона не може приймати - і навпаки.

Приймач спрямовує демодульовані сигнали на обчислювальний модуль, який дає змогу виявити відстань до дрону.

Інший спосіб розпізнавання реалізовано за допомогою комп'ютерного зору. Камера із високим розширенням та кутом огляду у 360° надсилає до процесора обчислювального модулю зображення простору над нею. За допомогою комп'ютерного зору обчислювальний модуль аналізує зображення для того, щоб визначити чи є на небі якісь рухомі об'єкти та виявляє дрон це чи ні.

Для демонстрації роботи було створено застосунок, що сканує зображення та позначає на ньому виявлений об'єкт.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		49

## 8 РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ ІЗ ДРОНАМИ

Можливі два методи для боротьби із ворожим дроном – вмикання модулю глушіння, або направлення дружнього дрона, який випускатиме снаряд на ворожий дрон.

За замовчуванням система працює автономно: користувач попередньо обирає певний режим на наземному пристрої або через застосунок на смартфоні. Також є можливість обрати спосіб знешкодження у ручному режимі.

Якщо обчислювальний модуль у ручному режимі помічає дрон, то він надсилає повідомлення про нього на сервер, а з нього на застосунок, що стоїть на усіх зв'язаних смартфонах. Через смартфон користувач має змогу обрати спосіб знешкодження: активація модулю глушіння або випускання дружнього дрону.

Якщо користувач не відповідає, або зв'язок із ним буде перервано, система самостійно знешкодить дрон, використовуючи спосіб який раніше було обрано у автономному режимі.

Якщо за певних причин ворожий дрон не було знешкоджено, у такому випадку активується другий метод.

Після успішного знешкодження користувач отримує повідомлення про це на мобільний застосунок.

### 8.1 Модуль глушіння

Глушіння це те ж саме радіомовлення, тільки замість звичайних текстових, музичних або інших програм в ефір передається спеціальний сигнал з гулу й тріску. Крім шуму, можна застосовувати також голоси

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		50

(«мовний сигнал») і навіть музику. Підготовлений сигнал передається на ті частоти, на яких працює ворожий дрон, який потрібно заглушити [31].

Модуль глушіння складається з:

- а) антени;
- б) підсилювача сигналів;
- в) джерела перешкод;
- г) керуючої схеми [32].

#### 8.1.1 Джерело перешкод

Спочатку джерело перешкод генерує сигнали у діапазоні 2,4 ГГц - 5,8 ГГц. Сигнали являють собою послідовність імпульсів псевдовипадкової тривалості із псевдовипадковими інтервалами між ними [33].

#### 8.1.2 Підсилювач сигналу

Підсилювач сигналу підхоплює і збільшує потужність сигналів, а керуюча схема регулює потужність вихідних сигналів. Підсилювач являє собою послідовність каскадів підсилення, з'єднаних між собою прямим зв'язком. У підсилювачі присутній також зворотній зв'язок між каскадами та в середині каскадів. Негативний зворотній зв'язок дозволяє покращити стабільність роботи підсилювача та зменшити частотні та нелінійні спотворення сигналу. У зворотній зв'язок включено терморезистор. Це потрібно для того, щоб вирівняти частотну характеристику.

Підсилювач оснащено системами автоматичного регулювання посилення і автоматичного регулювання потужності. Ці системи дозволяють підтримувати приблизно постійний середній рівень вихідного сигналу при змінах рівня вхідного сигналу.

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
						51
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Між каскадами підсилювача, а також в його вхідних і вихідних ланцюгах, включено потенціометри – для регулювання посилення та фільтри – для формування заданої частотної характеристики.

Каскад посилення – це щабель підсилювача, що містить один або кілька підсилюючих елементів, ланцюги навантаження та зв'язку з попередніми та наступними ступенями.

У якості підсилюючих елементів використовуються транзистори. Напівпровідникові підсилювальні елементи – інтегральні, тобто в складі мікросхеми [34].

