

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**Метод та засоби управління безпілотними літальними апаратами**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

Виконав студент 2 курсу, групи 2КІ-21м  
спеціальності 123 — Комп'ютерна  
інженерія Чуманов А. О.

Керівник д.т.н., проф. Азаров О.Д.  
«16» 12 2022р.

Опонент к.т.н., доц. каф. ПІ Романюк О.В.  
«19» 12 2022 р.

**Допущено до захисту**

д.т.н., проф.зав. каф.  
ОТ Азаров О.Д.  
«20» 12 2022 р.

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

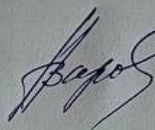
Кафедра обчислювальної техніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 123 – «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
обчислювальної техніки  
проф., д.т.н. О.Д.Азаров  
«15» 09 2022 р.



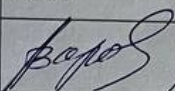

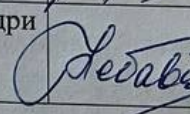
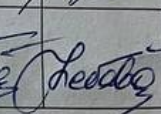
**ЗАВДАННЯ**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

**студенту Чуманову Артему Олеговичу**

- 1 Тема проекту «Метод та засоби управління безпілотними літальними апаратами» керівник роботи Азаров Олексій Дмитрович, д.т.н., професор, затверджено наказом вищого навчального закладу від «15» 09 2022 року № 205А
- 2 Строк подання студентом роботи 20.12.2022р.
- 3 Вихідні дані до проекту: Теми лабораторних робіт з дисципліни «Технології проектування комп'ютерних систем».
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз технічної галузі в безпілотних літальних апаратах, розробка методу управління безпілотним літальним апаратом, проектування засобів управління безпілотного літального апарату, економічна частина, висновки, перелік джерел посилання.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): функціональна схема
- 6 Консультанти розділів роботи наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	Азаров О.Д., д.т.н., професор кафедри ОТ		
4	Небава М.І., к.т.н., професор кафедри ЕПВМ		

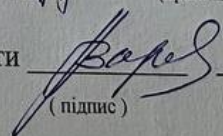
7 Дата видачі завдання 06.09.2022р.

8 Календарний план наведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі роботи	11.02.22	всїд.
2	Аналіз технічної галузі в безпілотних літальних апаратах	05.04-28.04.22	всїд.
3	Розробка методу управління безпілотним літальним апаратом	09.09-2.10.22	всїд.
4	Проектування засобів управління безпілотного літального апарату	13.10-28.10.22	всїд.
5	Підготовка матеріалів та опис розробки	01.11-15.11.22	всїд.
6	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	20.11-29.11.22	всїд.
7	Аналіз виконання роботи, висновки, додатки	01.12-10.12.22	всїд.
8	Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків	25.05.22	всїд.

Студент  Чуманов А.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Азаров О.Д.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Чуманов А.О. Метод та засоби управління безпілотними літальними апаратами. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2022.

Пояснювальна записка містить 120 сторінок, 36 рисунків, 10 таблиць, 1 лістинг, 1 формулу та 15 посилань.

Магістерську кваліфікаційну роботу присвячено розробці безпілотного літального апарату та вибору засобів та методів керування.

В проекті виконується аналіз та методи застосування безпілотних літальних апаратів та їх роль в сучасному світі. Основною метою є розробка методу та засобів управління безпілотними літальними апаратами. Було підібрано необхідні компоненти та спроектовано електронну схему. Також було розроблено програмне забезпечення в середовищі Mission Planner, який є складовою Ardupilot.

В результаті розробки спроектовано засоби управління безпілотного літального апарату, які застосовують запропонований мультифункціональний метод управління, що дозволяє керувати безпілотним літальним апаратом як в ручному режимі за допомогою дистанційного керування, так і в автономному. Розроблене програмне забезпечення забезпечує рух безпілотного літального апарату саме в автоматичному режимі. Реалізовано функції повернення в точку старту або в будь-яку іншу точку, яку можна змінити в процесі польоту. Крім цього реалізовано обхід перешкоди та можливість виходу з зони поганого зв'язку.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, польотний контролер Pixhawk 4, GPS – трекер, Ardupilot, Mission Planner.

## ANNOTATON

УДК 621.374.415

Chumanov Artem. Method and means of controlling unmanned aerial vehicles. Master's thesis in the specialty 123 — Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2022.

The explanatory note contains 120 pages, 36 figures, 10 tables, 1 listing, 1 formula and 15 references.

The master's thesis is devoted to the development of an unmanned aerial vehicle and the selection of control tools and methods.

The project analyzes and uses methods of unmanned aerial vehicles and their kind in the modern world. The main goal is to develop an unmanned aerial vehicle, to choose the most relevant means and control method. The necessary components were selected and an electronic circuit was designed. Software was also developed in the Mission Planner environment, which is a component of Ardupilot.

As a result of the development of the project, an unmanned aerial vehicle was developed based on the control of which a multifunctional control method was used, which allows you to control the unmanned aerial vehicle both in manual mode using remote control and autonomously. The developed software ensures the movement of the unmanned aerial vehicle precisely in automatic mode. The functions of returning to the starting point or to any other point that can be changed during the flight have been implemented. In addition, obstacle bypassing and the possibility of exiting the zone of poor communication have been implemented.

Keywords: unmanned aerial vehicle, Pixhawk 4 flight controller, GPS tracker, Ardupilot, MissionPlanner.

## ЗМІС

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>9</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ГАЛУЗІ В БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ.....</b>	<b>14</b>
1.1 Розвиток та застосування безпілотних літальних апаратів.....	14
1.2 Класифікація безпілотних літальних апаратів.....	16
1.3 Класифікація безпілотних літальних апаратів.....	19
1.4 Міжнародна практика застосування безпілотних літальних апаратів.....	23
<b>2 РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ.....</b>	<b>26</b>
2.1 Існуючі методи управління безпілотним літальним апаратом.....	26
2.2 Польотний контролер.....	27
2.2.1 Характеристики та застосування польотних контролерів.....	27
2.2.2 Принцип роботи інтегрального гіроскопа в польотному контролері.....	30
2.2.3 Принцип роботи інтегрального акселерометра в польотному контролері.....	31
2.2.4 UART порт в польотному контролері.....	32
2.3 Принцип роботи ПІД-регулятора.....	37
2.4 Основні принципи та методи криптографічного шифрування зв'язку.....	40
2.5 Програмне забезпечення платформи.....	47
2.6 Розробка власного методу керування безпілотним літальним апаратом.....	48
<b>3 ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ.....</b>	<b>52</b>
3.1 Мікропроцесори сімейства STM32.....	52

					08-23.МКР.012.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

3.2	Типи польотних контролерів на базі STM32.....	54
3.3	Характеристика мікропроцесорної платформи.....	56
3.4	Розробка структурної схеми.....	58
3.5	Вибір та характеристика основних компонентів безпілотного літального апарату.....	60
3.5.1	Регулятор швидкості.....	60
3.5.2	Відеопередавач.....	61
3.5.3	Двигун.....	62
3.6	Встановлення та налаштування GPS приймача.....	64
3.7	Налаштування програми Mission Planner.....	66
3.8	Налаштування обладнання для APM.....	68
3.8.1	Калібрування компасу.....	68
3.8.2	Калібрування акселерометра.....	70
3.8.3	Калібрування радіоуправління безпілотного літального апарату.....	72
3.8.4	Калібрування регуляторів швидкості.....	74
3.8.5	Налаштування двигунів.....	75
3.9	Програмування маршруту для автономного керування безпілотним літальним апаратом.....	76
3.10	Написання сценаріїв на Ardupilot.....	82
<b>4</b>	<b>ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>86</b>
4.1	Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки.....	86
4.2	Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи.....	90

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором.....	98
4.3.1 Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу для використання масовим споживачем.....	99
4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності .....	101
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>105</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>107</b>
<b>ДОДАТОК А</b> Технічне завдання.....	<b>110</b>
<b>ДОДАТОК Б</b> Лістинг програми для створення реверсного руху.....	<b>115</b>
<b>ДОДАТОК В</b> Лістинг програми для отримання телеметричних даних.....	<b>117</b>
<b>ДОДАТОК Г</b> Лістинг програми для реалізації повернення в задану позицію .....	<b>119</b>
<b>ДОДАТОК Д</b> Структурна схема плати.....	<b>121</b>
<b>ДОДАТОК Е</b> Опис схеми зі зображеннями контактів, що відповідають за з'єднання з контролером F405a.....	<b>122</b>
<b>ДОДАТОК Ж</b> Зовнішній вигляд пристрою.....	<b>123</b>
<b>ДОДАТОК И</b> Протокол перевірки навчальної кваліфікаційної роботи.....	<b>126</b>

					08-23.МКР.012.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БПЛА – Безпілотний літальний апарат

ПДК – Пульт дистанційного керування

МПС – Мікропроцесорна система

GPS– Global Positioning System

ПЗ – програмне забезпечення

### **ВСТУП**

Швидкий розвиток електроніки швидко змінює сучасний світ і це можна побачити у сферах комунікації, зв'язку та соціальної сфері. Ключовими словами у сферах зв'язку є мобільні телефони, комп'ютери та інтернет. Зараз не є проблемою знайти необхідну інформацію чи вийти на зв'язок практично в будь-якому місці світу. Ми організуємо дистанційне навчання та приєднуємося до групи зі спільними професійними, соціальними та культурними інтересами. Це стало можливо значною мірою завдяки використанню мікропроцесорів та створенню мікропроцесорних систем [1].

Термін інтернет речей, відноситься до колективної мережі підключених пристроїв та технології, що спрощує зв'язок між пристроями та хмарою, а також між самими пристроями вцілому. Завдяки появі недорогих комп'ютерних мікросхем та телекомунікацій з високою пропускнуою здатністю ми маємо тепер мільярди пристроїв, підключених до Інтернету. До прикладу мережі, яка включає в себе безліч датчиків: висотомір, тиск, барометр та різні серво-механізми можна віднести безпілотний літальний апарат [1].

На сьогоднішній день використання безпілотних літальних апаратів є дуже актуально і темпи їх розвитку стрімко зростають. Вони використовуються як в повсякденному житті, як хобі, так і професійно.

Вони широко використовувалися в воєнних цілях, а саме для збирання розвідувальної інформації та аналізу позицій. Широке використання безпілотних літальних апаратів в картографії, адже він є автономним, зручним та дешевим в використанні. Окрім цього їх почали застосовувати і в різних аерокосмічних програмах. Такі апарати є дуже зручними в потенційно несприятливих умовах, тому їх розробка є як ніколи актуальна [2].

**Об’єктом дослідження** є методи та засоби управління безпілотними літальними апаратами.

**Предметом дослідження** є процеси, що протікають в засобах управління безпілотними літальними апаратами та реалізують методи керування польотом безпілотних літальних апарату.

**Метою** є розробка власного методу та засобів управління безпілотними літальними апаратами на основі мультифункціонального управління з використанням різних протоколів передачі даних як для ручного, так і автономного керування на основі GPS системи, а також можливості автономного повернення на місце зльоту або у будь-яку задану точку у випадку погіршення GPS сигналу.

Задачі, які необхідно вирішити:

- аналіз предметної області;
- огляд методів управління безпілотним літальним апаратом та розробка власного методу;
- Розробка засобів управління, підбір компонентів та їх компоновка і налагодження;
- вибір середовища програмної реалізації розробленого методу управління на маршруті польоту в автономному режимі;
- програмування мікроконтролера STM32 на відлагоджувальній платі PiXhawk 4;
- тестування роботи розробленого методу та засобів управління безпілотними літальними апаратами.

Також система повинна в режимі онлайн передавати інформацію відстань до конкретної позиції, про висоту, швидкість вітра, температуру, тиск та повідомляти про залишок заряду акумулятора, а також відеозображення.

В першому розділі розглядається що таке безпілотний літальний апарат, що в себе включає безпілотний літальний комплекс. Наведено класифікація приклади застосування, основні аналоги та міжнародні практики їх застосування у військовій сфері.

В другому розділі розробляється метод управління безпілотним літальним апаратом. На основі існуючих методів запропоновано власний метод керування який дозволяє забезпечити усі необхідні функції який повинен виконувати літальний апарат. За основу розробки метода взято принцип роботи ПД—регулятора, розглядається використання польотного контролера, який і дозволяє реалізувати дану мікропроцесорну систему. Крім цього розглянуто, які є основні принципи та методи криптографічного шифрування. Наведено, які є аналоги програмного забезпечення, що дозволяють реалізувати функцію автономного польоту та інших автономних команд.

В третьому розділі відбувається насамперед проектування засобів управління безпілотного літального апарату. Насамперед розглянуто мікропроцесори, які є широко використовуються в розробці польотних контролерів. Розглянуто основні типи польотних контролерів, які побудовані на цих на базі мікропроцесора STM32. Запропоновано найбільш актуальний контролер, який є широкофункціональним і здебільшого використовується в розробці безпілотних літальних апаратів. Далі відбувається розробка структурної схеми і підбір необхідних компонентів, також розглянуто схема встановлення та налаштування GPS— приймача. Далі відбувається налаштування програмного забезпечення для можливості програмування автономного польоту безпілотного літального апарату.

Відбувається пис схеми налаштування всіх необхідних компонентів, щоб отримати повністю відлагоджений пристрій. Останнім кроком розглядається приклад написання сценаріїв для контролера польоту. Та написання власного сценарію, що надає можливість безпілотному літальному апарату у випадку втрати сигналу повертатись на початкову позицію, або іншу задану позицію і здійснити посадку. Окрім цього розроблено сценарій, що дозволяє обходити перешкоди на малій висоті.

В четвертому розділі розглядається економічна частина, а саме комерційний та технологічний аудит наукової розробки, прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації можливим інвестором, а також здійснено розрахунок вкладених інвестицій та період її окупності.

**Наукова новизна** полягає саме в розробці методу автономного управління та засобів для його реалізації, щоб у випадку втрати сигналу зв'язку, безпілотний літальний апарат міг піднятися на вказану висоту і по найоптимальнішому маршруті вернутись на місця зльоту або в будь-яку іншу задану точку і здійснити посадку або у разі неможливості вернутись чи падіння прислати координати місцезнаходження.

**Апробація** результатів магістерської роботи: зроблено публікацію [10]: Чуманов А.О.Методи та засоби керування безпілотними літальними апаратами/ А.О.Чуманов // Тези доповіді. Матеріали І регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області: веб-сайт. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/schedConf/presentations>(дата звернення: 03.10.2022).

**Практичне значення** полягає в тому, що розробка може застосовуватись для спостереження на великій території, при необхідності збору та накопичення розвідувальних даних. Система є захищена від можливості втрати координат та має алгоритми поведінки в нештатних ситуаціях з гнучким налаштуванням. Прилад є широкофункціональним, гнучким в налаштування так як його можна застосовувати в різних сферах.

## 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ГАЛУЗІ В БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

### 1.1 Розвиток та застосування безпілотних літальних апаратів

Безпілотні літальні апарати все більше впливають на наше життя. Вони стають все більш необхідними в сучасному житті і їх роль в деяких сферах вже ключова.

Безпілотники вже справляють величезний вплив на наше життя. Наприклад, вони займаються виробництвом харчових продуктів: великі професійні ферми тепер регулярно використовують безпілотники для виявлення поганого урожаю та бур'янів. Таким чином вони можуть обрахувати, скільки добрива їм необхідно, тому використовуючи безпілотні літальні апарати вони економлять ресурси і залишки хімічних речовини не потрібно викидати в навколишнє середовище. Інші області використання включає моніторинг забруднення, погоди, та клімату, а також вони дають можливість краще досліджувати небезпечні зони, такі як вулкани чи космічний простір. Більшість кінокомпаній використовують їх для аерофотознімки у всіх фільмах і серіалах[3]. Приклад прототипу зображено на рисунку 1.1.

Зараз безпілотники мають потенціал і в майбутньому їх будуть застосовувати для доставки пакунків чи в якомусь технічному обслуговуванні в населених пунктах. Але для цього вони повинні бути надійними, щоб, якщо один з роторів вийде з ладу, він не впав на дорогу чи натовп. У ході

досліджень їх постійно модернізують та підбираються саме ті компоненти, що є найбільш надійними та актуальними .

Безпілотники покращують безпеку на великих подіях, адже вони можуть відстежувати та контролювати натовп: оператор, що керує безпілотником бачить, як розвиваються події , яких не видно з землі, ця інформація може бути цінною для поліції, пожежних служб та служб безпеки. Вони також можуть бути цінними і на морі, адже вони відіграють ключову роль в рятувальних та пошукових операціях. Безпілотні літальні апарати можуть шукати дуже швидко та ефективно.



Рисунок 1.1—Зображення квадрокоптера

Варто розуміти, що існує велика кількість різновидів літальних апаратів. Це може бути як маленький військовий безпілотник, який можна носити в кишені, щоб оглянути територію. А найбільший —це може бути

повноцінний бойовий літак , який очікуючи команди, цілодобово патрулювати території[4].

В Україні активно розвиває підприємства, які будуть задіяні у авіаційній сфері, тому є кадровий та технологічний ресурс та для розробки безпілотних апаратів. Також потрібно говорити про наявність перешкод, які зустрічаються у виробництві. Дві найгостріші проблеми – це матеріальна та технічна база. Адже Україна не виробляє ні радіообладнання та електроніку, ні спеціальних матеріалів для БПЛА . Без активізації виробництва в сфері легких композитних матеріалів та електроніки галузь безпілотних літальних апаратів буде розвиватися повільно.

## 1.2 Класифікація безпілотних літальних апаратів

По технічних та організаційним ознакам безпілотні літальні апарати можна класифікувати з урахуванням:

- методу управління;
- способу посадки;
- масштабу застосування;
- приналежності до виду;
- виду стартової позиції;
- отримання інформації;
- способу посадки;
- виду базування;
- тривалості польоту;
- висоти та дальності польоту;

В останні роки БПЛА все частіше використовуються не лише для створення відео чи фото контенту, а для вирішення бізнес завдань. Найбільш необхідні безпілотні літальні апарати саме в військовій та аграрній сфері. В сільському господарстві використовують БПЛА для моніторингу великої території, а в військовій сфері для розвідувальних та інших військових задач.

Важливим завданням безпілотного літального апарату у військовій сфері це топографічна аерозйомка для обробки великих масштабів територій та побудови карт місцевості з визначенням власних позицій та ворожих об'єктів. Військові безпілотники повинні бути максимально надійним в використанні, а також основна увага приділена шифруванню зв'язку та максимальній мобільності. Саме шифрування зв'язку є дуже важливо адже є ризик перехоплення сигналу та виявлення ворогом позицій, де знаходиться оператор.

Окрім військового застосування безпілотник широко використовується в аграрній сфері за допомогою дрона можна розпоросувати добрива та засоби захисту. Аналізувати ґрунт і створювати карти полів і посівів. Безпілотний літальний апарат в комплексі з програмним забезпеченням допомагають визначити тип ґрунту, його кислотність і рельєф.

Можна відстежувати стан культур на всіх етапах дозрівання. Розуміти, якій ділянці і в який час потрібні добрива або засоби захисту. Відповідно — менше витратитися, отримувати кращий урожай і збільшувати ефективність бізнесу.

### 1.3 Огляд існуючих аналогів

Існує різноманітна кількість БПЛА і їх застосовують відповідно до призначення. Нижче наведено найбільш відомі моделі безпілотних літальних апаратів, їх характеристики та застосування.

#### 1.2.1 Октокоптер Agras MG-1S

Створено для розпилення добрив та пестицидів. Має можливість складатись для простоти транспортування. Літальний апарат разом з



батареєю важить біля 12,6 кг. Зображено на рисунку 1.1. До нього можна прикріпляти контейнери до 10 літрів з системою обприскування рослин. Одного заряду вистачає на 10 хвилин, проте за виліт він може покрити до 1 га території. Октокоптер Agras MG-1S зображено на рисунку 1.2.

В цього літального апарата реалізована інтелектуальна система, яка автоматично регулює розпилення відносно швидкості польоту, щоб розпилення добрива було рівномірним. Оснащений також фільтрами, які запобігають потраплянню сміття та пилу і системою охолодження, яка може збільшує термін служби двигуна.

MG-1 автоматично зчитує свої поточні координати і запам'ятовує попередні. Це робиться для того, щоб якщо закінчиться добриво або розрядиться батарея, то літальний апарат міг продовжити політ з останньої записаної позиції.

Давачі на літальному апараті сканують місцевість в режимі реального часу, для того щоб підтримувати оптимальну висоту над місцевістю і рівномірно розпилювати територію. Також розташовані датчики рівня заряду батареї, швидкості розпилення, наповненості бака і висоти польоту на пульті дистанційного керування.

Цей апарат є дуже поширеним в сільському господарстві, адже він є найбільш простим в експлуатації. Вони допомагають аграріям розуміти свій земельний банк, прораховувати ризики, правильно економити, отримувати великі врожаї і впроваджувати точне землеробство.



Рисунок 1.2—Модель октокоптера Agras MG-1S

### 1.2.2 Phantom 4 RTK

Це найбільш популярний літальний апарат і він має модулю RTK. Модуль перетворює цей апарат в інструмент для ведення аерозйомки і побудови 3-D карт місцевості. Час польоту біля 40 хвилин. За один політ він може покрити до 50 гектарів.

Безпілотник повертається на початкову точку, якщо він розряджається чи попадає в зону поганого зв'язку. Після заміни батареї він може починати зйомку з позиції, на якій зупинився. Управління апаратом відбувається за допомогою пульта управління, в який вбудовано 5,5 дюймовий дисплеєм. Він добре відображає картинку навіть при сонячній погоді. Ще однією перевагою є оптимізоване шасі і рама, зображено на рисунку 1.3. Завдяки розбірної конструкції, пристрій легко очищати та замінити пошкоджені елементи.

У пульт вбудовано власний додаток планування польоту, який враховує параметри рельєфу та місцевості взагалом. Радіус дії сигналу біля 7 км. Підходить для інвентаризації угідь, точного землеробства і визначення станів рослин[5].

В цілому Phantom 4 RTK може інтегруватися в різні робочий процес. Його систему позиціонування можна підключити до мобільної станції D-RTK 2, NTRIP з використанням модему 4G або точки доступу Wi-Fi. А також на борту встановлена спеціальна резервна система позиціонування GNSS, що дозволяє підтримувати стабілізацію польоту в тих районах, де низький рівень сигналу.

### 1.2.3 Matrice M210 RTK

У цього літального апарату є дві батареї, завдяки яким час роботи становить біля 40 хвилин. Дальність сигналу до 50 км. За один виліт він може покрити до 65 гектарів. Цей БПЛА має підвищений клас захисту IP-43. Тому внутрішні електронні елементи пристрою надійно захищені від пилу, води і різних дрібно-дисперсних частинок.

Matrice 210 RTK— це промисловий літальний апарат, який можна використовувати в різних сферах, а саме: моніторинг та перевірка стану ліній електропередач, стану сонячних панелей, застосування в картографії, геодезії і т.д.

17-дюймові пропелери та потужні двигуни гарантують під час польоту високу стабільність навіть при сильному вітрі. Безпілотник зображено на рисунку 1.4.

БПЛА має закритий корпус і також має вбудовану функцію обігріву акумуляторних батарей, а тому він пристосований до несприятливих погодних умов і не боїться морозів. До нього можна приєднувати різний

вантаж, такий як, камери з тридцяти-кратним оптичним зумом та тепловізійного модуля [5]



Рисунок 1.3— Модель літального апарату Phantom 4 RTK.

#### 1.2.4 Bluegrass Fields

Цей безпілотний літальний апарат призначений спеціально для сільського господарської сфери. Він має дві камери на своєму — це мультиспектральна камера Sequoia та фронтальна RGB-камера на 14 Мп . Зображено на рисунку 1.5.

Sequoia має власний GPS модуль, який покращує точність зйомки. Сама регулює швидкість зйомки в залежності від зовнішніх умов. Її основна перевага в двох сенсорах — це сенсору освітлення та мультиспектральний сенсор. Камера фіксує певну кількість світла, який

поглинають і відбивають рослини. Ці дані використовуються для аналізу стану культур.



Рисунок 1.4 — Модель безпілотної літаючої моделі Matrice M210 RTK

За один етап Bluegrass Fields може покрити до 65 гектарів. Також реалізована функція автоматичного обстеження агрокультур. Дальність передачі сигналу до 2 км. Літальний апарат має 3 батареї роботи яких по 25 хвилин.

Є можливість керувати літальним апаратом з мобільного додатку Parrot Fields з програмним забезпеченням Pix4Dfields. У додатку можна обробляти дані з пристрою, отримати звіт моніторингу та карт зональності і з'ясувати за допомогою методу перебору масивів даних, де знаходяться проблемні ділянки. Можливе створення карт NDVI в режимі реального часу.

#### 1.2.5 FLIRT Iron

Літальний апарат спеціально розроблено для розпилення біологічних засобів обробки рослин. Час роботи в польоті біля 60 хвилин. Покриває до 1000 гектарів за один виліт. Може вносити трихограми (жучків, які поїдають шкідників), пролітаючи низько над рослинами .



Рисунок 1.5 — Модель літального апарату Bluegrass Fields

Літальний апарат виготовлений з конструкції алюмінієвих сплавів і композитних матеріалів. Тому він більш легкий, міцний і простий в ремонті. Зображено на рисунку 1.6.

Для цього літального апарату використовується власне програмне забезпечення ABRIS Flight Planner. Це дозволяє йому працювати навіть вночі на полях із перешкодами та складним рельєфом.

В FLIRT Iron почали комплектувати спеціальні камерами для моніторингу. Тому він може проводити моніторинг стану посівів і вносити трихограми.



Рисунок 1.6 — Модель літального апарату FLIRT Iron

#### 1.4 Міжнародна практика застосування безпілотних літальних апаратів

На сьогоднішній день в світі дуже поширена практика використання безпілотних літальних апаратів у військовій сфері. Майже в будь—яких військових діях беруть участь безпілотники. Саме для розвідки вони відіграють ключову роль. Також існують бойові БПЛА призначені для одноразового використання. Приділяється увага також і БПЛА для багато разового використання. У початковий період воєнних конфліктів, коли система противника ППО, ще боездатна, то БПЛА відіграють роль знешкоджувача. Для цього саме і використовують ударні БПЛА.

Велика частина бойових БПЛА, незважаючи на те що їх вартість досить висока, розрахована на багаторазове застосування, тобто реалізовано здатність повертатись в початкову позицію після виконання завдання. За розрахунками, спеціалізовані ударні БПЛА можуть окупити свою вартість, якщо зможуть здійснити від 5 до 9 бойових вильотів.

В результаті досліджень і аналізу порівняльної оцінки фахівці виявили, що стратегічні розвідувальні БПЛА літаючих на середніх висотах мають меншу кількість переваг. На відміну від них висотні апарати мають такі переваги, як:

- краща дальність прямої видимості, а також у межах видимості можуть працювати розвідувальна апаратура і засоби зв'язку;
- менша ймовірність того, в результаті поганої погоди буде втрачено зв'язок, оскільки бойові завдання виконуються над зонами поганої погоди;
- застосовується менша кількість зльотів і посадок .

В США БПЛА — є важливою складовою частиною, яка входить в частину сухопутного війська. Перспективні бойові системи— це об'єднана мережева система, яка включає різні види озброєнь та об'єднується через системи комунікацій. Фактично, це бойовий комплекс, що включає вісімнадцять компонентів. Вони мають над швидкий канал зв'язку між всіма бойовими одиницями на полі бою, а також автоматичні бойові одиниці – ракетні пускові установки і літальні апарати і танки.

Безпілотні системи є максимально ефективними у сфері бойового використання. Проте темп впровадження БПЛА залишається недостатнім. Зустрічаються проблеми вдосконалення систем СЗ, технологій обробки зображень та інфраструктури, які ще можуть створювати перешкоди на шляху інтенсифікації впровадження сучасних повітряних систем БПЛА. Однією з важливих проблем, яка стримує розвиток БПЛА, є задача забезпечення передачі інформації по каналах зв'язку між БПЛА і наземною станцією у необхідній кількості, з конкретною швидкістю без спотворення. Дана проблема



розв'язується шляхом збільшення пропускної здатності і завадостійкості каналів передачі даних, а також наявності на борту БПЛА великої кількості пристроїв, що працюють в автономному режимі без необхідності постійного обміну інформацією з пунктом управління.

Пріоритетами в створенні програми бойових БПЛА є: реалізація ефективної системи розпізнання цілей, розробка надійної і завадозахищеної системи зв'язку між безпілотними літальними апаратами, створення бортової системи обробки отриманої інформації з подальшим аналізом непотрібної або менш важливої інформації, а також розробка "віртуального пілота", наявність якого дозволить групі БПЛА самостійно виявляти між собою цілі, вибирати серед них найбільш пріоритетні і планувати політ відповідно до ситуації, що складається, оперативно реагуючи та аналізуючи загрози.

## 2 РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

### 1.1 Існуючі методи управління безпілотним літальним апаратом

БПЛА мають різні методи керування, які можна вибрати залежно від вимог експлуатації. Існує три найпоширеніші та відомі під різними назвами методи управління. Основні способи управління включають ручний, напівавтоматичний і автоматичний. Розглянемо детальніше ці три режими:

Ручний режим керування надає можливість пілоту повністю контролювати безпілотний літальний апарат. У цьому режимі керування пілот повністю контролює безпілотник, безпосередньо керуючи керуючими поверхнями за допомогою джойстика, що дозволяє безпосередньо керувати рухом серво-приводів. У цьому режимі пілот повинен мати достатню кваліфікацію в управлінні літальним апаратом, оскільки він/вона не отримує допомоги від автопілота.

Автономний режим дозволяє БПЛА виконувати операції повністю

автономно без втручання пілота, а також дозволяє одному пілоту керувати багатьма БПЛА одночасно. У цьому випадку автопілот разом із програмним забезпеченням дозволяє різні фази польоту, що дозволяє пілоту контролювати процес. Ці етапи полягають у проходженні маршруту через маршрутні точки і визначені заздалегідь визначеному напрямку, для виконання зльотів і посадок, маневрів у зависанні та бездіяльності, серед багатьох інших можливостей.

Крім того, існують розширені режими управління, які стають необхідними для розробки найрізноманітніших операцій. Тим не менш, ці режими керування доступні лише в деяких системах керування.

Іноді під час операції з попередньо налаштованим маршрутом він може виявитися центром інтересу заради цієї операції; у цей момент система може сповістити нас про такий випадок і запропонувати взяти керування за допомогою режиму камери. Завдяки цьому режиму управління БПЛА здійснюється інтуїтивно зрозуміло, націлюючи камеру на об'єкт інтересу та дозволяючи автопілоту коригувати політ, утримуючи його в стабільному стані та керуючи ним безпосередньо в напрямку, вказаному камерою. Цей режим керування особливо корисний для таких програм, як відстеження транспортних засобів, нагляд за кордоном та інших подібних ситуацій

Режим «Follow me» зазвичай дозволяє БПЛА слідувати за ціллю на фіксованій відстані, але у випадку з БПЛА, які використовують автопілот для виконання зльотів, посадок, набору висоти, висіння, картографування...

Ще одним з можливих методів керування є режим керування «Follow My Path». У цьому режимі керування замість того, щоб слідувати за рухомою ціллю, БПЛА слідує за маршрутом, який виконує ця ціль, тому, якщо він пройшов шлях, уникаючи зіткнень із фіксованими перешкодами,

БПЛА з автопілотом виконає той самий маневр, уникаючи зіткнення з навколишнім середовищем.

Можна зробити висновок, що здебільшого безпілотні літальні апарати оснащуються різною технічною апаратурою, що включає набір датчиків, камери з різними діапазонами та інші засоби отримання та передачі необхідної інформації. Для позначення цієї сукупності всіх необхідних компонентів (БПЛА та його приладного обладнання), введений термін безпілотна авіаційна система (БАС). БАС також включає себе бортовий комплекс управління, корисне навантаження, тобто його технічне оснащення, та наземний комплекс керування.

## 2.1 Польотний контролер

### 2.1.1 Характеристики та застосування польотних контролерів

Основний складовий елемент будь-якого безпілотного літального апарату — це польотний контролер. Саме розробка методу управління здійснюється за допомогою контролера.

Польотний контролер — електронний пристрій, що є обчислювальною системою, що працює за спеціальними складними алгоритмами, і дозволяє керувати польотом безпілотного літального апарату. Функції польотного контролера можуть визначатися за допомогою встановленої на борту БПЛА додаткової периферії (GPS трекер, передавач, OSD, підвіс для фото/відеокамери, пошукові засоби, датчі напруги і струму тощо).

До основних завдань, які виконує польотний контролер це:

Стабілізація апарату в просторі виконує збір та обробку інформації з інерційного вимірювального блоку (IMU), датчиків прискорень та кутової швидкості, забезпечуючи аеродинамічну стійкість апарата в горизонтальній площині.

Автоматичне утримання висоти та збір і обробка інформації з барометричних, інфрачервоних та ультразвукових сенсорів або радіотехнічних висотомірів, давачі вираховують висоту та забезпечують стабілізацію апарату у вертикальній площині. Можливість прив'язки позиції БПЛА на заданій висоті та в заданій точці за допомогою модулів GPS або ГЛОНАСС.

Автономний політ забезпечує виконання заздалегідь побудованого маршруту польотного завдання, яке створене у спеціальному програмному забезпеченні з постійним або змінним дотриманням телеметричних даних заданим оператором, а також є можливість здійснювати автоматичне повернення в точку старту за допомогою модуля GPS/ГЛОНАСС.

Система штучного зору забезпечує зупинку та подолання перешкод перед перешкодами, за допомогою набору сенсорів, що визначають відстань до об'єкта. У разі оснащення системою технічного зору, польотний контролер повинен мати високу обчислювальну здатність, який в реальному часі акумулюватиме і оброблятиме дані з сенсорів, що постійно скануються за допомогою ультразвукових інфрачервоних давачів. Система технічного зору може включати набір наступних сенсорів: інфрачервоні або ультразвукові далекоміри, двовимірні лідари, 3D-лідари (Flash-LiDAR Time-of-Flight) стереоскопічні (датчик зображення). Лідари будувати 3D-модель навколишнього простору та планувати в ньому безпечний маршрут, запобігаючи зіткненням з перешкодами.

Передача на землю поточних параметрів польоту, збір та обробка даних із зовнішніх джерел даних (GPS/ГЛОНАСС, датчики напруги, струму, температури) та штатних (барометр, акселерометр, гіроскоп) з

подальшою передачею потоку даних на модуль OSD, зображення ,яких відображаються на FPV-окулярах або дисплеї. Дані телеметрії можуть передаватися безпосередньо з польотного контролера за допомогою радіомодема, який забезпечує двосторонній зв'язок по протоколу UART (універсальний асинхронний приймач) через радіоканал.

Основним елементом будь-якого польотного контролера є інерційний вимірювальний блок або система інерційної навігації (від англ. IMU — Inertial Measurement Unit) — це система, яка визначає своє положення в просторі використовуючи властивості інерції тіл, тобто визначає на який кут і по якій осі вона була повернена і зміщена відносно початкової точки. Вимірювальний блок включає датчики лінійного прискорення (акселерометр) і кутової швидкості (гіроскоп), а також висотомір(барометр). Основним завданням датчиків на польотному контролері є безперервне отримання навігаційних даних для математичних розрахунків мікропроцесором, який встановлює положення безпілота щодо горизонту і виявляє зміни кутів орієнтації щодо його попереднього положення в просторі, потім направляє дані в електронні регулятори обертів двигуна

### 2.1.2 Принцип роботи інтегрального гіроскопа в польотному контролері

Гіроскоп — це пристрій, який здатний реагувати на зміну кутів орієнтації об'єкта щодо інерційної системи відліку і визначати його положення в просторі. Схема зображено на рисунку 2.1.

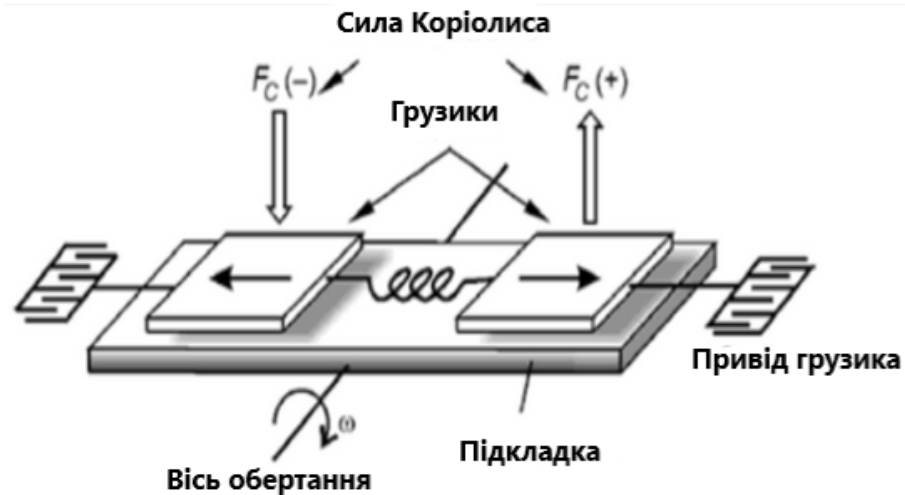


Рисунок 2.1 — Пристрій інтегрального гіроскопа

Чутливим елементом інтегрального гіроскопа є дві рухомі маси, які перебувають у безперервному русі на пружному підвісі протилежних напрямках. Джерелом коливань рухомої маси є гребінчасті електростатичні двигуни. Рухлива маса, разом з електродами, розташована на підкладці, утворюють конденсатори, що входять до складу диференціальної схеми, що виробляє сигнал, пропорційний різниці ємності конденсатора. Лінійне прискорення однаково впливає на обидві рухомі маси та підкладку, тому сигнал на виході диференціальної схеми не з'являється. Як тільки відбудеться зміна кутової швидкості щодо осі обертання, то на рухомі маси починає діяти сила Коріоліса, відхиляючи рухомі маси у протилежних напрямках. Відповідно, ємність одного конденсатора збільшується, а іншого зменшується, що породжує різницевий сигнал, пропорційний величині кутового прискорення. Таким чином, здійснюється перетворення кутової швидкості гіроскопа електричний параметр, величина якого відслідковується спеціальним датчиком.

Для того, щоб БПЛА визначав положення в просторі щодо трьох ортогональних напрямків  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , всередині одного корпусу мікросхеми

розташовуються три датчика перпендикулярно осям. Від сюди походить назва — трьох осьовий гіроскоп.

### 2.1.3 Принцип роботи інтегрального акселерометра в польотному контролері

Акселерометр — це пристрій, який вимірює прискорення (різницю між істинним прискоренням об'єкта і гравітаційним прискоренням). До складу інтегрального акселерометра входять високоточний чутливий елемент (що рухається) для визначення прискорень та електронна частина, що здійснює обробку сигналу. Зображено на рисунку 2.2.

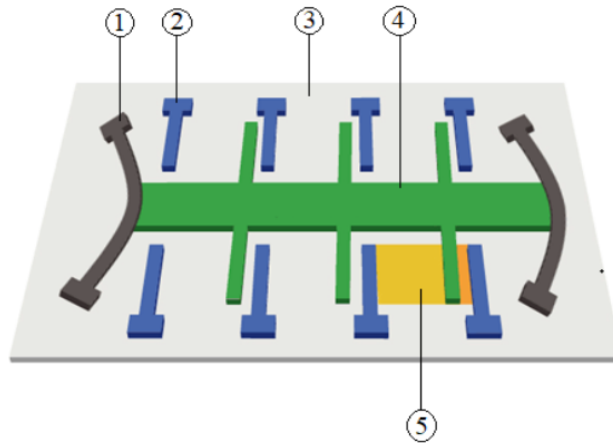


Рисунок 2.2 — Пристрій інтегрального акселерометра

Основні компоненти інтегрального акселерометра: полікремнієві пружини(1), Фіксовані пластини (контакти)(2), кремнієва підкладка (корпус)(3), рухлива маса з провідниками(4), зміна ємності(5)

На статичному корпусі паралельно розміщені тонкі фіксовані пластини (контакти), що знімають показання, а джерелом даних є рухома маса закріплена на пружних полікремнієвих пружинах і виконання у вигляді тонкої рамки з відведеними в сторони провідниками і допускає переміщення в певних межах, коли до певної осі застосовуються прискорення. Відведені убік провідники рухомої маси розташовуються між

фіксованими пластинами (контактами), якими знімаються показання переміщення провідників. Об'єктом вимірювання виступає змінна ємність між фіксованими пластинами і провідниками рухомої маси, де зміна ємності пропорційно прискоренню осі щодо якого відбувається рух.