### 8.1.3 Антена

Антена відповідає за поширення поля перешкод до дрона. Дія антени основана на дипольному випромінюванні. Сигнал, який передається на антену, створює в ній коливання густини заряду, що призводить до випромінювання електромагнітних хвиль.

В результаті таких дій сигнал від керуючого пристрою ворожого дрону не доходить до нього або сильно спотворюється. Приймач, що знаходиться у дроні не може розпізнати команду і в залежності від моделі він або зупиняється, або опускається на землю. В такому стані пристрій знаходиться до тих поки не вимкнеться генератор перешкод або його не евакуюють.

### 8.2 Захоплення сіткою

Для реалізації режиму знешкодження ворожого дрону за допомогою снаряду було розроблено пристрій, що надає можливість вивільнити снаряд із сіткою.

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		52

Пристрій кріпиться на дружній дрон, та складається з:

- а) карбонового корпусу;
- б) керуючої схеми;
- в) коробки передач для пострілу зі снарядом-сіткою;
- г) акумулятора на 1,8 ампер;
- д) кріплення.

Режим знешкодження активується після того, як комп'ютерний зір виявляє на зображенні з камери дрон. Обчислювальний модуль за допомогою локатору виявляє координати ворожого дрона та аналізує його переміщення. Після цього відбувається запуск дружнього дрону зі снарядом. Обчислювальний модуль направляє його у точку простору на відстані 2-3 метри від ворожого дрону. У свою чергу, дрон постійно надсилає обчислювальному центру зображення зі своєї камери. Завдяки цьому обчислювальний модуль визначає положення дружнього дрона. Коли положення визначено, обчислювальний модуль надсилає сигнал про активацію пострілу.

### 8.2.1 Реалізація пострілу

Після отримання від обчислювального центру сигналу про постріл, керуюча схема пристрою через акумулятор посилає електричний імпульс на мотор пристрою.

Мотор крутить моторну шестерню, яка обертає шестерні пристрою. Шестерні коробки передач зводять поршень в крайнє заднє положення, стискаючи пружину. В крайньому положенні зубці провідної шестерні розціплюються з поршнем, і він, під дією розтискання пружини рухається вперед і виштовхує повітря з циліндра. Під дією повітря снаряд із магазину видувається далі у ствол і відбувається постріл [35]. Дальність пострілу

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		53

складає до 4м. Схема роботи пристрою для пострілу зображена на рисунку 8.1.