Датчик обробляє цю зміну ємності і перетворює її на аналогову вихідну напругу, де спеціальний чіп, інтегрований в корпус МЕМС-пристрою, його вимірює. З урахуванням цих даних і заздалегідь відомих маси та параметрів рухомого елемента, чіп видає підсумкове значення прискорення по одному з трьох ортогональних напрямків  $x$ ,  $y$  та  $z$ . Це значення використовується мікроконтролер для автоматичного вирівнювання польоту БПЛА.

Інтегральні акселерометри, як і гіроскопи в безпілотних літальних апаратах є триосьовими, з трьома датчиками розташовані всередині одного корпусу мікросхеми перпендикулярно до осей  $x$ ,  $y$  і  $z$ .

У сучасних МЕМС мікросхемах триосьові акселерометри і триосьові гіроскопи часто об'єднують в одному корпусі, в цьому корпусі розташовується електронна частина для попередньої обробки сигналів, з зовнішніми протоколом обміну I2C або SPI.

#### 2.1.4 UART порт в польотному контролері

UART — це універсальний асинхронний приймач-передавач, він є одним із найбільш використовуваних протоколів зв'язку між пристроями.

При правильній конфігурації UART може працювати з багатьма різними типами послідовних протоколів, які включають передачу та отримання послідовних даних. У послідовному зв'язку дані передаються побітово за допомогою дроту або однієї лінії. У двосторонньому зв'язку ми використовуємо два дроти для успішної послідовної передачі даних.



Залежно від програми та вимог до системи, для послідовного зв'язку потрібно менше схем і проводів, що зменшує вартість реалізації.

Два сигнали кожного пристрою UART називаються:

- передавач (Tx);
- приймач (Rx).

Основним призначенням лінії передавача та приймача для кожного пристрою є передача та прийом послідовних даних, призначених для послідовного зв'язку.

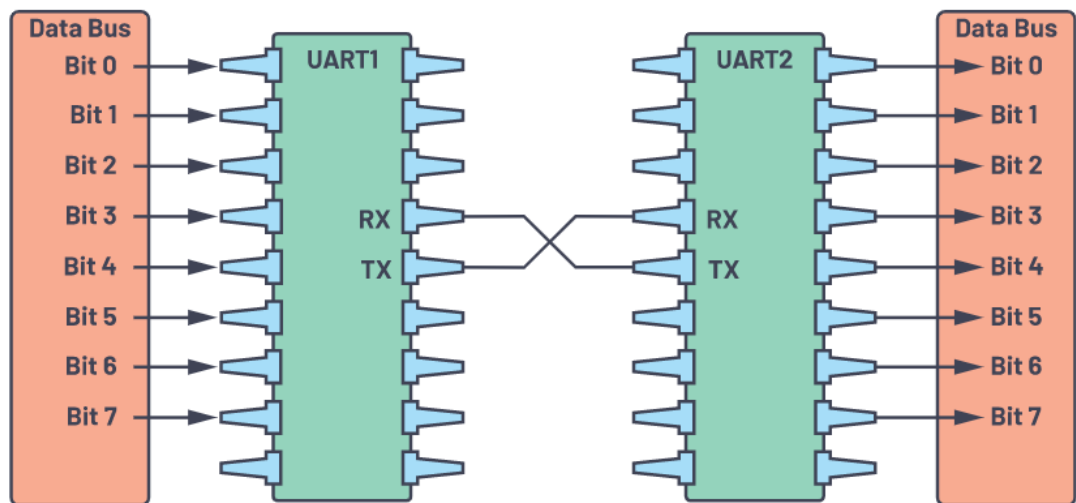


Рисунок 2.3 —UART з шиною даних.

Передавальний UART підключений до керуючої шини даних, яка надсилає дані в паралельній формі. З цього дані тепер будуть передаватися по лінії передачі (дроту) послідовно, біт за бітом, до приймального UART. Це, у свою чергу, перетворить послідовні дані в паралельні для приймального пристрою.

Лінії UART служать середовищем зв'язку для передачі та отримання одних даних іншим. Зверніть увагу, що пристрій UART має контакти для передачі та отримання, призначені для передачі або отримання.

Для UART і більшості послідовних комунікацій швидкість передачі даних має бути однаковою як на передавальному, так і на приймальному пристрої. Швидкість передачі даних – це швидкість, з якою інформація

передається в канал зв'язку. У контексті послідовного порту встановлена швидкість передачі буде служити максимальною кількістю біт за секунду для передачі.

В UART режим передачі здійснюється у формі пакета. Частина, яка з'єднує передавач і приймач, включає створення послідовних пакетів і контролює ці фізичні апаратні лінії. Пакет складається з початкового біта, кадру даних, біта парності та стоп-бітів, що зображено на рисунку 2.4.

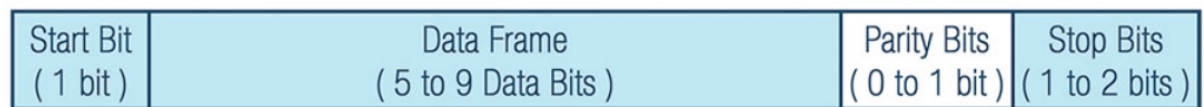


Рисунок 2.4 — Пакет UART

Пакет UART складається з стартового біта, кадру даних, парності та стоп-бітів

Етапи передачі даних через UART:

UART, що передає, отримує дані паралельно з шини даних.

Зображено на рисунку 2.5.

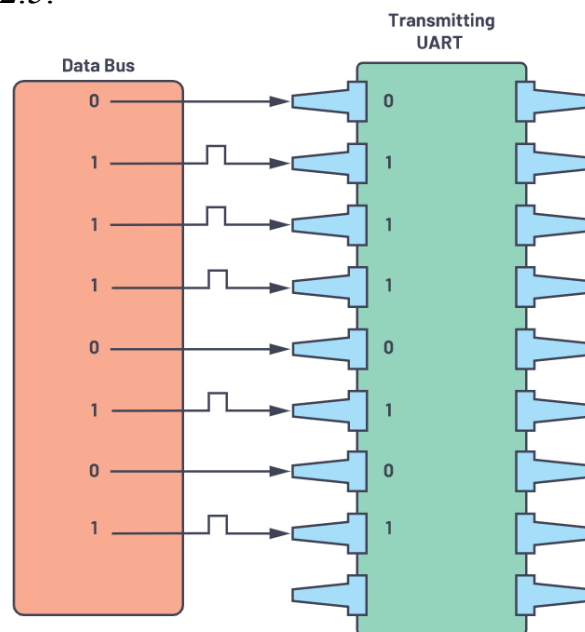


Рисунок 2.5 — Шина даних до передавального UART.

UART, що передає, додає до кадру даних початковий біт, біт парності та стоп-біт.

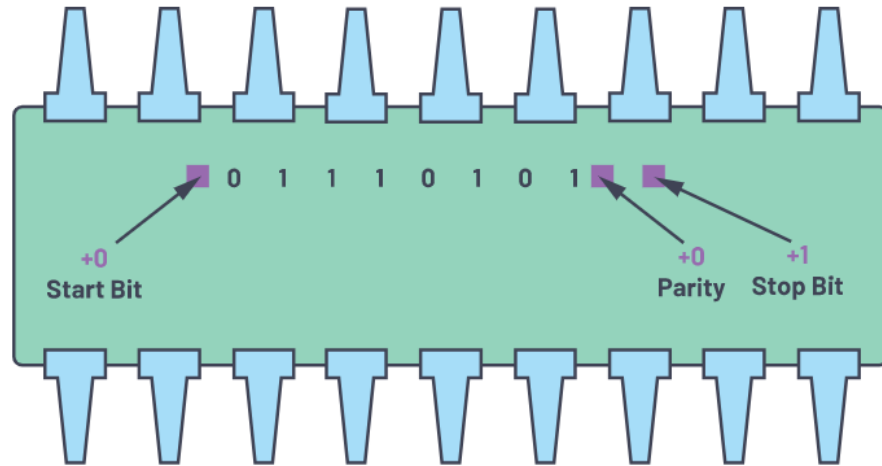


Рисунок 2.6 — Кадр даних UART на стороні Tx.

Увесь пакет надсилається послідовно, починаючи від початкового біта до стопового біта від UART, що передає, до UART, що приймає. Приймаючий UART пробує лінію даних із попередньо налаштованою швидкістю передачі. Зображено на рисунку 2.7.

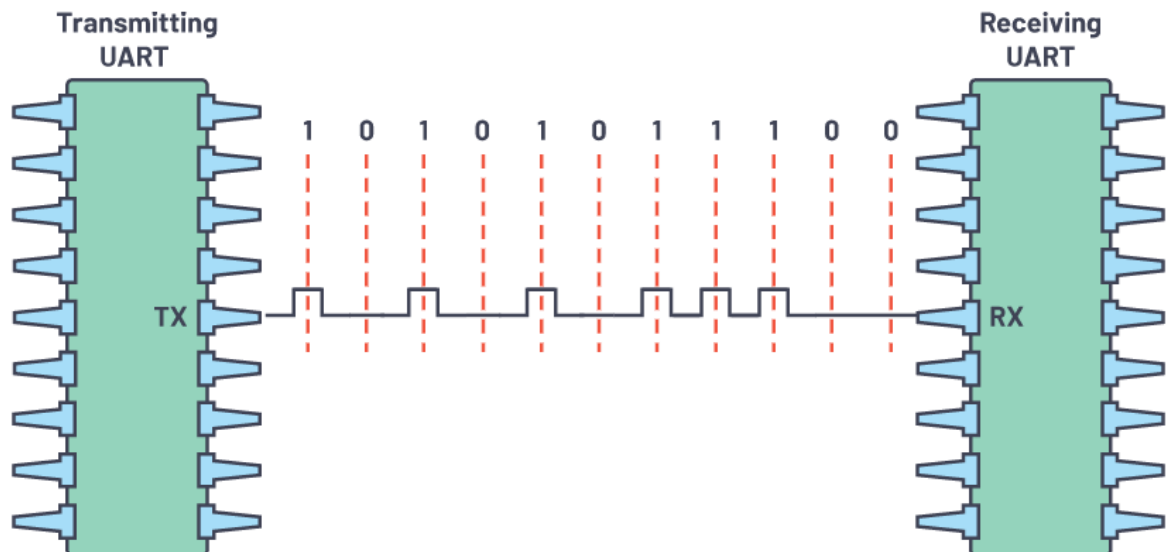


Рисунок 2.7 — Передача UART.

Приймаючий UART відкидає початковий біт, біт парності та стоп-біт із кадру даних. Зображено на рисунку 2.8.

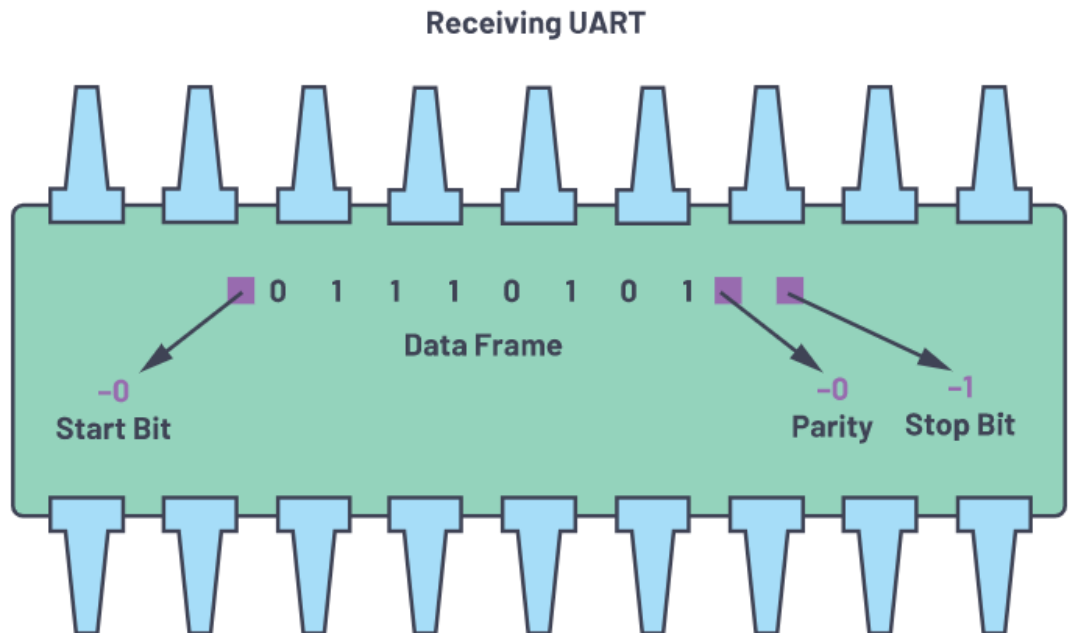


Рисунок 2.9 —Кадр даних UART на стороні Rx.

Приймаючий UART перетворює послідовні дані назад у паралельні та передає їх на шину даних на приймальному кінці. Зображено на рисунку 2.9.

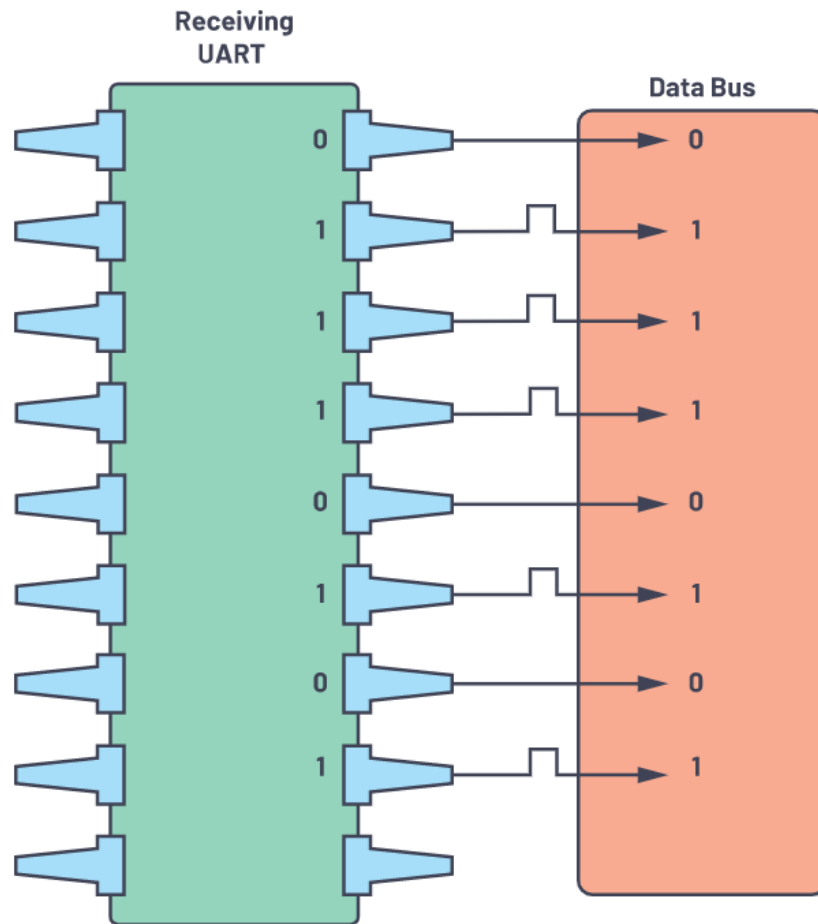


Рисунок 2.9 — Отримання UART на шину даних.

## 2.2 Принцип роботи ПД-регулятора

Принцип роботи польотного контролера, що виконує маневри та зміну положення відбувається за рахунок принципу роботи ПД-регулятора.

Основна ідея ПД-регулятора полягає в тому, щоб зчитувати дані датчика, а потім обчислити бажаний вихід приводу шляхом обчислення пропорційної, інтегральної та похідної відповідей і підсумовування цих трьох компонентів для обчислення вихідного сигналу. Перш ніж ми почнемо визначати параметри ПД-регулятора, ми побачимо, що таке замкнута система, і деякі термінології, пов'язані з нею.

Пропорційно-інтеграційно-похідний ПІД-регулятор — це система для керування різними операціями, такими як швидкість, швидкість потоку, тиск, температура та різноманітні інші змінні обробки. Він забезпечує можливість автоматичного підтримання заданого значення та компенсації змін у процесі та середовищі.

ПІД-регулятор використовує замкнуту систему керування зі зворотним зв'язком, яка регулює необхідні параметри до заданого значення/бажаного значення, граючи з різними операціями.

ПІД-регулятори вважаються одними з найбільш точних і придатних [систем керування](#).

Щоб регулювати вихідну змінну, ПІД-регулятори виконують різні вхідні операції, які зберігають значення певної змінної в бажаній або цільовій точці.

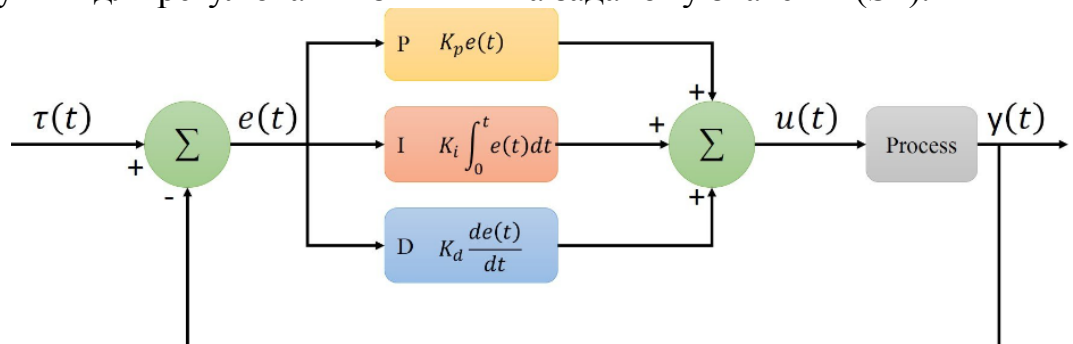
ПІД-регулятори постійно контролюють різницю між вихідним значенням, яке називається змінною процесу (PV) і заданим значенням (SP), і виконують свою роль за допомогою пропорційних, інтегральних механізмів і механізмів відхилення[11].

Цей механізм корекції продовжує автоматично мінімізувати помилку  $e(t)$  для отримання значення змінної процесу до потрібної точки.

Перший практичний приклад цієї системи ПІД-регулювання був знайдений у управлінні системою рульового управління кораблями, ця технологія була розроблена в 1920-х роках.

Згодом він також набув значення в обробній промисловості.

У наш час усе обладнання, що працює точно, використовує певну систему PID для регулювання змінних на заданому значенні (SP).



## Рисунок 2.10 — Структурна схема ПІД- регулятора

Відповідно до цієї моделі відокремлюють наступні терміни.

Термін «Пропорційне» означає пропорційну систему. Якщо помилка є великою та позитивною, команда контролера для керуючої змінної буде відповідно більшою та меншою у разі незначної помилки. Через певний проміжок часу, якщо в системі немає помилок, частина пропорційного контролера не вживатиме коригувальних дій. Його також називають «першим порядком», оскільки він реагує на вихід лише один раз за період часу. Іншими словами, пропорційна дія не залежить від часу.

Термін «Інтегральне» асоціюється з інтеграцією. Він підсумовує минулі значення, щоб отримати остаточне значення I для системи контролера. Якщо після виконання дії системи пропорційного регулятора залишається залишкова помилка, інтегральне керування вживає заходів, усуваючи накопичену помилку з попередніх розрахунків. По іншому, пропорційна похибка після його дії зменшується, але інтегральна система компенсує цей ефект. Його також називають «другим порядком», оскільки він діє як пам'ять про попередні зміни в системі або динаміку системи. Іншими словами, інтегральна дія має пам'ять про минулу поведінку процесу.

Термін «Диференціальне» оцінює майбутнє значення помилки шляхом аналізу поточних відхилень. Це пов'язано зі швидкістю зміни: якщо швидкість зміни більша, то швидкість дії буде швидкою, а якщо швидкість зміни повільна, то коригувальна дія буде повільною. Похідна дія покращує ефективність керування навколо заданих умов, оскільки вона діє як швидкість зміни вихідного сигналу контролера.

Належне математичне співвідношення зображено на формулі 2.1, що включає всі функції субконтролерів:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (2.1)$$

де  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  — коефіцієнти пропорційних, інтегральних відхилень.

Ці коефіцієнти також можуть бути представлені як  $P$ ,  $I$  та  $D$ .

У наступному рівнянні (2.2) термін  $K_i$  і  $K_d$  замінено на  $T_i$  і  $T_d$ , щоб скористатися перевагами їх фізичного значення, оскільки вони представляють час інтегрування та відхилення.

$$u(t) = K_d \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int^t e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (2.2)$$

де  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  — коефіцієнти пропорційних відхилень.

### 2.3 Основні принципи та методи криптографічного шифрування зв'язку

На сьогоднішній день важливою задачею є захист зв'язку БПЛА. Виявивши безпілотник, є ризик, що злочинець може перехопити відео та зображення, які БПЛА передає на базову станцію або взагалі перехопивши контроль.

Наприклад, якщо зловмисник змінить сигнал GPS, то БПЛА може змінити свою траєкторію і полетіти за новим вказаним маршрутом. Якщо сигнал не зашифрований то його можна розкодувати за допомогою аналізатора трафіка. Також сигнал БПЛА можна просто заглушити, що сприятиме втраті контролю над БПЛА.

Для захисту каналу зв'язку необхідно притримуватись наступних правил:

Необхідно регулярно оновлювати прошивку. Основні виробники дронів випускають оновлення, які виправляють вже знайдені вразливості, йому при регулярному оновленні вразливість БПЛА стає меншою. Наприклад, компанія MAVIC, після того як зловмисники отримали доступ до відео, фотографій, бортових журналів та карт користувачів — оновила своє ПЗ, з додатковим шифруванням даних своїх клієнтів. І ті



користувачі ,які не встановили оновлення, мали ризик вразливості своїх даних.

Необхідно встановити пароль. Надійний пароль захистить БПЛА від перехоплення сигналу та збереження записаних даних та карт.

Потрібно використовувати тільки офіційне ПЗ . У 2012 році в армії США декілька БПЛА, були зламані після того, як оператор встановив якесь шкідливе ПЗ на комп'ютер, що управляв БПЛА. Тому потрібно використовувати антивірус і не завантажувати сумнівні програми.

Використання віртуальної приватної мережі (VPN), дозволяє захистити дані, що надсилаються онлайн. VPN створить між вашим пристроєм та сервером захищене з'єднання — так злоумисник не зможе перехопити ваші дані, так як між пристроями та сервером буде встановлено захищене з'єднання. Потрібно перевірити, що до базової станції підключено лише один пристрій. Так хакери не зможуть перехопити сигнал для керування БПЛА через інші пристрої.

Потрібно подбати про те, щоб до базової станції був підключений лише один пристрій. Таким чином злоумисники не зможуть перехопити сигнал.

Потрібно налаштувати функцію “повернення додому”(Return to Home, RTH). Необхідно вказати місцезнаходження старту та прописати маршрут повернення, так БПЛА зможе повернутися у разі втрати сигналу та при низькому заряді батареї, а також у випадку глушіння сигналу. Ця функція допоможе врятувати БПЛА від втрати. Однак існує вразливість перехоплення GPS координат.

Існує три основні способи несанкціонованого втручання у роботу БПЛА:

- механічний вплив, можна збити БПЛА.
- використання глушилок, які пригнічують будь-які радіоканали, пов'язані з роботою БПЛА, за допомогою генерації на заданих частотах дуже потужного сигналу.

— перехоплення і заміна пакетів даних, що передаються або приймаються.

У дешевих БПЛА не передбачено криптографічного захисту каналу зв'язку. Тобто одним і тим ж командам, які надходять із землі на борт і з борта на землю відповідають ті самі сигнали. Це дає можливість зловмиснику перехопити управління БПЛА та використовувати його на власний розсуд.

На ринку представлена продукція фірм, які спеціалізуються на різних модулях БПЛА (трансивери, автопілоти, корпуси тощо). Ці модулі обмінюються даними між собою, використовуючи стандартні протоколи обміну даними. Наприклад, за допомогою універсального асинхронного приймача (УАПП, англ. Universal Asynchronous Receiver Transmitter, UART) є одним з найпростіших та найвідоміших способів передачі даних. Передача даних у UART відбувається по одному біту у різні відрізки часу. Цей часовий проміжок вираховується заданою швидкістю UART і для певного з'єднання вказується в бодах (що вданому випадку відповідає бітам за секунду).

В основному, всі пристрої працюють на трьох стандартних швидкостях: 9600, 19200, 115200. Також можливі та інші варіанти, навіть використання нестандартних швидкостей, що змінюються з часом. Зазвичай UART, який використовує БПЛА, складається з двох каналів передачі даних:

TXD (transmit) — передавальний канал передачі

RXD (receive) — приймаючий канал передачі, живлення (+5V) та земля (GND), всі інші дроти допоміжні, що зображено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 — Зовнішній вигляд роз'єма UART

Послідовність з'єднання має саме такий вигляд:

$TX1 \rightarrow RX2$      $RX1 \leftarrow TX2$

Це означає, що при з'єднанні пристроїв за допомогою UART потрібно приєднати провід, що передає приймаючого, а той, хто приймає до передавального, як зображено на рисунку 2.12.

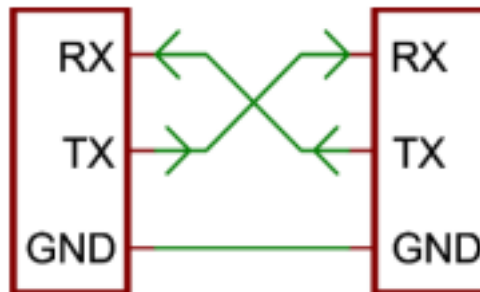


Рисунок 2.12 — Схема з'єднання передавальних каналів

На рисунках 2.13 2.14, 2.15 показано підключення шифратора, який має два UART. Один UART підключається до апаратури, інший до трансивера.

Трансивер — пристрій для передачі і прийому сигналу між двома фізично різними засобами систем зв'язку, саме слово складено з частин англійських слів transmitter (передавач) та receiver.

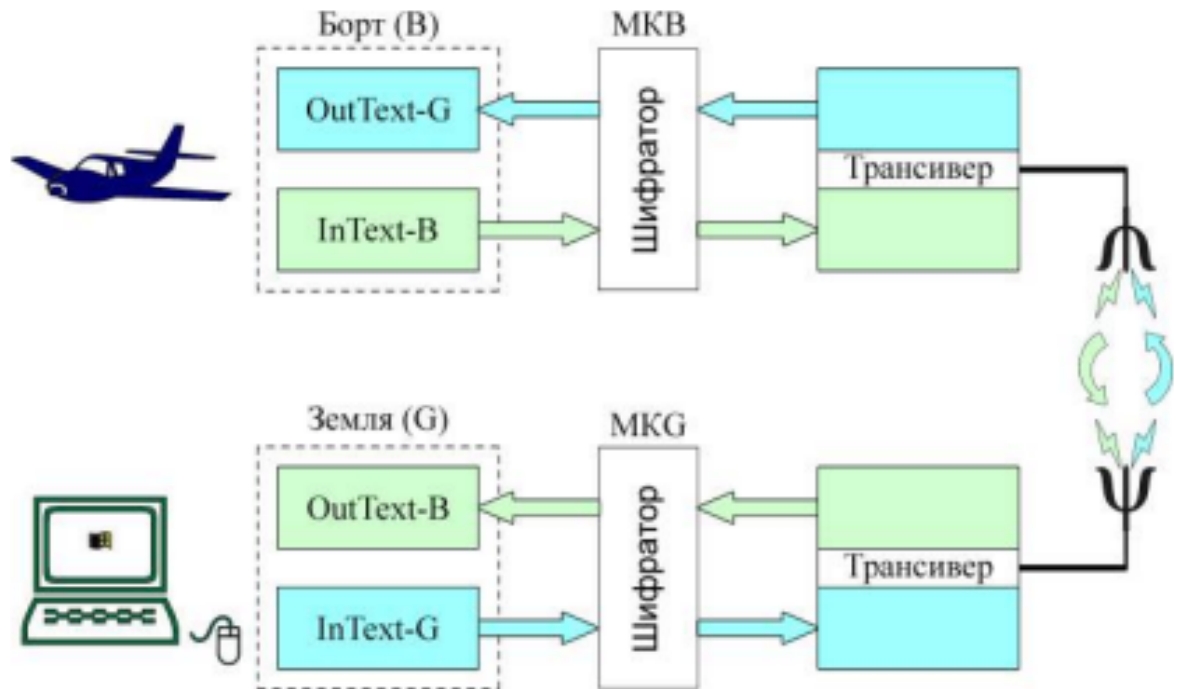


Рисунок 2.13 — Схематичне зображення включення шифратора(система криптографічного захисту інформації)



Рисунок 2.14 —Схематичне зображення підключення шифратора в розрив між наземною станцією і трансивером

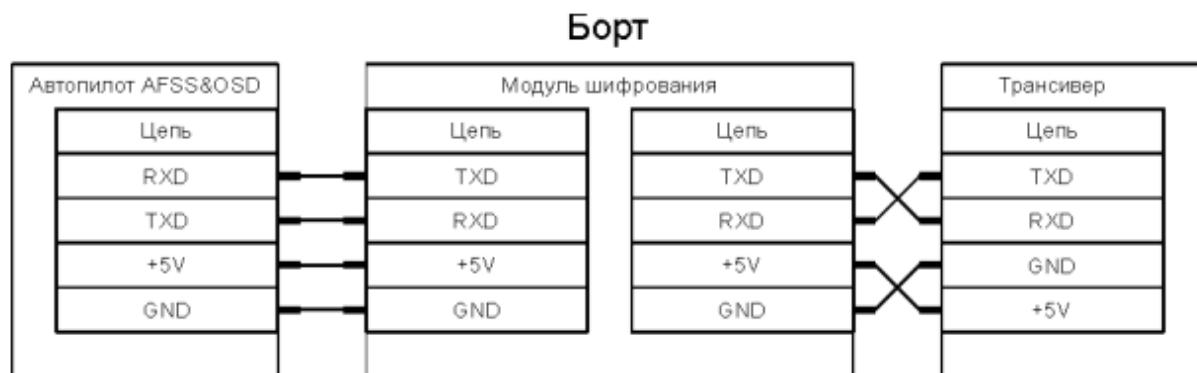


Рисунок 2.15 — Схематичне зображення підключення шифратора в розрив між автопілотом і трансивером

Приймач реалізовано на мікроконтролері (МКВ для борту та МКГ для землі). Вся командно-телеметрична інформація перед відправкою до ефіру проходить через шифратор.

Таким чином, перед відправкою в ефір будь-яких даних, шифратор їх попередньо зашифровує.

При прийомі даних шифратор їх розшифровує.

Оскільки в більшості випадків користувач немає можливість вносити зміни до програми управління БПЛА, то був запропонований варіант «навісний» захист. Суть полягає в тому, що шифратор включається до розрив після бортової/наземної апаратури та перед трансивером. Таким чином, між трансиверами (радіоканал) завжди передається криптографічно захищені дані

Ядро алгоритму — потоковий шифратор, що складається з генератора гами.

Криптографічні примітиви генерують псевдовипадкові послідовності бітів  $k_i$ , яка поєднується з відкритим текстом  $m_i$  за допомогою суми модулю два.

Розшифрування відбувається за допомогою регенерації ключового потоку  $k_i$  та підсумовування з шифрограмою  $c_i$  за модулем два. Внаслідок

властивостей підсумовування за модулем два, на виході ми отримуємо початковий незашифрований текст.

Ініціалізація шифру складається із двох частин:

— ініціалізація ключів;

— генерація псевдовипадкового слова.

Механізм синхронізації та ініціалізації шифраторів Земля — БПЛА — Земля Оскільки за синхронізацію передачі даних радіоканалі «Земля — БПЛА — Земля» відповідають трансивери землі і борту, то залишається завдання синхронізувати ключі у шифраторах. Кожна пара шифраторів (земля та борт) містить у собі однакові стартові статичні унікальні ключі для цієї пари шифраторів. Також кожен сеанс зв'язку передається випадковий сеансовий ключ. Шифратор після отримання сеансового ключа за допомогою алгоритму формування ключів, який має вхідний параметр стартовий статичний ключ формує вектор ініціалізації (ключ), який безпосередньо впливає на генератор гами.

Таким чином виробником шифратора встановлюється унікальний статичний ключ, а всі сеансові ключі генеруються ПЗ користувача та надсилаються радіоканалом. Цей алгоритм дозволяє шифрувати дані по різному і для різних пар шифраторів.

З використанням шифратора одній і тій же команді відповідатимуть зовсім різні інформаційні послідовності. В основі шифратора взятий метод побудови на криптографічних примітивах, ці примітиви генерують випадкову послідовність довільної довжини, за допомогою яких відбувається шифрування даних. Таким чином між шифраторами передаються криптографічно захищені дані. Тому перехоплення криптографічних даних безключів шифрування, буде мало чим корисне зловмиснику, оскільки криптоаналіз це більш складне завдання і тому швидко воно не виконується. Тому перехоплення управління БПЛА для зловмисника є значно складнішою задачею.

## 2.4 Програмне забезпечення платформи

Для реалізації методу автономного управління необхідно розробити програмне забезпечення. Для цього можна застосовувати спеціальне середовище для розробки. Існують різні типи програм для розробки та планування маршрутів в автономному режимі. Залежно від задач можна використувати те програмне забезпечення, яке є найбільш оптимальне і вирішує необхідні задачі. В даному випадку буде застосовуватись програма Mission Planner.

Відмінність польотних контролерів полягає у типах використовуваних компонентів, у тому числі вони складаються, а й у встановлюваному програмному забезпеченні (прошивках). Прошивка, на якій працює польотний контролер — це спеціальний набір правил та алгоритмів, які обробляє мікроконтролер і без неї БПЛА не ввімкнеться та не злетить. Для кожної прошивки розробляється свій програмний інтерфейс для програмування БПЛА.

Конфігуратор — це спеціальна програма з графічним інтерфейсом, за допомогою якої налаштовується (робота датчиків, задаються початкові та максимальні обороти двигуна, змінюються параметри PID, підключається зовнішня периферія тощо) та завантажуються прошивка у польотний контролер. Зберігається прошивка на інтегрованому чіпі флеш-пам'яті.

До найпопулярніших конфігураторів, за допомогою яких можна прошивати та налаштовувати БПЛА відносяться :

- Betaflight Configurator;
- CleanFlight Configurator;
- Raceflight Configurator.
- Ardupilot Configurator.

Істотних відмінностей у роботі в них немає, крім різного інтерфейсу і підтримуваних польотних контролерів.

В роботі буде застосовуватись саме Ardupilot Configurator. Так як він є найбільш оптимальним для вирішення поставлених задач.

## 2.5 Розробка власного методу керування безпілотним літальним апаратом

Проаналізувавши існуючі методи та вимоги до використання безпілотних літальних апаратів — було запропоновано розробку власного комплексного методу, що базується на трьох основних концепціях, які застосовуються найчастіше це:

Метод дистанційного радіокерування в ручному режимі. Це метод полягає в керуванні безпілотним літальним апаратом за допомогою тільки пульта дистанційного керування, частота передачі сигналу має 2.4ГГц або 5.8ГГц.

Метод дистанційного радіокерування в автономному режимі. Керування БПЛА відбувається за допомогою GPS сигналу. Цей метод застосовується для польоту на дальні відстані так як діапазон 2.4ГГц або 5.8ГГц не дають змоги передавати сигнали на далекі відстані.

Метод мультифункціонального керування. Цей метод є найбільш універсальний і застосовується для таких літальних апаратів для яких взліт в автономному режимі є неможливим, або складним в організації. Для цього методу характерно взліт, набір висоти та встановлення курсу польоту в ручному режимі, коли пілот оцінює місцевість і здійснює взліт, потім БПЛА перемикається в автономний режим і здійснює політ по заданому маршруту. Після виконання заданого маршруту БПЛА повертається в зону вильоту і перемикається в режим ручного керування і тоді пілот може здійснити посадку.

В основі роботи будь-якої системи управління лежить наступна послідовність:



- вимірювання стану системи;
- порівняння поточного стану з бажаним;
- вироблення впливу для компенсації відхилення поточного стану від бажаного.

Зазвичай управління БПЛА здійснюється за допомогою бортового комплексу навігації та управління, до складу якого входять наступні компоненти.

Інтегрована навігаційна система, яка містить також приймач супутникової навігації, що забезпечує прийом навігаційної інформації (наприклад, від систем ГЛОНАСС та GPS);

Система давачів та сигналів, що забезпечує визначення орієнтації та параметрів руху БПЛА, а також вимірювання висоти та повітряної швидкості;

Різні види антен та давачів, призначених для виконання завдань;

Модуль автопілота, що забезпечує вирішення таких завдань, як:

- пілотування (автоматичний політ за заданим маршрутом, автоматичний зліт та посадка, підтримка заданої швидкості та висоти польоту, стабілізація в просторі за допомогою кутів орієнтації, посадка у екстрених ситуаціях);

- програмне управління корисним навантаженням та бортовими системами;

Система отримання та передачі інформації.

Бортова система навігації та управління забезпечує БПЛА:

- політ по заданому маршруту (завдання маршруту проводиться із зазначенням координат та висоти поворотних пунктів маршруту);

- зміна маршрутного завдання або повернення до точки старту за командою з наземного пункту управління;

- стабілізацію кутів орієнтації БПЛА;

- підтримку заданих висоти та швидкості польоту;

— збір та передача необхідної інформації та параметрів польоту, а також роботи датчиків.

— програмне керування пристроями цільового обладнання.

На рисунку 2.16 зображено загальну схему системи управління безпілотним літальним апаратом, що представляє собою схему передачі інформації між наземним програмно-апаратним комплексом та, власне, БПЛА, по захищеній лінії зв'язку. Під вхідними даними, що надходять для аналізу та обробки програмно-апаратний комплекс, маєтья на увазі постановка завдання, що виконується.



Рисунок 2.16 — Структурна схема керування БПЛА

Одним з актуальних застосування БПЛА, є завдання забезпечити груповий політ групи безпілотних літальних апаратів одночасно. При вирішенні цього завдання необхідно також врахувати такі питання, як: можливе та допустима кількість безпілотників у групі, вибір методу управління групою безпілотників, можливість та методи синхронного керування групою безпілотних літальних апаратів, забезпечення безпеки польоту, визначення фізичних масштабів групи БПЛА, координація та зв'язок — навігація, прийом та передача даних між кожним БПЛА в групі.

Система управління будується як сукупність штучної нейронної мережі та кінцевий автомат. Нейронна мережа перетворює вхідні речові змінні на логічні, що подаються на вхід кінцевому автоматом. Він, у свою

чергу, виробляє вихідні дії. Для оптимізації цієї моделі використовується генетичне програмування.

Кожен безпілотний літальний апарат керується системою, що складається з нейронної мережі та кінцевого автомата. Таким чином, можна говорити, що використовується мультиагентний підхід — кожен літальний апарат є агентом, взаємодіє із зовнішнім середовищем та іншими агентами. При цьому, нейронна мережа використовується для класифікації значень речових вхідних змінних та вироблення вхідних логічних змінних для автомата, а автомат — для вироблення вихідних впливів на безпілотний літальний апарат.

## 3 ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

### 1.2 Мікропроцесори сімейства STM32

Найбільш важливою складовою будь-якого безпілотного літального апарату є польотний контролер. Найбільш оптимальний для використання польотний контролер — це 32-розрядний або 64-розрядний. Мікроконтролери сімейства STM32 є одним з видів 32-розрядних мікропроцесорів.

STM32 — це сімейство мікроконтролерів, які засновані на 32-бітних ядрах ARM Cortex-M4F, Cortex-M0, Cortex-M3 Cortex-M7, Cortex-M3, Cortex- або Cortex-M0 зі скороченим набором інструкцій. STMicroelectronics (ST) має ліцензію на IP-процесори ARM від ARM Holdings. Дизайн ядра ARM має безліч опцій та параметрів, і ST обирає індивідуальні налаштування для кожного мікроконтролера, при цьому додаючи свої власні периферійні пристрої до ядра мікроконтролера перед перетворенням дизайну в напівпровідникову пластину. У наступній таблиці 2.1 представлені основні серії мікроконтролерів сімейства STM32.