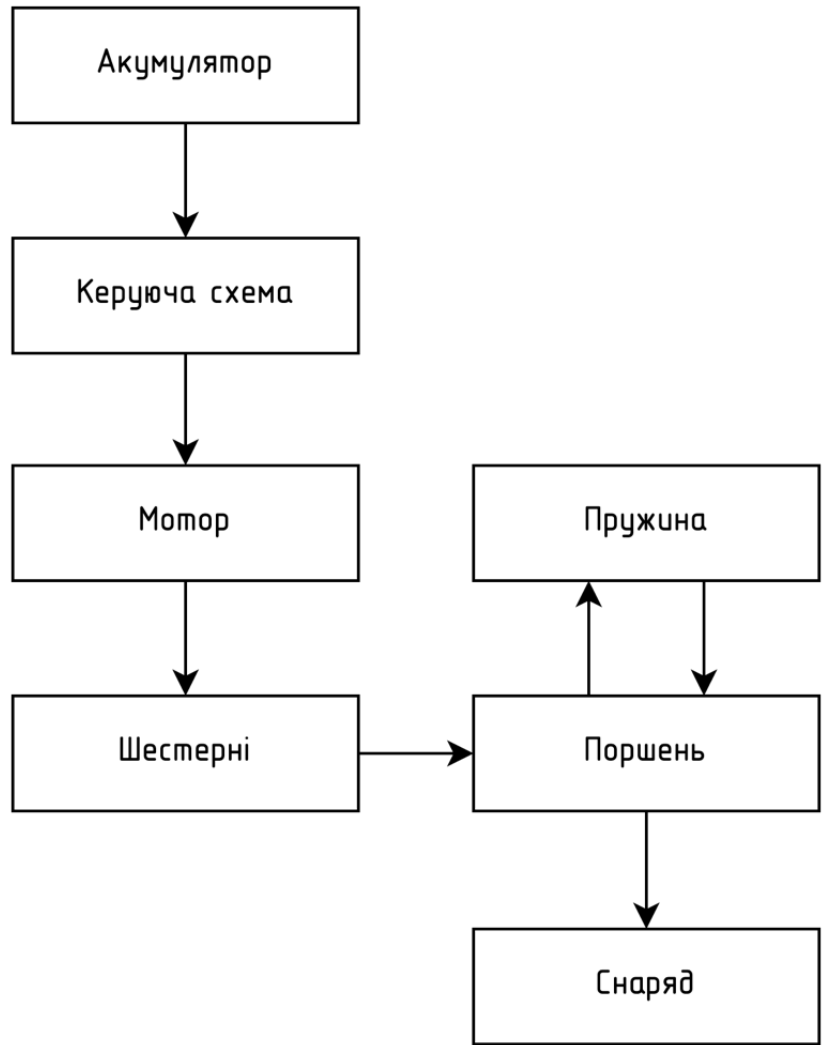


Рисунок 8.1 – Схема роботи пристрою для пострілу

### 8.2.2 Опис снарядів

Магазин пристрою для пострілу містить 3 снаряди.

Снаряд являє собою дві пластикові півкулі, у середині яких знаходиться сітка з алюмінієвими важелями вагою 0.020кг на вершинах її кутів, та магнітом з парашутом у центрі сітки. Магніт на парашути

причеплено до мотузки довжиною 4,5м. Мотузка одним кінцем причеплена до магніту, а іншим до дрону.

Таким чином, при пострілі дружній дрон зв'язано із ворожим до того часу, поки ворожий дрон не заплутається та не почне падати вниз. При падінні магніт не зможе тримати сітку із дроном і він розчепиться. Цей процес активує розкриття парашуту. Завдяки цьому ворожий дрон повільно спускається на землю.

Після знешкодження, дружній дрон повертається до наземного пристрою. Для того, щоб використовувати його повторно, потрібно помістити у магазин новий снаряд. Снаряд, що було використано можна скласти у півкулю та використовувати повторно.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		55

## ВИСНОВКИ

У даному проекті було розроблено систему повітряної боротьби із дронами. У ході роботи було розглянуто різні види аналогів даної системи, розроблено концепцію системи, продумано та описано принципи роботи її складників, а також підібрано деякі компоненти системи.

Крім того, було описано процес тренування нейромережі за допомогою програми CreateML та принцип її роботи. Таким чином, було натреновано нейромережу, що має можливість розпізнавати об'єкти, які попадають у діапазон огляду камери системи. Для демонстрації роботи нейромережі було розроблено застосунок на iOS за допомогою програми XCode. У процесі розробки проекту було підібрано мінімально необхідні компоненти.

Розроблена система складається із наземної установки (обчислювального модулю, локатору, модулю глушіння, акумулятору та камери), дружнього дрону із пристроєм для випуску снаряду, серверу та застосунку. Система має два режими боротьби із дронами: застосування модулю глушіння, що перериває зв'язок ворожого дрону із його пультом управління, а також випуск дружнього дрону, який вистрілює у ворожий дрон снарядом із сіткою, яка заплутує гвинти та повільно опускає його донизу.

Система є більш просунутою на відміну від схожих аналогів за рахунок повної автономності, кількох режимів протидії а також розпізнаванню за допомогою комп'ютерного зору. Крім того, дану систему можна встановити на одному місці та використовувати як стаціонарну систему, а можна також встановити її на транспорт, оскільки вона має змогу отримувати живлення від пересувного акумулятору.