Порівнюючи технічні характеристики STM32 значно переважає Arduino. Тактова частота мікроконтролерів Arduino нижче — 16 МГц проти 72 МГц STM32. У STM32 більше кількість висновків GRIО, а також вищий обсяг пам'яті. STM32 підтримує pin-to-pin сумісність, а саме для заміни одного виробу на інший не потрібно міняти плату. Хоча плати Arduino є більш поширеними і вирішення більшості проблем можна знайти на форумах. Навідміну від STM32 для Arduino існує більше різних модулів, що розширюють функціонал. Незважаючи на переваги, по співвідношенню ціна / якість виграє STM32.

Мікроконтролери сімейства STM32 відрізняється від своїх конкурентів відмінним поведінкою при великому діапазоні температур від -40С до +80 С. На відміну від Arduino — висока продуктивність не зменшується. Також можна знайти вироби, що працюють при температурах до 105С.

Основні переваги мікроконтролерів сімейства STM32:

- зручність використання;
- великий вибір середовищ розробки;
- низька вартість;
- зручне налагоджування мікроконтролера.
- чіпи взаємозамінні – при необхідності у випадку нестачі ресурсів

можна замінити контролер на більш потужний, не змінюючи самої схеми і плати;

- висока продуктивність;

Основні недоліки:

- високий поріг освоєння;
- не так багато документації по STM32;
- немає достатньої кількості бібліотек, на відміну від Arduino.

Продукт франко-японської фірми STMicroelectronics отримав широке поширення, як 32-розрядні мікроконтролери. Вони мають безкоштовне ПЗ, низьку вартість та мають високу зручність програмування. Найбільш продуктивними в сімействі STM32 є мікроконтролери лінійки STM32F4. В

таблиці 2.1 наведено характеристики найбільш відомих моделей контролерів сімейства STM32.

### 1.3 Типи польотних контролерів на базі STM32

Сьогодні розробляється безліч різних типів польотних контролерів для конкретних завдань та видів безпілотників. Розглянемо деякі з них, що використовуються у мультироторних системах.

Таблиця 2.1 — Характеристика серій контролерів STM32

Серія	Тактова частота	Обчислювальна потужність	Ядро	Опис
STM32F0			Cortex-M0	МК початкового рівня.
STM32F1	24/36/48/72		Cortex-M3	МК загального призначення
STM32F2	120	150	Cortex-M3	Високопродуктивні МК
STM32F3			Cortex-M4	Сигнальний процесор DSP, FPU
STM32F4	84/168/180	210	Cortex-M4	Високопродуктивні МК, DSP, FPU
STM32L0			Cortex-M0 +	Низька ціна та споживання
STM32L1			Cortex-M3	Наднизьке

			споживання енергії
STM32T		Cortex-M3	Контролер сенсорного екрану
STM32F3		Cortex-M4	Сигнальний процесор DSP, FPU(для операцій з точкою)

ПК MultiWii — один із перших та широко відомих польотних контролерів для безпілотних літальних апаратів, що зображено на рисунку 3.1. Має відкриті вихідні коди, також має базову інерційну навігаційну систему (триосьовий гіроскоп і триосьовий акселерометр), яка може запрограмована певним вимогам. Має вбудовані датчики тиску (барометр) для визначення висоти та магнітометр для стабілізації курсу. Підтримує пряме підключення модуля GPS, за рахунок чого реалізується точне позиціонування та можливість повного програмування автономного польоту. Підходить для аерофото/відеозйомки, можливе підключення Bluetooth або радіомодему.

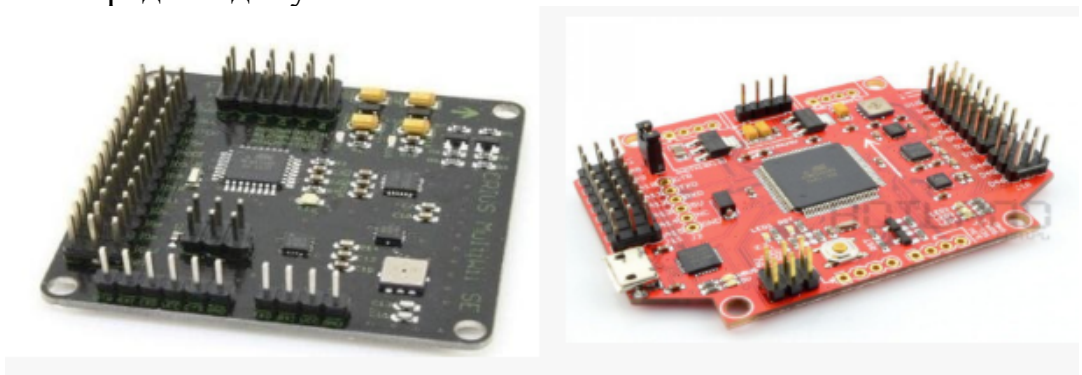


Рисунок 3.1 —Контролери MultiWii

ПК Pixhawk — один із найбільш функціональних польотних контролерів з відкритим вихідним кодом та архітектурою, що зображено на рисунку 3.2. Побудований на сучасній елементній базі, насамперед 32-бітний мікроконтролер STM32 на основі ядра ARM7 [10]. Базова інерційна навігаційна система включає в себе триосьовий гіроскоп і триосьовий акселерометр, так само високоточний барометр і магнітометр. Польотний контролер оснащений додатковим мікроконтролером (резервною системою), що працює на окремому ланцюгу живлення, передбачений на випадок відмови основного. Можливість підключення додаткової периферії через протоколи обміну (UART, CAN, I2C, SPI). Модуль GPS для автономних польотів за заданими координатами та підтримка MicroSD (чорна скринька) для запису польотної інформації.

ПК XRacer F3 — польотний контролер заснований на поколінні мікропроцесорів серії F3, та розроблений спеціально для FPV гонок, що надає більше можливостей щодо гнучкого настроювання польотних параметрів, що зображено на рисунку 2.13. Має мінімум розширених функцій, гіроскоп та акселерометр, барометр та магнітометр не використовуються при FPV гонках. Два послідовні порти UART 1 і 2 і один окремий порт SBUS (він UART3), вісім контактних майданчиків для моторів, встановлений чіп пам'яті на 16МБ для налаштування ПІД коефіцієнтів і окрема кнопка для прошивки завантажувача.



Рисунок 3.2 — Контролер Pixhawk

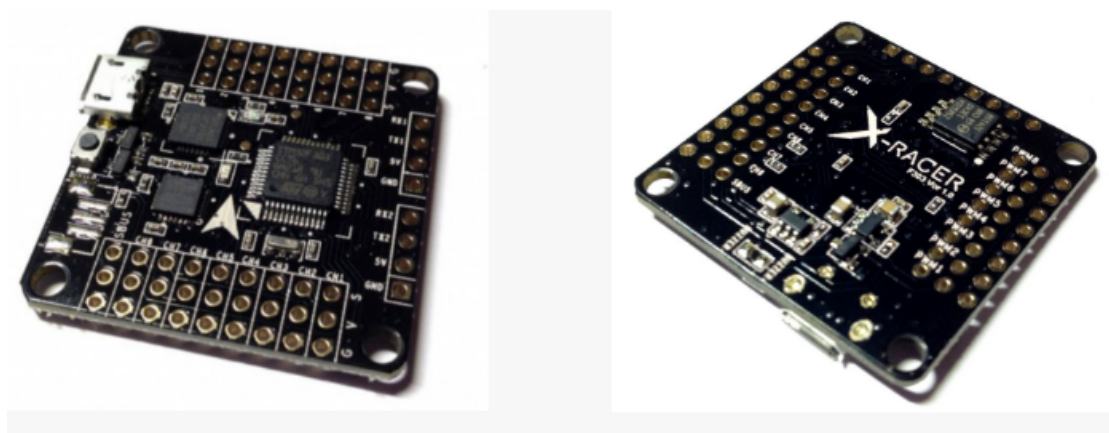


Рисунок 3.3 — XRacer F3

### 3.1 Характеристика мікропроцесорної платформи

Базуючись на попередній пунктах було обрано саме польотний контролер Pixhawk 4, так як саме він базується на мікропроцесорі STM32.

Контролер Pixhawk 4 заснований на високопродуктивному 32-бітному ядрі RISC Arm Cortex-M4, що працює на частоті до 168 МГц. Ядро Cortex-M4 має єдиничну точність одиниці з плаваючою точкою (FPU), яка підтримує всі інструкції та типи обробки даних з одною точністю Arm. Він також реалізує повний набір інструкцій DSP та блок захисту пам'яті (MPU), що підвищує безпеку додатків. Також він включає високошвидкісну вбудовану пам'ять (флеш-пам'ять до 1 Мбайт, до 192 Кбайт SRAM), до 4 Кбайт резервної SRAM, а також широкий діапазон вдосконалених входів / виходів та периферійних пристроїв, підключених до двох APB шини, три шини AHB та 32-розрядна матриця шин з декількома AHB.

Всі пристрої пропонують три 12-розрядних АЦП, два ЦАП, малопотужний RTC, дванадцять 16-розрядних таймерів загального призначення, включаючи два ШІМ-таймери для управління двигуном, два загальних 32-розрядних таймери. справжній генератор випадкових чисел (RNG). Вони також мають стандартні та вдосконалені комунікаційні інтерфейси[12].



У плати є всі необхідні компоненти для забезпечення роботи мікроконтролера. Досить підключити *USB* кабель до комп'ютера і подати живлення. Мікроконтролер встановлений на колодці, що дозволяє легко замінити його в разі виходу з ладу. На рисунку 3.1 зображені компоненти, входи та виходи плати.

Характеристики мікроконтролера *Pixhawk4* наведені в таблиці 3.1. Опис схеми наведено в Додатку Ж.

### 3.2 Розробка структурної схеми

Після того як було підібрано необхідні компоненти – необхідно розробити та спроектувати структурну схему пристрою.

Структурна схема — схема, яка визначає основні функціональні частини виробу, їх взаємозв'язки та призначення. Під функціональною частиною розуміють складову частину схеми: елемент, пристрій, функціональну групу, функціональну ланку. Структурну схему мікропроцесорної системи автоматичного регулювання освітлення зображена на рисунку 3.4.

Таблиця 3.1 — Характеристики мікроконтролера *Pixhawk4*

Мікроконтролер	STM32
Робоча напруга	9В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (гранична)	6-20В
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)

Аналогові входи	6
Струм одного входу/виходу	20 мА
Струм виходу 3.3V	50 мА
Flash-пам'ять	Від 32 КБ до 128 КБ
SRAM	Від 6 КБ до 12 КБ
Тактова частота	36МГц
RAM	128КБ

Основою МПС є контролер F405-CTR. Контролер приймає сигнал від ультразвукового давача і радіоприймача.

Ультразвуковий давач відповідає за визначення відстані до перешкоди.

Сигнал управління апаратури — це сигнал який надходить від апаратури. Пілот в ручному режимі керує БПЛА, таким чином він самостійно передає команди на приймач.

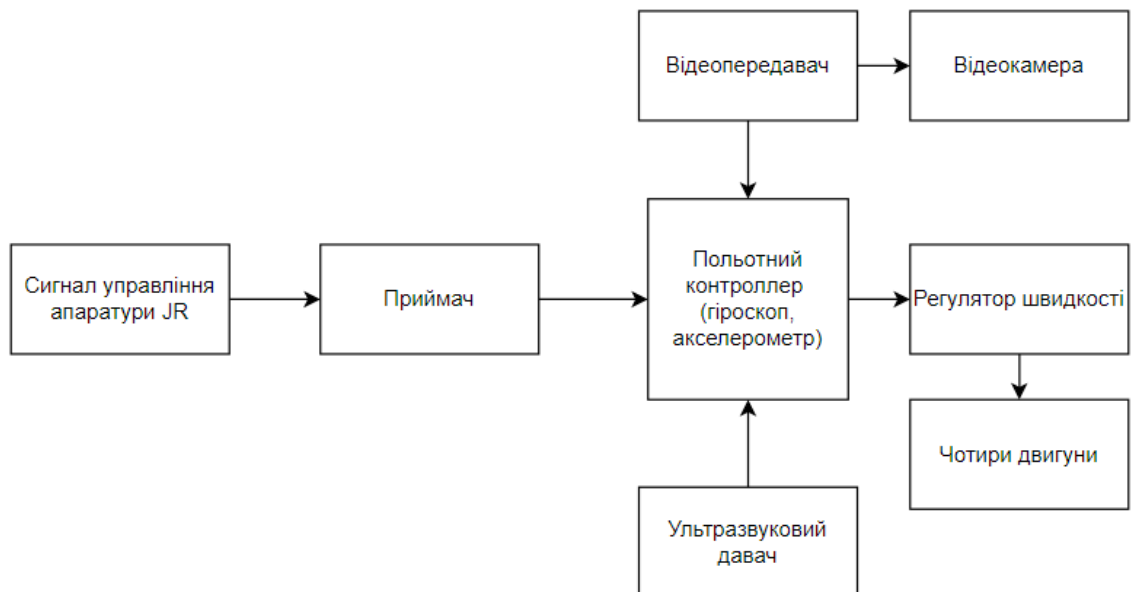


Рисунок 3.4 — Структурна схема БПЛА

Приймач —це мікросхема, яка є декодером сигналу, його основна мета прийняти та розшифрувати сигнал від передавача і передати розшифрований сигнал далі на польотний контролер.

Польотний контролер може приймати сигнали як від приймача, коли БПЛА керується в ручному режимі, так і від ультразвукового давача. Контролер може працювати з вхідними імпульсними сигналами в залежності від відстані. Також польотний контролер F405-CTR корегує траєкторію руху квадрокоптера, а саме не дозволяє квадрокоптера рухатись в конкретному напрямку лише в тому випадку, коли ультразвуковий давач зафіксував перешкоду.

В контролері є також гіроскоп. Гіроскоп —це пристрій, здатний реагувати на зміну кутів орієнтації тіла, на якому встановлено, щодо інерціальної системи відліку. І прилад, що вимірює проекцію удаваного прискорення, акселерометр. Далі сигнал поступає на регулятор швидкості.

Регулятор швидкості — це пристрій для управління оборотами електродвигуна. Так як БПЛА має чотири двигуни, то він матиме чотири регулятора швидкості. Кожен регулятор буде відповідати за швидкість і напрям обертання пропелера на електродвигуні.

Після побудови структурної схеми потрібно побудувати електронну схему, а для цього потрібно використати необхідні електронні компоненти.

### 3.3 Вибір та характеристика основних компонентів безпілотного літального апарату

#### 3.3.1 Регулятор швидкості

Регулятор швидкості —це пристрій призначений для регулювання обертів електродвигуна. Він приймає сигнал від польотного контролера. Так як в квадрокоптера чотири двигуни, тому використовується і чотири регулятора швидкості, кожен з яких регулює кількість обертів електродвигуна, до якого він підключений.



Рисунок 3.5 — Структура плати STM32F405

Для даного БПЛА буде використовуватися регулятор швидкості HOBBYWING XRotor 15A OPTO 2-4S. Регулятор зображено на рисунку 3.5. Основні характеристики регулятора швидкості наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Характеристики регулятора ходу

Максимальний струм	20A
Номінальний струм	15A
частота	від 50 до 500 Гц
вага	10 г
Живлення	2-4S літій-полімерний акумулятор
Розмір	47мм×17мм×8.3мм



### Рисунок 3.5 — Регулятор швидкості DYS XSD

#### 3.3.2 Відеопередавач

Бездротові приймач і передавач відеосигналу —пристрої, що дозволяють зробити з провідної системи відеоспостереження бездротову. Принципи роботи цих пристроїв простий — камера підключається до передавача, відеореєстратор або плата — до приймача. І передача відеосигналу здійснюється без проводів. Бездротова передача відеосигналу досить специфічний процес. Параметри бездротових передавачів і приймачів абсолютно не характерні для стандартних характеристик систем відеоспостереження[13]. В даному випадку використовується цифрова передача сигналу. Відео передавач зображено на рисунку 3.6.

Передавач DYS Mi200 має два режими потужності 25mW (LED червоного кольору) і 200mW (LED синього кольору), за замовчуванням встановлений режим 200mW.

Додатково VTX можна запрограмувати через радіоапаратури (Taranis або QX7), оснащені приймачем X4R, для зміни режимів і каналів.

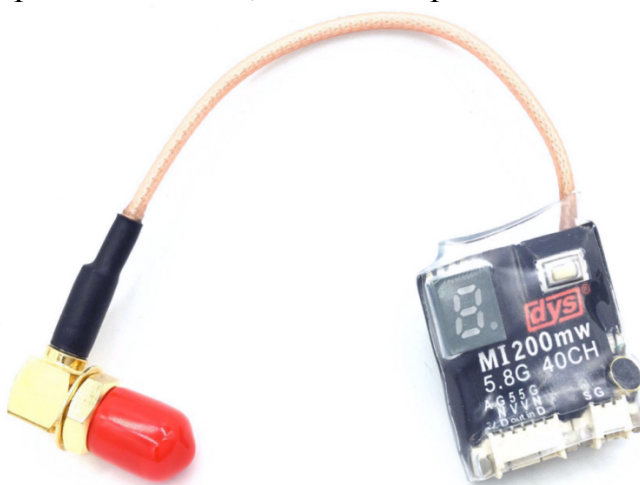


Рисунок 3.6 — Відеопередавач DYS Mi200 25-200mW

#### 3.3.3 Двигун

Для даного БПЛА використовується безколекторний електродвигун постійного струму RaceStar BR2205/1100KV. Двигун характеризується кількістю обертів на дин вольт без навантаження на валу. Для того щоб отримати максимальну кількість обертів без навантаження на вал, потрібно цей показник помножити на максимальну напругу. Детальна характеристика електродвигуна наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 —Характеристика електродвигуна

Вид	безколекторний
Модель	X2216 KV880
Зовнішній діаметр статора	22мм
Внутрішній діаметр статора	16мм
Кількість обмотків	14
Потужність	2300KV
Струм холостого ходу	0.5A
Максимальна безперервна потужність	320
Максимальний безперервний струм	20A/30S
Вага	70г
Діаметр якоря	27.7мм
Діаметр вала	3.175мм
Довжина вала	34мм

Для квадрокоптера буде використано чотири електродвигуна, що зображено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 — Електродвигун RaceStar BR2205

### 3.4 Встановлення та налаштування GPS приймача

Наступним кроком буде встановлення та налаштування GPS приймача. Для налаштування потрібно розмістити антену зверху так як це дозволяє краще налаштувати орієнтацію в просторі. GPS повинен бути розташований на відкритому просторі і як можна далі від електроніки, що відповідає за телеметрію, відео передавач, двигунів та пропелерів.

Модуль GPS з компасом працюють з поточною версією APM: літака та квадрокоптера. Проте слід пам'ятати, що GPS модуль не працює версією 2.91b та ранньою версією контролера Pixhawk. Модуль GPS з бортовим компасом сумісний з APM 2.6 і включає кабелі, щоб підключити модуль GPS для APM 2.6, далі необхідно підключити порт GPS до порту APM GPS та підключити компас порту в APM I2C.

GPS модуль встановлюється окремо від контролера польоту APM, щоб він міг краще побачити небо і дозволити компасу дистанціюватися та стабілізуватись від втручання магнітних полів, створених іншою електронікою.

При встановленні GPS модуля необхідно виконати наступні дії.

Розмістити модуль на зовнішній стороні пристрою. Краще це зробити в піднятому положенні. Модуль повинен мати видимість неба та бути подалі наскільки це можливо, від двигунів та їх регуляторних (ESC) з напрямком стрілки вперед.

Модуль потрібно встановити на кілька сантиметрів від бортового живлення та проводів, а також від залізних предметів.

Необхідно використовувати немагнітні нейлонові сполуки або кріплення з нержавіючої сталі.

Живлення повинно бути заземлено.

Кожен GPS-модуль має щонайменше 4 контакти: VCC, RXD, TXD, GND. Потрібно підключити модуль до контролера APM 2.5.x та 2.6 наступним чином: зміни VCC та GND-BEZ, а RXD та TXD змінюють місця.

Далі на рисунку 3.8 схематично зображено, як GPS-модуль повинний бути підключений по пінах, а на рисунку 3.9 зображується відповідність пінів, які необхідно підключити на польотному контролері.

Таблиця 3.4 — Схема підключення модуля до контролера

APM 2.5.x	Модуль GPS
RXD	TDX
TDX	RXD
VCC	VCC
GND	GND

Після того, як GPS-модуль підключений до контролера, потрібно підключити контролер до ПК через USB за винятком того, що тепер модуль GPS знаходиться в ланцюзі. На пристроях світлодіоди повинні освітлювати, запустити програму MP, натисніть кнопку «Підключення». Наступним кроком буде налаштування програми Mission Planner.



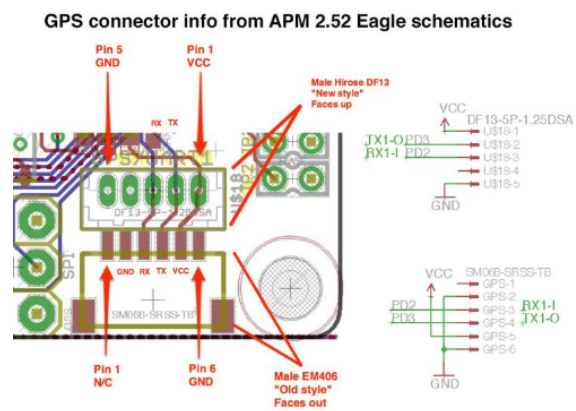


Рисунок 3.8 — Схема підключення до GPS модуля

### 3.5 Налаштування програми Mission Planner

Mission Planner — наземна станція керування літаками, вертольотами та роверами. Він сумісний лише з Windows. Mission Planner можна використовувати як утиліту конфігурації або як додаток до динамічного керування вашим автономним транспортним засобом. Mission Planner дозволяє запрограмувати наступні задачі:

Завантаження програмного забезпечення в польотний контролер, в даному випадку це Pixhawk 4, який керує літальним апаратом.

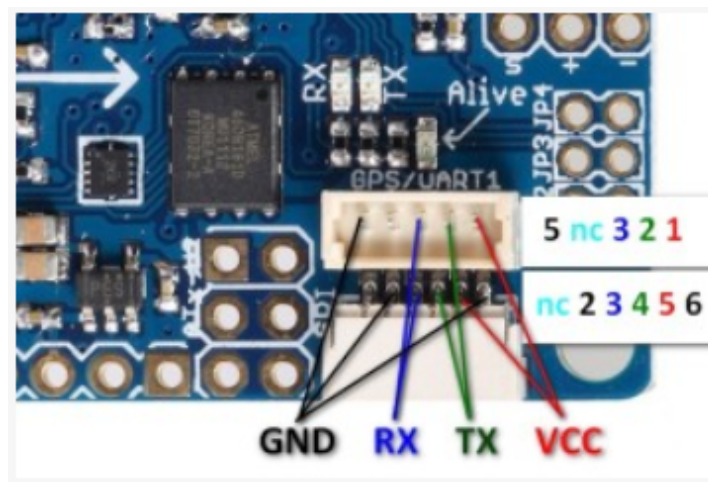


Рисунок 3.9 — Відповідність підключення до польотного контролера

Планування зберігання та завантаження автономної місії, створеної автопілотом.

- інтерфейс із симулятором польоту на ПК для створення повного апаратного симулятора БПЛА.

- дані, які отримуються з телеметрії можна контролювати в режимі реального часу та записувати в журнал телеметрії,

- можливість керувати пристроєм у FPV (вид від першої особи)

Для того, щоб налаштувати автопілот потрібно, завантажити останню версію Mission Planner.

Потім потрібно завантажити прошивку для АРМ. Прошивка для АРМ - це головна складова у роботі автопілота, який створюється та підтримується з відкритим кодом. Завантажити свіжу прошивку є однією з важливих частин первинних установок, а також корисно при оновленні існуючої прошивки. Для завантаження прошивки потрібно виконати наступні кроки.

Підключаємо АРМ до комп'ютера. Windows автоматично ідентифікує АРМ та встановить необхідні драйвери,

Підключаємо АРМ до Mission Planner. Далі необхідно вказати порт, який використовується для підключення до АРМ. Використовуючи список Drop -Down -у верхньому правому куті екрана (поруч із кнопкою підключення) вкажіть порт для підключення до АРМ. Виберіть Pixhawk 4 та виберіть 115200. Не натисніть Натисніть Connect

Для того щоб вибрати прошивку потрібно перейти в Initial Setup -> Firmware. Залежно від конфігурації вашого пристрою, натисніть на зображення необхідної конфігурації. Далі після того як було вибрано кадр для скачування прошивки Mission Planner автоматично знайде нову версію для вашого пристрою та запропонує завантажити його в АРМ.

Натиснемо на кнопку «Connect » (у верхньому правому куті

програми), щоб завантажити параметри Mavlink з APM. ПО Mission Planner покаже процес завантаження параметрів. Після завантаження параметрів Mavlink у ПО Mission Planer — можна побачити дані, отримані в режимі реального часу. Потрібно переконайтеся, що вони передаються та переміщення контролера польоту відображаються в програмі.

Після завантаження нової п'єрошивки необхідно вивчити зміни, а також здійснити калібрування датчиків.

### 3.6 Налаштування обладнання для APM

У рамках початкової установки потрібно налаштувати необхідні апаратні компоненти за допомогою Mission Planner. До першочергових налаштувань відноситься налаштування радіопередавачів, компаса та акселерометра.

Для початку в Mission Planner вибираємо тип рами БПЛА. В даному випадку використовуємо стандартний тип рами X. Необхідно виконати такі команди, як зображено на рисунку



Рисунок 3.10 — Інтерфейс ПЗ Mission Planner для вибору типу рами БПЛА

### 3.6.1 Калібрування компасу

Для виконання основної калібрування компаса необхідно виконати дії в наступній послідовності

Потрібно в Mission Planner в меню Initial Setup вибрати Compass, а далі вибрати правильну орієнтацію для встановлення. Приклад зображено на рисунку 3.11.

Переконайтесь, що компас включається та встановлюється у Enable и AutoDec.

Натисніть кнопку "Live Calibration". Вікно повідомлення скаже вам, що у вас є 60 секунд, щоб обернути АРМ навколо всіх осей, натисніть кнопку ОК.

З'явиться вікно, яке покаже, що здійснюється збір даних з компасу.

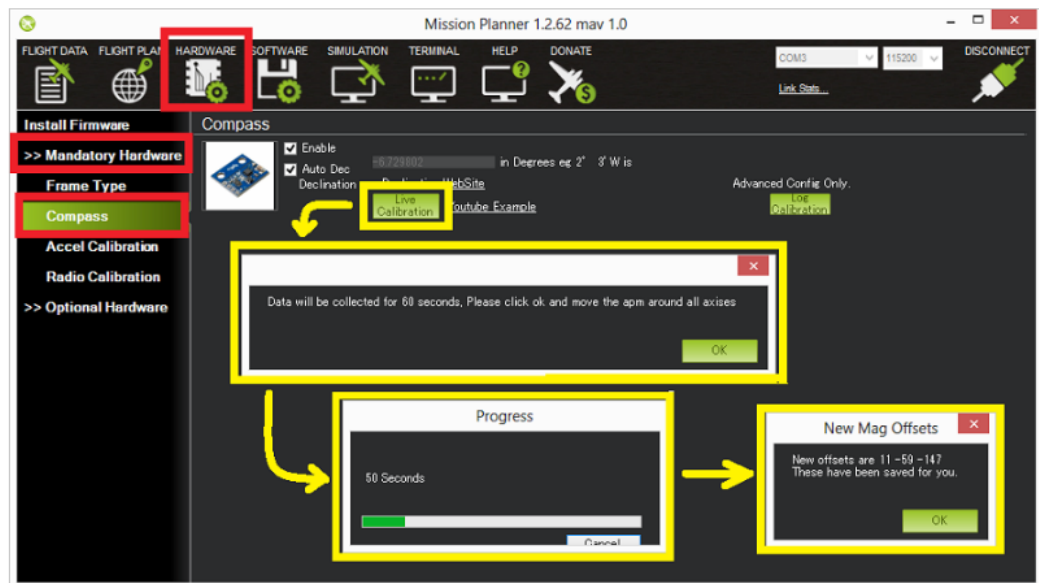


Рисунок 3.11 — Схема калібрування компасу

Протягом наступних 60 секунд потрібно утримувати квадрокоптер у повітрі, і повертайте його повільно, так що кожна сторона (спереду, ззаду, зліва, справа, зверху і знизу) вказувала вниз до землі протягом декількох секунд. На рисунку зображено приклад як потрібно калібрувати квадрокоптер.



Рисунок 3.12— Положення БПЛА для калібрування компаса

Після завершення з'явиться ще одне вікно, яке покаже нові розраховані зміщення вимірювань компаса.

Для АРМ всі три значення від -150 до 150 усунення є хорошими.

Натисніть "ОК"

Калібровка компаса завершена і тому наступним кроком потрібно налаштувати акселерометр.

### 3.6.2 Калібрування акселерометра

Для калібровки акселерометра у Mission Planner потрібно вибрати розділ Init Setup, а далі вибрати Accel Calibration у меню зліва.

Процес калібровки акселерометра вимагатиме розмістити безпілотник у послідовних положеннях, які попросить програма. Ці положення рівня є важливими, оскільки контролер визначає рівень під час польоту.

Приклад позицій калібровки акселерометра, який необхідно налаштувати зображено на рисунку 3.13.

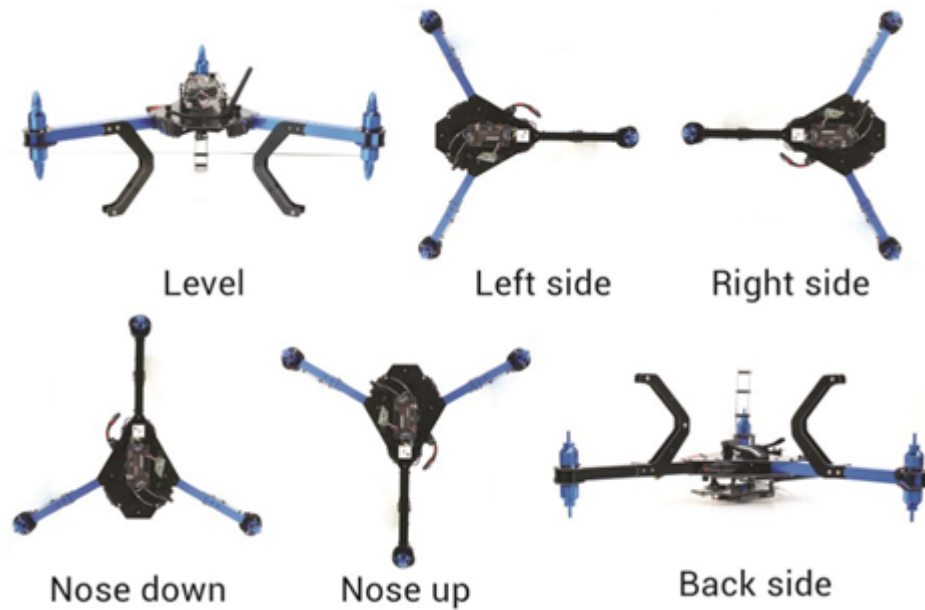


Рисунок 3.13— Положення БПЛА для калібрування компасу

В меню вибираємо Accel Calibration, як зображено на рисунку 3.14.

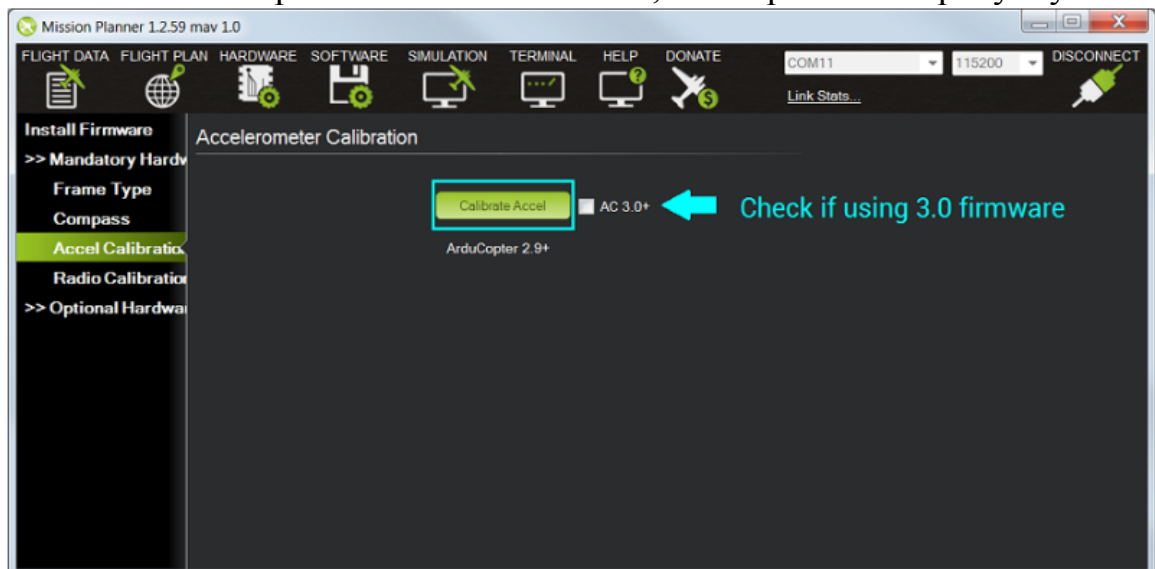


Рисунок 3.14 — Схематично зображено меню калібровки

Важливо не переміщати безпілотник відразу після натискання клавіші кожного кроку. Для кращої калібровки безпілотник потрібно тримати в зафіксованому положенні, яке вказує Mission Planner.

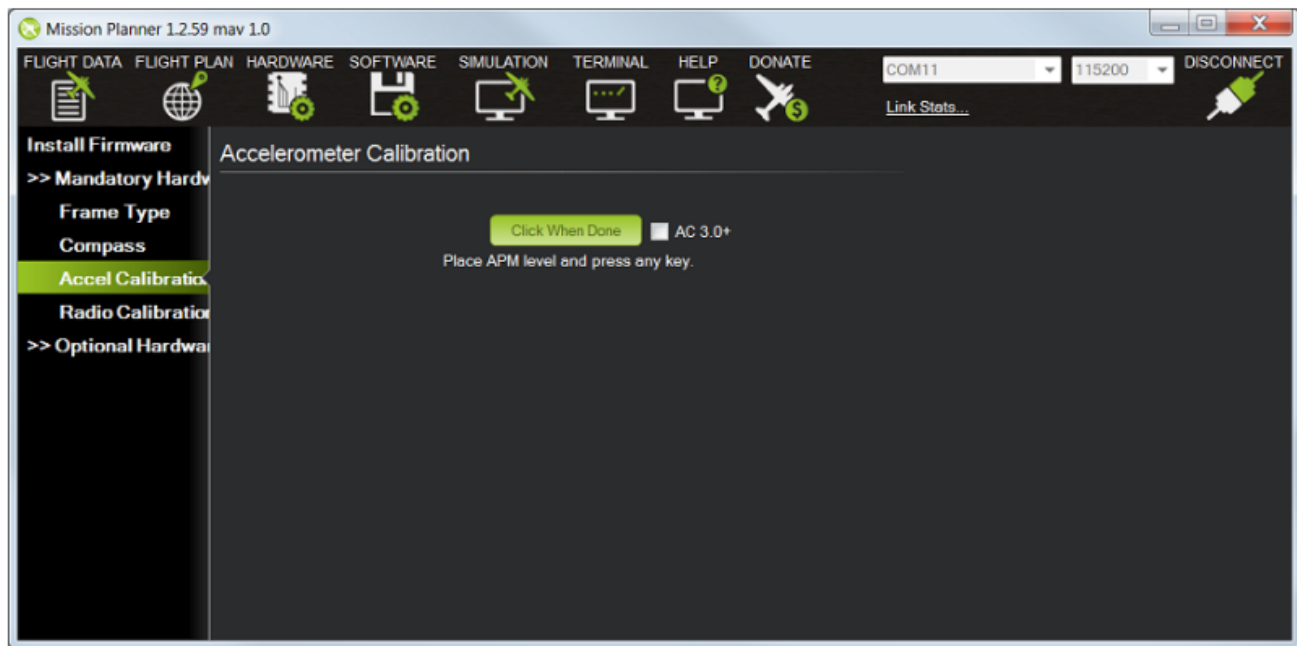


Рисунок 3.15 — Схематично зображено меню калібровки

Наступним етапом потрібно відкалібрувати радіокерування.

### 3.6.3 Калібрування радіоуправління безпілотною літальною апарату

Для апаратури Mode 2 лівий джойстик (стік) керуватиме обертами двигуна(throttle) та рискання (Yaw); правий — контролюватиме крену (Roll) і тангажу.

Для будь-якого типу передавача, трипозиційний перемикач має бути підключений до 5-го каналу та контролюватиме режими польоту.

За бажанням ручки налаштування передавача повинні контролювати канал 6 для налаштування польоту. 7 та 8 канал можуть бути використані для допоміжних функцій. У Mission Planner, натисніть кнопку "Калібрування Радіо" у нижній правій частині вікна. Mission Planner викличе діалогове вікно з попередженням, що пропелери повинні бути зняті.

Меню калібровки зображено на рисунку 3.16.

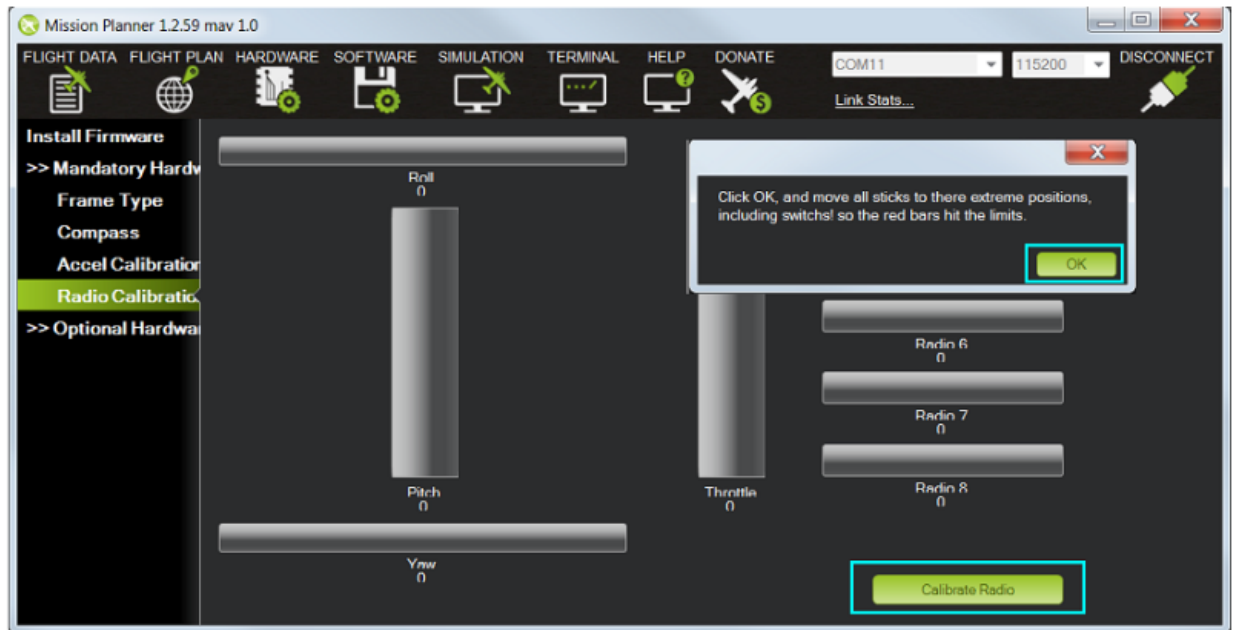


Рисунок 3.16 — Меню калібровки радіоапаратури.

Для калібровки необхідно переміщати ручки керування та тумблерами на апаратурі до їх межі та спостерігайте за результатом калібрувальних кордонів радіо. Червоні лінії калібрувальних барів, що з'явилися, вказують на максимальне і мінімальне значення.

Ваш передавач повинен навести такі зміни управління:

- радіоканал 1 — низький(рол зліва), високий (рол прямо);
- радіоканал 2 — низький(крок уперед), висока(крок назад);
- радіоканал 3 — низький( дросельна заслінка вниз (у вимкненому стані)), високий( дросельна заслінка до максимуму).
- радіоканал 4 — низький(рискання вліво), високий(рискання вправо).