					IA61.240BAK.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		56

Були побудовані структурна та функціональна схеми системи, а також блок-схема алгоритму роботи.

Система може бути вдосконалена у майбутньому. Можна удосконалити її урахуваючи характеристики найсучасніших дронів, так як деякі з них мають захист проти систем виявлення за допомогою аналізаторів частот, локаторів, комп'ютерного зору та інших. Крім того, можна удосконалити модель комп'ютерного зору так, щоб було збільшено її точність та швидкість розпізнавання, а також так, щоб вона надавала можливість виявляти модель дрону, напрям тощо.

Усі можливі вдосконалення можуть лягти в основу майбутньої реалізації системи повітряної боротьби із дронами.

					ІА61.240БАК.005 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		57

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Kaspersky Antidrone. URL: <https://go.kaspersky.com/antidrone.html> (дата звернення: 29.03.2020).
- 2) REX-1. URL: <https://zala-aero.com/production/means-of-ew/rex-1/> (дата звернення: 29.03.2020).
- 3) Зображення REX-1. URL: <https://zala-aero.com/upload/iblock/c89/c894ed61e5cc5887f760248af959256e.jpg> (дата звернення: 29.03.2020).
- 4) SkyWall Auto. URL: <https://openworksenineering.com/skywall-auto/> (дата звернення: 29.03.2020).
- 5) Зображення SkyWall Auto. URL: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/wp-content/uploads/2017/09/OpenWorks-Engineering-Skywall300-drone-capture-system-326x159.jpg> (дата звернення: 29.03.2020).
- 6) Aerosnare. URL: <https://www.dronedefence.co.uk/products/aerosnare/> (дата звернення: 29.03.2020).
- 7) Зображення AeroSnare URL: <https://www.commercialdroneprofessional.com/wp-content/uploads/2019/06/dronedefenceaerosnare.jpg>. (дата звернення: 29.03.2020).
- 8) Sky Fence. URL: <https://www.dronedefence.co.uk/products/skyfence/> (дата звернення: 29.03.2020).
- 9) Зображення SkyFence. URL: <https://dronebelow.com/wp-content/uploads/2018/12/20181029-SkyFence-Guernsey-30-1920x2592-759x1024.jpg> (дата звернення: 29.03.2020).

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		58

- 10) Зображення Raspberry Pi. URL: [https://images.ua.prom.st/2058126367\\_w640\\_h640\\_mikrokompyuter-raspberry-pi.jpg](https://images.ua.prom.st/2058126367_w640_h640_mikrokompyuter-raspberry-pi.jpg) (дата звернення: 20.05.2020).
- 11) Камера обчислювального модулю. URL: <https://rozetka.com.ua/185907751/p185907751/#description> (дата звернення: 01.06.2020).
- 12) Зображення Kandao Obsidian GO. URL: [https://rec360.ru/wp-content/uploads/kandao\\_obisidian\\_go\\_2.jpg](https://rec360.ru/wp-content/uploads/kandao_obisidian_go_2.jpg) (дата звернення: 01.06.2020).
- 13) Зображення модулю глушіння. URL: [https://images.ua.prom.st/1245698021\\_w640\\_h640\\_glushilka-dronov-i.jpg](https://images.ua.prom.st/1245698021_w640_h640_glushilka-dronov-i.jpg) (дата звернення: 13.05.2020).
- 14) Дрон DJI S1000. URL: <https://gamestore.com.ua/kvadrokoptery/product/oktokopter-dji-s1000-premium-/50815/> (дата звернення: 01.06.2020).
- 15) Зображення дрону DJI S1000. URL: <https://modelistam.com.ua/images/dji-s1000-premium-1.jpg> (дата звернення: 01.06.2020).
- 16) Камера Go Pro Max. URL: [https://www.citrus.ua/ekshn-kamery/kamera-gopro-hero-8-max-654780.html?gclid=EAIaIQobChMIuOmn3bv16QIVg7UYCh0PnQUaEAYYASABEgJWSPD\\_BwE](https://www.citrus.ua/ekshn-kamery/kamera-gopro-hero-8-max-654780.html?gclid=EAIaIQobChMIuOmn3bv16QIVg7UYCh0PnQUaEAYYASABEgJWSPD_BwE) (дата звернення: 01.06.2020).
- 17) Зображення камери Go Pro Max. URL: [https://i.citrus.ua/imgcache/size\\_800/uploads/shop/c/4/c4530beffe109892840ade9f64d3cc1a.jpg](https://i.citrus.ua/imgcache/size_800/uploads/shop/c/4/c4530beffe109892840ade9f64d3cc1a.jpg) (дата звернення: 01.06.2020).
- 18) What is radar and how is it used to track aircraft? URL: <https://www.abc.net.au/science/articles/2014/03/17/3964782.html> (дата звернення: 23.04.2020).

- 19) Cavity magnetron. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cavity\\_magnetron](https://en.wikipedia.org/wiki/Cavity_magnetron) (дата звернення: 23.04.2020).
- 20) Основні частини магнетрона. URL: [http://ed.kpi.ua/wp-content/uploads/Mastertheses/2019/Ichenskyi\\_V.pdf](http://ed.kpi.ua/wp-content/uploads/Mastertheses/2019/Ichenskyi_V.pdf) (дата звернення: 23.04.2020).
- 21) Antenna. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio)) (дата звернення: 23.04.2020).
- 22) Зеркальная антенна. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Зеркальная\\_антенна](https://ru.wikipedia.org/wiki/Зеркальная_антенна) (дата звернення: 23.04.2020).
- 23) When and where to use a duplexer. URL: <https://blog.taitradio.com/2014/05/13/when-and-where-to-use-a-duplexer/> (дата звернення: 23.04.2020).
- 24) Зображення схеми роботи дуплексеру у локаторі. URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/Bsp\\_Duplex-eng.svg/440px-Bsp\\_Duplex-eng.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/Bsp_Duplex-eng.svg/440px-Bsp_Duplex-eng.svg.png) (дата звернення: 23.04.2020).
- 25) Штучна нейронна мережа. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна\\_нейронна\\_мережа](https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа) (дата звернення: 14.04.2020).
- 26) Згорткова нейронна мережа. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Згорткова\\_нейронна\\_мережа](https://uk.wikipedia.org/wiki/Згорткова_нейронна_мережа) (дата звернення: 14.04.2020).
- 27) Зображення архітектури згорткової нейромережі. URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Typical\\_cnn\\_uk.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Typical_cnn_uk.png) (дата звернення: 14.04.2020).

					<b>IA61.240BAK.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		60

- 28) Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество. URL: <https://habr.com/ru/post/348000/> (дата звернення: 14.04.2020).
- 29) Применение нейросетей в распознавании изображений. URL: <https://m.habr.com/ru/post/74326/> (дата звернення: 19.04.2020).
- 30) Training an Image Classification Model With Create ML. URL: <https://code.tutsplus.com/articles/training-an-image-classification-model-with-create-ml-cms-31617> (дата звернення: 01.05.2020).
- 31) Electronic warfare. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_warfare](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_warfare) (дата звернення: 13.05.2020).
- 32) Радіоглушіння. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Радіоглушіння> (дата звернення: 13.05.2020).
- 33) Шумотрон. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Шумотрон> (дата звернення: 13.05.2020).
- 34) Усилитель. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Усилитель> (дата звернення: 13.05.2020).
- 35) Electronic or Mechanical: Which Paintball Gun Is Right for You? URL: <https://www.liveabout.com/electronic-versus-mechanical-guns-2565831> (дата звернення: 01.06.2020).

					<b>IA61.240БАК.005 ПЗ</b>	Аркуш
Зм.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		61