Процес калібрування зображено на рисунку 3.17

Коли червоні лінії для крену, тангажу, дроселя, нишпорення та радіоканалу 5 (необов'язково у радіоканалів 6, 7 та 8) встановлено на мінімальних та максимальних значеннях, виберіть натисніть "Done". Mission Planner покаже зведення даних калібрування. Нормальні значення близько 1100 для мінімумів та 1900 для максимумів. Якщо значення



показання бару йдуть у протилежному напрямку від напрямку руху стику або тумблера, це означає, що канал знаходиться в інверсії на стороні передавача. Використовуючи меню апаратури, налаштуйте потрібний канал (встановіть або зніміть інверсію) щоб встановити правильне функціонування.

### 3.6.4 Калібрування регуляторів швидкості

Електронні регулятори швидкості відповідають за швидкість обертання двигунів, які регулюються польотним контролером. Більшість регуляторів повинні бути відрегульовані так, щоб знати мінімальне та максимальне значення ШІМ, що посилає польотний контролер. Розглянемо інструкцію з калібрування ESCs. Калібрування регуляторів швидкості моторів ESC здійснюється лише після калібрування радіоапаратури, так як калібрування регуляторів здійснюється за допомогою пульта дистанційного керування.



Рисунок 3.17 — Процес керування радіо апаратури

Перед калібруванням регуляторів ESC, необхідно, переконатися, що БПЛА не має пропелерів, і що АРМ не підключений до комп'ютера через USB та батарея LiPo вимкнена.

Увімкніть апаратуру та встановіть стік газу на максимум.

Підключіть акумулятор LiPo. На польотному контролері АРМ почнуть циклічно загорятися червоний, синій та жовтий світлодіоди. Це означає, що АРМ готовий перейти в режим калібрування ESC наступного разу, коли ви увімкнете його знову.

Залиште стік газу на максимумі та перепідключіть батарею (вимкніть і знову увімкніть).

Для Pixhawk 4 натисніть і утримуйте кнопку безпеки, поки діод не загориться червоним кольором.

Автопілот увійде до режиму калібрування ESC. (На ньому ви помітите, як синій та червоний світлодіоди почнуть блимати послідовно, як на поліцейських автомобілях).

Заберіть стік газу до мінімального положення.

Регулятори повинні видати довгий гудок, який вказує на те, що мінімальне положення стику газу було встановлено і калібрування закінчиться.

Якщо ви чули довгий сигнал, який вказує на успішне калібрування, це означає, що регулятори зараз активні і якщо трохи подати газу мотори почнуть обертатися. Перевірте, що двигуни обертаються, піднімайте газ трохи і прибирайте його.

Встановіть стік газу на мінімум і вимкніть LiPo батарею, щоб вийти з режиму калібрування ESC.

### 3.6.5 Налаштування двигунів

Останнім кроком необхідно налаштувати двигуни. Квадрокоптери вимагають обертання двигунів у певних напрямках залежно від конфігурації.

Налаштовуючи БПЛА необхідно переконатися в правильному обертанні кожного двигуна. Напрямок обертання двигунів (за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки), що визначається підключенням до регулятора ESC.

Подавши невелику кількість газу, можна спостерігати напрям руху кожного двигуна. Мотори повинні обертатися, як зазначено на рисунку 3.18.

### 3.7 Програмування маршруту для автономного керування безпілотним літальним апаратом

Для польоту в автономному режимі необхідно правильно налаштувати режим автопілота. Саме налаштування автопілота буде відбуватись в програмі Mission Planner. Розглянемо приклад планування місії, де задаємо полігон точок(координат) і по цих координатах будемо маршрут. На рисунку зображено інтерфейс програми Mission Planner для побудови маршрутів. Інтерфейс є інтуїтивно зрозумілим і широкофункціональним, так як є можливість підлаштовувати маршрут під будь-яку місцевість.



Рисунок 3.18 — Схема налаштування напрямів обертання двигунів для відповідного типу рами

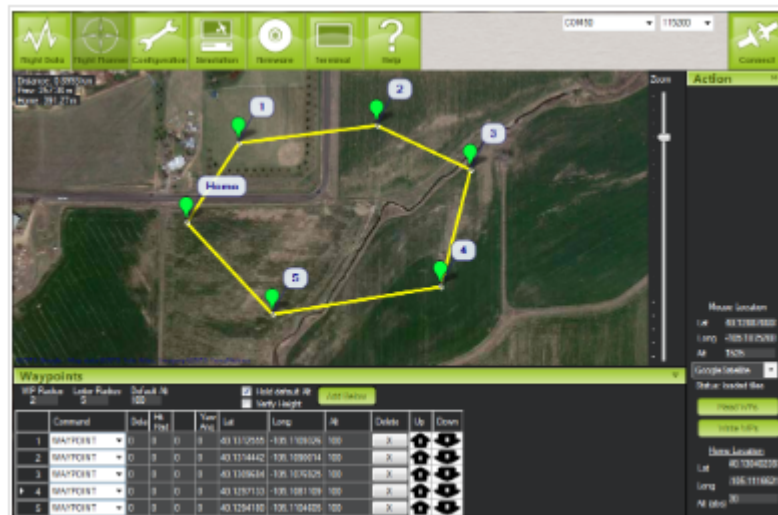


Рисунок 3.19 — Інтерфейс побудови маршруту в середовищі Mission Planner

Розглянемо покроково, як можна побудувати і налаштувати маршрут.

Додаємо шляхові точки подвійним клацанням на карті, куди потрібно додати маршрутну точку. Таблицю в нижній частині екрана можна використовувати для зміни маршрутної точки або типу команди і порядку точки в полігоні. Можна вводити шляхові точки та інші команди. У випадаючих меню в кожному рядку вибираємо потрібну команду. Заголовок стовпця зміниться, щоб показати, які дані вимагає ця команда. Широту та довготу можна ввести, клацнувши на карті. Висота залежить від висоти старту. Встановивши 100 м, БПЛА пролетить на 100 м над точкою старту.

Встановлюємо вихідну позицію, клацнувши на широті або довготі дому, а потім клацнувши на карті. Або, якщо карта ще не розташована в центрі поля, до якого потрібно переміститися, то можна знайти її, натиснувши кнопку «Збільшити» та ввівши своє місцезнаходження у вікні пошуку, як показано на рисунку.

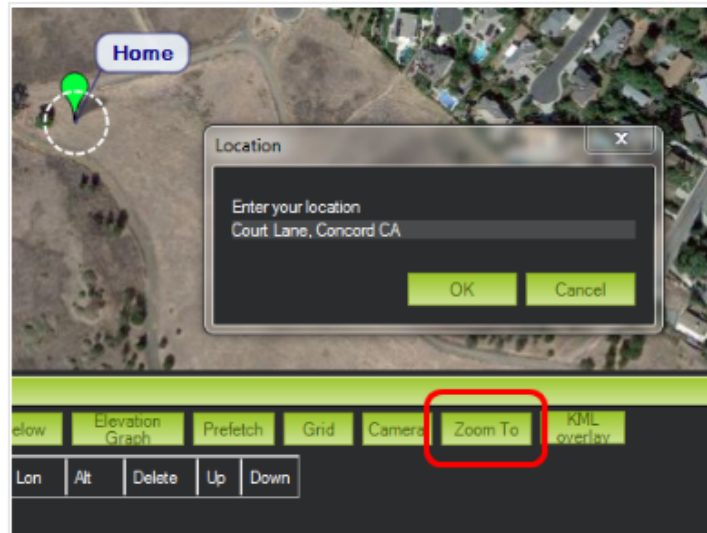


Рисунок 3.20 — Налаштування поточної позиції або точки старту

Після того як було встановлено вихідну позицію, з'являється модальне вікно для повного налаштування позицій маршруту на карті, що зображено на рисунку. З рисунку потрібно звернути увагу на наступні поля:

«Default Alt» — це висотою за замовчуванням під час введення нових маршрутних точок. Це також висота, на якій літатиме режим RTL (повернення до старту), якщо ви позначили «Утримувати стандартний ALT»; якщо ви не встановили цей прапорець, ваш літак намагатиметься зберегти висоту, на якій він був, коли ви ввімкнули RTL. Можна задавати також для кожної точки власну висоту і саме це і дозволяє підлаштовувати БПЛА до будь-якої місцевості і виконання різноманітних задач.

«Verify height» означає, що Mission Planner використовуватиме топологічні дані Google, щоб налаштувати необхідну висоту в кожній точці маршруту відповідно до висоти землі під нею. Отже, якщо вибрана маршрутна точка знаходиться на пагорбі і вибрано цей параметр, Mission Planner збільшить ваші налаштування ALT на висоту пагорба. Це правильний спосіб переконатися, що буде уникнено зіткнення з перешкодою з перешкодою.

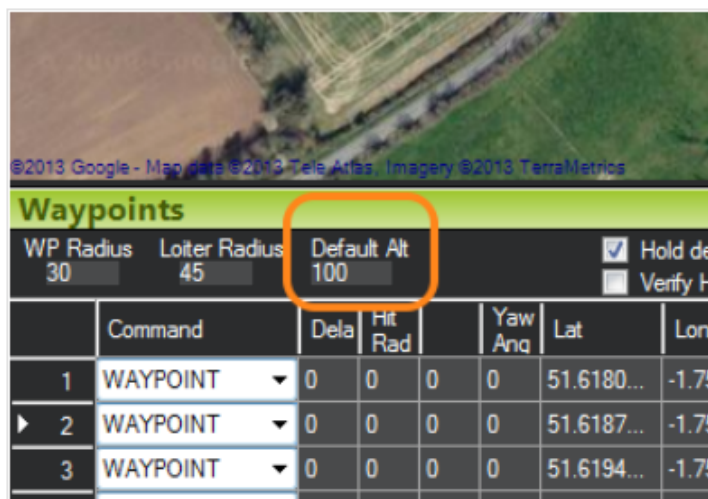


Рисунок 3.21 —Налаштування позицій на карті

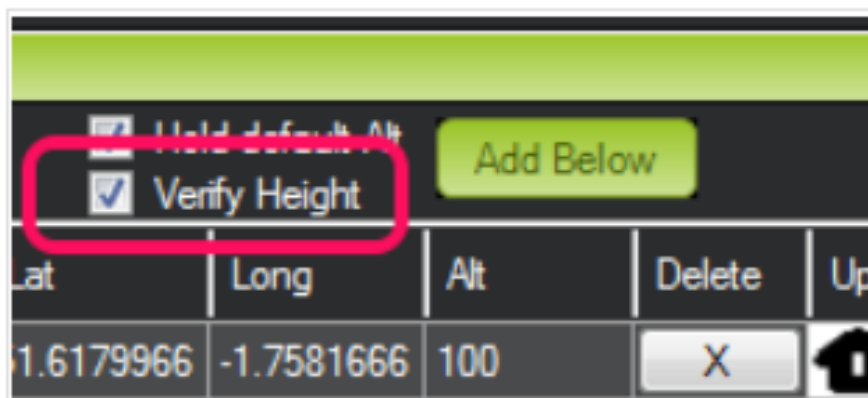


Рисунок 3.22 —Перевірка висоти за допомогою Google карт

Якщо маршрут побудований і всі первинні налаштування налаштовані, то потрібно вибрати пункт «Записати», і вона буде надіслана в АРМ і збережена в EEPROM. Також можна підтвердити, що все так, як потрібно перевірити, потрібно вибрати «Edit» і відкрити меню редагування. Можете зберегти декілька файлів місії на локальному жорсткому диску, вибравши «Зберегти файл WP» або прочитати файли за допомогою «Завантажити файл WP» у меню, як зображено на рисунку 3.23.



Рисунок 3.23 — Приклад збереження та редагування маршруту

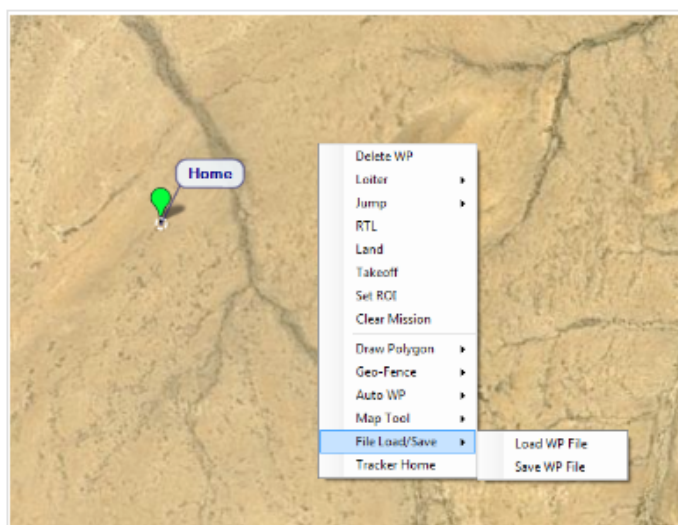


Рисунок 3.24 — Приклад запису маршруту

Отже було розглянуто приклад побудови маршрута, коли координати налаштовуються вручну і маршрут має довільну траєкторію. Але окрім цього Mission Planner дозволяє створювати маршрут автоматично, особливо це корисно для знімання місцевості та побудови карт місцевості на основі відзнятих даних, де БПЛА має просто рухатися туди-сюди за схемою «газонокосарки» над областю, щоб зібрати фотографії, як зображено на рисунку 3.25.

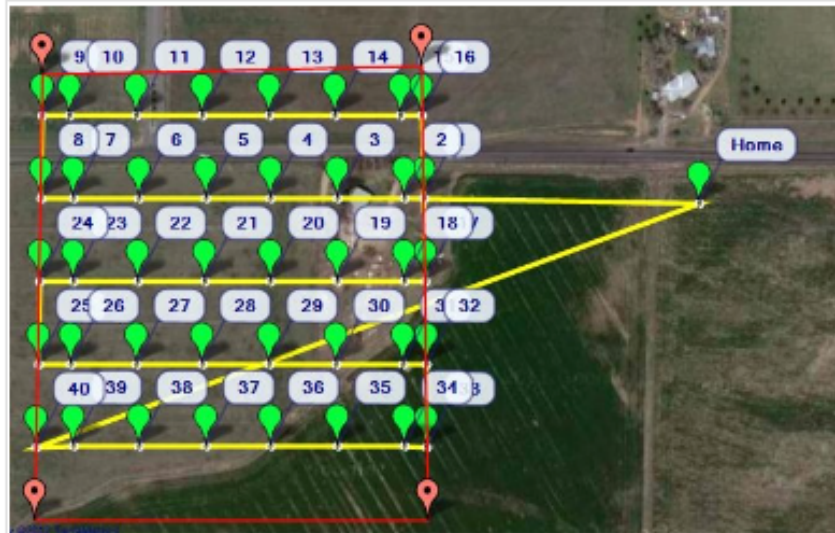


Рисунок 3.25 — Побудова автономного маршруту в середовищі Mission Planner

Для побудови автономного маршруту потрібно відкрити меню та вибрати «Багатокутник» і намалювати на карті прямокутник навколо області, яку потрібно відобразити. Далі вибираємо Auto WP, Grid. Вказуємо в діалоговому вікні висоту, яка буде загальна для всіх точок області, а також довжини прямокутної області. Потім Mission Planner створить маршрут, який виглядає приблизно так, як на рисунку 3.22.

### 3.8 Написання сценаріїв на Ardupilot

ArduPilot представив підтримку сценаріїв Lua. Сценарій забезпечує безпечне середовище для додавання нової поведінки в автопілот без зміни основного коду польоту. Скрипти зберігаються на SD-карті та виконуються паралельно з кодом польоту.

На цій сторінці описано, як налаштувати сценарії на вашому автопілоті, API сценаріїв, аплети сценаріїв, а також кілька прикладів, які допоможуть розпочати роботу.



Хоча сценарії зазвичай потребують принаймні деякого програмування та редагування LUA, є деякі доступні аплети, які не потребують редагування користувачем і готові до використання.

Луа —це імперативна мова програмування. Сценарії виконуються з низьким пріоритетом у системі, що гарантує, що основний код польоту продовжуватиме виконуватися, навіть якщо обробка сценарію займає багато часу. Щоб дозволити запуск кількох сценаріїв, для кожного сценарію виділяється фіксований час (вимірюється в інструкціях віртуальної машини), протягом якого очікується завершення його обробки. Сценарій може вказувати нову функцію зворотного виклику та час її виклику, що дозволяє виконувати її безперервно. Хоча це служить для безпечного обмеження часу виконання в найгіршому випадку, не гарантується, що сценарії виконуватимуться за надійним розкладом.

Кожен сценарій виконується у власному «ізолюваному» середовищі. Це дозволяє кожному сценарію маніпулювати будь-якими глобальними змінними, які він хоче, не викликаючи проблем з іншими сценаріями, і дозволяє сценарію зберігати стан між викликами свого зворотного виклику. Однак побічним ефектом цього є те, що велике використання пам'яті в сценарії може спричинити брак пам'яті іншим сценаріям.

Для створення сценаріїв необхідно зробити наступні дії.

Першим кроком необхідно переконайтеся, що автопілот має принаймні 2 МБ флеш-пам'яті та 70 КБ пам'яті.

Далі в меню необхідно встановити [SCR\\_ENABLE](#) на 1, щоб увімкнути сценарії (після оновлення або перезавантаження можна побачити всі SRCпараметри).

Завантажте скрипти (файли з розширенням .lua) в папку SD-карти автопілота APM/Script.

Якщо такої папки немає, то її можна створити, встановивши для [SCR\\_ENABLE](#) значення 1 і перезавантаживши систему. Цю папку також можна створити вручну на SD-карті.

Якщо використовується Mission Planner, це можна зробити за допомогою MAVFTP, як зображено на рисунку 3.26.

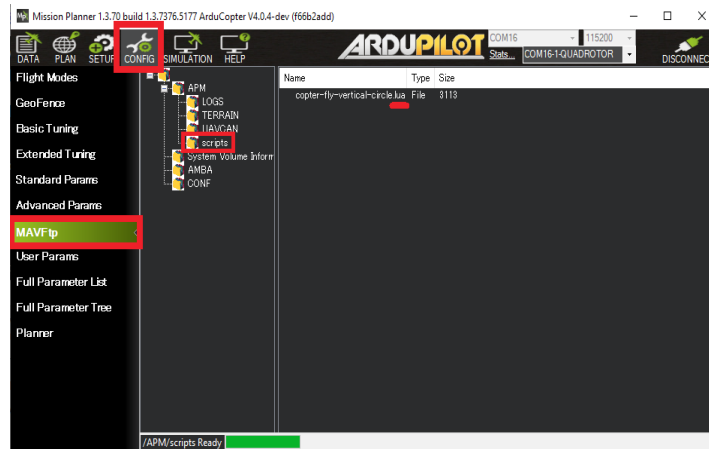


Рисунок 3.26 — Розташування скриптів в середовищі Mission Planner

Тут можна знайти зразки сценаріїв для стабільних літаків, вертольотів і марсоходів.

Аплети, які є сценаріями, які не потребують редагування користувача перед використанням. Кожен із них має однойменний файл .md із детальним описом його можливостей, використання та налаштування. Наприклад, існує сценарій, який дозволяє користувачеві змінювати рівень вихідної потужності передавача відео з підтримкою SmartAudio з каналу передавача та встановлювати значення його потужності за допомогою параметра.

Щоб надати сценаріям Lua доступ до додаткових можливостей ArduPilot, API можна розширити, створивши нові прив'язки. Процес виглядає наступним чином:

Знайдіть метод або функцію, яку ви хочете надати Lua. Наприклад, якщо ви хочете розкрити додаткову функцію AHRS, ви спочатку знайдете

метод у `libraries/AP_AHRS/AP_AHRS.h` . Це може бути вже існуючий метод (функція) або метод (функція), щойно доданий до коду.

Відредагуйте `libraries/AP_Scripting/generator/description/bindings.desc` і додайте новий рядок у відповідний розділ для методу або додайте новий розділ, якщо потрібно додати новий клас, дотримуючись прикладів інших розділів.

Для випусків до версії Copter/Rover/Plane 4.1: відкрийте командний рядок і перейдіть до каталогу `/libraries/AP_Scripting/generator` і введіть «`make run`».

Для версії 4.1 і вище очистіть дистрибутив (`./waf distclean`) і перезапустіть компіляцію.

Сценарії Lua можна безпосередньо вбудовувати у двійкові файли прошивки, а не розміщувати на зовнішній SD-карті. Це корисно для виробника, щоб надати сценарії для включених периферійних пристроїв або коли автопілот не підтримує SD-карту. Інструкції, як це зробити, знаходяться за цим посиланням .

Безпосередньо сценарій можна створювати в будь-якому редакторі кода, наприклад VScode.

В додатках Б, В та Г наведено код сценаріїв.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою даного розділу є проведення технологічного аудиту, в даному випадку нового виробу, а саме безпілотного літального апарату з мультифункціональним методом керування, який дозволяє керувати апаратом як в ручному режимі за допомогою пульта керування, так і з можливістю створення маршрутів для керування безпілотником в автономному режимі. Система буде мати універсальний метод керування і з можливістю розширення функцій

автопілота (обхід перешкод, повернення в точку старту, вихід з зони при втраті зв'язку і так далі).

Особливістю виробу є те, що створено пристрій який є універсальним, простим в управлінні і масштабованим для використання як для військових цілей для моніторингу місцевості чи для визначення ворожих об'єктів, так і для будь-який зйомок чи для сканування місцевості для побудови карт. Також розроблено спеціальну прошивку для можливості змінювати координати точки взльоту в реальному часі, тобто можна буде змінити координати по яким коптер буде вертатись, таким чином він зможе прилетіти взагалі в інше місце і здійснити посадку, таким чином у випадку перехоплення сигналу не вдасться відслідкувати місце знаходження оператора.

Аналогом розробки є DJI MAVIC 3 CLASSIC, його ціна приблизно 1500\$, т.б. 60000 грн.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів. Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, у відповідності із табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
<b>Технічна здійсненність концепції</b>					
1	Достовірність концепції не	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність в реальних умовах
Ринкові переваги					

2	Багато аналогів на малому ринку	Ринкові мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на
3	Ціна продукту значно вища за	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивн	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практик на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

Продовження табл. 4.1

9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
---	---	--	---	---	--------------------------------------

10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 4.2

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність	3	4	4

концепції			
Наявність аналогів на ринку	4	4	4
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	3	3	3
Експлуатаційні витрати	4	4	3
Ринок збуту	4	3	4
Конкурентоспроможність	3	4	4
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	3	3	4
Фінансування	4	3	3
Матеріально-технічна база	4	4	4
Термін реалізації ідеї	4	4	4
Супровідна документація	4	4	4
Сума	44	44	45
Середньоарифметична сума балів	$(44+44+45) / 3 = 44,33$		

Таблиця 4.3 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового виробу є високою, так як розроблений безпілотний літальний апарат використовує мультифункціональний метод керування, який дозволяє керувати апаратом як в ручному режимі за допомогою пульта керування, так і з можливістю створення маршрутів для керування безпілотником в автономному режимі. Система буде мати універсальний метод керування і з можливістю розширення функцій автопілота (обхід перешкод, повернення в точку старту, вихід з зони при втраті зв'язку і так далі). Особливістю виробу є те, що створено пристрій який є універсальним, простим в управлінні і масштабованим для використання як для військових цілей для моніторинга місцевості чи для

визначення ворожих об'єктів, так і для будь-якої зйомки чи для сканування місцевості для побудови карт. Також розроблено спеціальну прошивку для можливості змінювати координати точки зльоту в реальному часі, тобто можна буде змінити координати по яким коптер буде вертатись, таким чином він зможе прилетіти взагалі в інше місце і здійснити посадку, таким чином у випадку перехоплення сигналу не вдасться відслідкувати місце знаходження оператора.

#### 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

$T_p$  – число робочих днів в місяці, 21 днів;

$t$  – число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 4.1.

4.2.2 Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, розраховуються за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \cdot \alpha, \quad (4.2)$$

де  $t_i$  – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;



$n$  — число робіт по видах та розрядах;

$K_c$  — коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками;

$C_i$  — погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

$C_i$  визначається за формулою:

$$C_i = \frac{I_{\text{н}} \cdot a_i}{\dot{O}_{\delta} \cdot \dot{O}_{\text{зм}}}, \quad (4.3)$$

де  $M_n$  — мінімальна місячна оплата праці, грн.,  $M_n = 6700$  грн.

$K_i$  — тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

$T_p$  — число робочих днів в місяці,  $T_p = 21$  дні;

$T_{\text{зм}}$  — тривалість зміни,  $T_{\text{зм}} = 8$  годин.

Таблиця 4.1 — Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	55000	2619,05	40	104761,90
Інженер	53500	2547,62	40	101904,76
Всього				206666,67

Погодинна тарифна ставка згідно чинного законодавства у грудні 2022 року = 40,46 грн./год. Розрахунки заносимо до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 — Витрати на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудоємність, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Підготовчі	4	3	1,35	54,621	218,484
Слюсарно-	25	3	1,35	54,621	1365,525
Налагоджувальні	10	5	1,7	68,782	687,82
Всього					2271,83

4.2.2 Додаткова заробітна плата розробників, які приймали участь в розробці обладнання.

Додаткова заробітна плата прийнято розраховувати як 11% від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_d = (Z_{o,роз} + Z_{o,роб}) \cdot 11\% / 100\% \quad (4.2)$$

$$Z_d = (206666,67 + 2271,83) \cdot 11\% / 100\% = 22983,23 \text{ (грн.)}$$

4.2.3 Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_3 = (Z_{o,роз} + Z_{o,роб} + Z_d) \cdot 22\% / 100\% \quad (4.3)$$

$$H_3 = (206666,67 + 2271,83 + 22983,23) \cdot 22\%/100 \% = 50522,98 \text{ (грн.)}$$

4.2.4. Оскільки для розроблювального програмного продукту не потрібно витратити матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

4.2.5 Амортизація обладнання, яке використовувалось для проведення розробки.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді амортизація обладнання, що використовувалась для розробки розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_6} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12} \quad [\text{грн.}] \quad (4.4)$$

де Ц — балансова вартість обладнання, грн.;

T — термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{\text{вик}}$  — термін використання під час розробки, місяців

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 25000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства — 2 роки, а термін його фактичного використання — 1,905 міс.

$$A_{\text{обл}} = \frac{25000}{2} \times \frac{1,905}{12} = 1984,13 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютерна периферія	25000	2	1,905	1984,127
Офісне обладнання (меблі)	20000	4	1,905	793,651
Приміщення	985000	20	1,905	8770,213
Всього				11547,99

Амортизація обладнання, що використовувалось робітниками, розраховується аналогічно, результати розрахунків зведено в таблицю 4.7 і враховуються при розрахунку виробничої собівартості виробу.

Таблиця 4.7 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для робітників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання		Амортизаційні відрахування, грн.
			год.	міс.	
Комп'ютер	25000	2	10	0,0595	62,0040
Спеціалізоване обладнання (меблі)	20000	4	10	0,0595	24,8016
Приміщення	985000	20	39	0,2321	952,7530
Всього					1039,5585

Так як вартість ліцензійної ОС та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів, а також спеціалізованого обладнання є безкоштовною (ArduPilot), то  $B_{\text{спец. обл.}} = 0$  грн.

#### 4.2.6. Витрати на комплектуючі

Витрати на комплектуючі, що були використані на виготовлення розраховуються за формулою

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.5)$$

де  $H_i$  — кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.,

$C_i$  — роздрібна ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.,

$K_i$  — коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1,1$ ,

$n$  — кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8 без врахування транспортних витрат.

Таблиця 4.8 — Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн.
рама Realacc X4R Carbon	1	1224
електромотор Racerstar BR2205 2300KV Racing Edition	4	288
польотний контролер Pixhawk PX4 Flight Controller Pix 2.4.8 32 Bit Flight Control Board	1	5400
регулятор швидкості DYS XSD 20A 3-4S ESC	4	360
трансмiтер + приймач Taranis Q X7	1	7200
GPS модуль Eachine EX5 GPS 5G WIFI FPV RC Quadcopter Onderdelen GPS Module	1	720
GPS антена Eachine K-Loverleaves 5.8G 5dBi 6 Leaf Clover Antenne RHCP SMA	1	432
аккумулятор Turnigy 7.4V 6000mAh 2S 25~50C	1	1080
відеокамера FPV RunCam Split Mini 2 HD 1080P 60fps	1	108

відеопередавач DYS mi200 25/200mW	1	576
інфрачервоний давач	2	360
Всього		2005 2,00

Витрати на комплектуючі, що були використані на розробку з врахуванням транспортних втрат:

$$H = 20052 \cdot 1,1 = 22057,20 \text{ (грн.)}$$

4.2.7 Тарифи на електроенергію для непобутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$\dot{a}_{\text{е}} = \dot{a} \cdot \dot{i} \cdot \hat{O} \cdot \alpha_{\text{е}} \quad , \quad (4.6)$$

де  $V$  — вартість 1 кВт-години електроенергії,  $V = 6,2$  грн./кВт;

$\Pi$  — встановлена середня потужність обладнання, кВт.  $\Pi = 0,35$  кВт;

$\Phi$  — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

$K_{\text{п}}$  — коефіцієнт використання потужності,  $K_{\text{п}} = 0,8$ .

$$\begin{aligned} V_{\text{е}} &= 0,8 \cdot 0,35 \cdot 8 \cdot 40 \cdot 6,2 + 0,8 \cdot 0,35 \cdot 20,0 \cdot 6,2 = 555,52 + 34,720 = \\ &= 590,24 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

#### 4.2.8 Інші витрати та загальновиробничі витрати.

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100}, \quad (4.6)$$

де  $H_{ib}$  — норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = (206666,67 + 1635,72) \cdot 72\% / 100\% = 150435,72 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100}, \quad (4.7)$$

де  $H_{нзв}$  — норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = (206666,67 + 2271,83) \cdot 122\% / 100\% = 254905 \text{ (грн.)}$$

### 5.2.9 Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{заг} = 206666,67 + 2271,83 + 22983,23 + 50522,98 + 11547,99 + 1039,5585 + 22057,20 + 590,24 + 150435,72 + 254905 = 723020,38 \text{ грн.}$$

5.2.11 Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються  $ZB$ , визначається за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta} \quad (\text{грн}), \quad (5.8)$$

де  $\eta$  — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то  $\eta=0,1$ ; технічного проектування, то  $\eta=0,2$ ; розробки конструкторської документації, то  $\eta=0,3$ ; розробки технологій, то  $\eta=0,4$ ; розробки дослідного зразка, то  $\eta=0,5$ ; розробки промислового зразка, то



$\eta=0,7$ ; впровадження, то  $\eta=0,9$ . Оберемо  $\eta = 0,5$ , так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 723020,38 / 0,5 = 1446041 \text{ грн.}$$

#### 4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

- вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;
- зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);
- кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

— визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

4.3.1 Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm \Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.9)$$

де  $\pm \Delta\Pi_0$  — зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

$N$  — кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

$C_o$  — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки,  $C_o = C_{\sigma} \pm \Delta C_o$ ;

$C_b$  — вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

$\Delta N$  — збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

$\lambda$  — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість.

Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ .

$p$  — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

$\vartheta$  — ставка податку на прибуток, у 2022 році  $\vartheta = 18\%$ .

Припустимо, що при прогнозованій ціні 35000 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року — на 300 шт., протягом другого року — на 500 шт., протягом третього року на 750 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0*500 + (35000 + 500) * 300) * 0,8333 * 0,13 * (1 - 0,18) = 932749,963 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0*500 + (35000 + 500) * (300+500)) * 0,8333 * 0,13 * (1 - 0,18) = 2522866,566 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0*500 + (35000 + 500) * (300+500+750)) * 0,8333 * 0,13 * (1 - 0,18) = 4888053,97 \text{ грн}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 8343670,50 грн.

4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків  $\Pi$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (4.10)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

$T$  — період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 0,05 \dots 0,15$ ;

$t$  – період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримуємо починаючи з першого року:

$$ПП = (932749,963/(1+0,1)^1) + (2522866,566/(1+0,1)^2) + (4888053,971/(1+0,1)^3) = 847954,51 + 2085013,69 + 3672467,3 = 6605435,498 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ЗВ, \quad (4.11)$$

де  $k_{инв}$  — коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай  $k_{инв} = 2 \dots 5$ , але може бути і більшим;

$ЗВ$  — загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 1446041 = \text{грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект  $E_{abc}$  або чистий приведений дохід (*NPV, Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = \text{ПП} - PV, \quad (4.12)$$

$$E_{abc} = 6605435,498 - 1446041 = 5159394,74 \text{ грн.}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$  то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (*IRR, Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_s$ . Для цього використаємо формулу:

$$E_s = \sqrt[T_{ж}]{\left(1 + \frac{E_{abc}}{PV}\right)} - 1, \quad (4.13)$$

$T_{ж}$  – життєви

й цикл наукової розробки, роки.

$$\sqrt[3]{1 + 5159394,74 / 1446041} - 1 = 0,659$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.14)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні  $d = (0,09...0,14)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05...0,5)$ .

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19$$

Так як  $E_b > \tau_{\min}$ , то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.15)$$

$$T_{ок} = 1 / 0,659 = 1,52 \text{ р.}$$

Оскільки  $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 1,52 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Отже можна зробити висновок, що економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового виробу, сума яких складає 1446041 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений виріб за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 1,52 роки.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено метод та засоби управління безпілотним літальним апаратом. Розроблений метод є мультифункціональним комбінованим методом, який включає в себе метод ручного та автономного управління. Реалізовано можливість керувати безпілотним літальним апаратом за допомогою дистанційного керування за допомогою передавача, так і можливість написання власних сценаріїв, які дають можливість вносити в траєкторію польоту певні корективи, а також можливість повернення в початкову чи іншу задану позицію, можливістю передавати телеметричні дані. Крім цього розроблено необхідні засоби, які дозволяють здійснювати польоти в автономному режимі зі заздалегіть запрограмованим сценарієм траєкторії руху.

Безпілотний літальний апарат реалізований на базі польотного контролера, в основі якого 32-розрядний мікропроцесор STM-32, крім цього польотний контролер містить акселерометр, компас та барометр, що є не від'ємною його частиною, так як це забезпечує стабілізацію БПЛА в просторі. Крім цього застосовано GPS-модуль, який і забезпечує роботу автопілота, Також використано чотири регулятори швидкості і відповідно чотири електромотори, використано відеопередавач для транслявання відеосигналу з камери, радіо передавач для керування за допомогою радіо сигналу, використано інфрачервоні давачі для попередження про перешкоду.

Для реалізації даного проекту були виконані наступні задачі:

- вибір методу керування безпілотним літальним апаратом;
- застосування найбільш актуальних засобів побудови
- розробка структурної схеми;
- розробка алгоритму руху безпілотного літального апарату;

- розробка алгоритму про попередження про перешкод;
- розробка програмного забезпечення для обходу перешкод;
- розробка програмного забезпечення для повернення літального апарату у вихідну позицію або в іншу задану позицію .

Виконавши запропоновані задачі було досягнуто необхідного результату. Даний апарат є робочим та відлагодженим.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Все про БПЛА [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [https://defence.ua.com/video/bezpilotnij\\_awacs\\_dlja\\_zsu\\_plastun\\_ta\\_hortitsja\\_vid\\_nvts\\_infozahist-71.html](https://defence.ua.com/video/bezpilotnij_awacs_dlja_zsu_plastun_ta_hortitsja_vid_nvts_infozahist-71.html)
2. ЩО ТАКЕ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ? [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <http://iot.lviv.ua/що-таке-інтернет-речей/>
3. Безпілотний літальний апарат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний\\_літальний\\_апарат](https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат)
4. Застосування безпілотних літальних апаратів для сільського господарства [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [https://biz.censor.net/resonance/3129115/kakie\\_drony\\_ispolzovat\\_dlya\\_selskogo\\_hozyaystva](https://biz.censor.net/resonance/3129115/kakie_drony_ispolzovat_dlya_selskogo_hozyaystva)
5. Що таке мікропроцесор, мікроконтролер та програмований логічний контролер [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [https://elprivod.nmu.org.ua/ua/interesting/what\\_is\\_mp\\_mc\\_plc.php](https://elprivod.nmu.org.ua/ua/interesting/what_is_mp_mc_plc.php)
6. Розробка програмно-апаратної реалізації захищеного бездротового інтерфейсу до безпілотного літального апарату URL: [https://cad.kpi.ua/attachments/093\\_2017d\\_Belonosov.pdf](https://cad.kpi.ua/attachments/093_2017d_Belonosov.pdf) (дата звернення: 6.10.2022)
7. Класифікація безпілотних літальних апаратів URL: <http://mino.esrae.ru/pdf/2017/6Sm/1546.doc> (дата звернення: 7.11.2022)



8. Безпілотний літальний апарат URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 6.09.2022)
9. ДСТУ 2226–93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення. – К.: УкрНДІССІ, 1994. — 92 с.
10. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления/ А.В. Меньков, В.А. Острейковский. — Учебник для вузов. – М.: Издательство Оникс, 2005. — 640 с.
11. Щербина В.Ю. Левицький В.Г Застосування безпілотних літальних апаратів feb. 2020. Available at:<https://conf.ztu.edu.ua/wpcontent/uploads/2017/06/209-1.pdf> . Date accessed: 7 Mar. 2022.
12. Уилли Соммер Программирование микроконтроллерных плат Arduino / Freeduino. БХВ — Петербург — 2012.
13. Брамм, П. Микропроцессор 80386 и его программирование / П. Брамм, Б. Брамм. - М.: Мир, 1990.
14. Студопедія — макетування в художньому конструюванні [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/6-7321.html>
15. Чуманов А.О.Мікропроцесорні системи безпілотних літальних апаратів / А.О.Чуманов, С.В. Богомоллов. // Тези доповіді. Матеріали І регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науководослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області: веб-сайт. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2021/schedConf/presentations>(дата звернення: 03.11.2022).
16. Мікропроцесорні автоматичні системи регулювання. Основи теорії і елементи: Учеб. посібник/В. В. Солодовников, В. Г. Коньков, В. А. Суханов, О. В. Шевяков; Під ред. В. В. Солодовникова. - М .: Вища. шк., 1991. 255 с.

17. Теорія автоматичного управління: Учеб. для вузів по спец. «Автоматика і телемеханіка». У 2-х ч. Ч. II. Теорія нелінійних і спеціальних систем автоматичного управління./А. А. Воронов, Д. П. Кім, В. М. Лохина і ін .; Під ред. А. А. Воронова.- 2-е изд., Перераб. і доп.- М .: Вища. шк., 1986.- 504 с.

18. Електронний ресурс відкритого доступу // сайт постачальника обладнання 3D Globalteck. URL:

[http://3d.globatek.ru/3dscanners/Surphaser\\_25HSX\\_IR\\_X/#spec\\_tab](http://3d.globatek.ru/3dscanners/Surphaser_25HSX_IR_X/#spec_tab) .

19. Електронний ресурс відкритого доступу // Nikon Metrology. URL:

<https://www.elmia.se/globalassets/externa-nyheter/1376/a7cccebe-d43c-4dd6a968592242789737.pdf>.

## ДОДАТОК А

## Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ  
проф., д.т.н.. Азаров О.Д..

" " 2022 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
“Комп'ютерна система моніторингу регіонального радіомовлення”  
08-23.МКР.031.00.003.ТЗ

Науковий керівник: доцент к.т.н.

\_\_\_\_\_ Азаров О.Д.

Студент групи 2КІ-21м

\_\_\_\_\_ Чуманов А.О.

## 1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Важливим є актуальність дослідження у напрямку магістерської роботи, яка обумовлена тим, що в даний час все більше учасників медіаринку, таких як інформаційні і рекламні агентства, оператори зв'язку, контролюючі органи та інші, стикаються із завданням моніторингу телевізійних і радіоканалів. При цьому коло завдань, що потребують вирішення, безперервно розширюється. Поряд з такими «базовими» завданнями, як контрольний запис та ведення архівів, все більший інтерес викликають і більш складні — підтвердження своєчасності виходу матеріалів в ефір або виявлення несанкціонованих змін контенту;

### 1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

## 2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку зарубіжних і вітчизняних розробок у сфері моніторингу радіомовлення та розробка програмно-апаратного комплексу для виконання задач з моніторингу регіональних радіоканалів шляхом порівняння еталонного та місцевого сигналів;

2.2 Призначення розробки — система моніторингу регіонального радіомовлення призначена для визначення несанкціонованих змін контенту, технічних параметрів трансляції з фіксацією часу та дати цих змін і контрольним записом трансляції.

## 3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Проведення аналізу існуючих принципів та технологій інформаційного та технічного моніторингу радіомовлення;

3.2 Розробка структури та функціональної схеми програмно-апаратного комплексу для моніторингу регіонального радіомовлення;

3.3 На основі структурних та функціональних схем здійснено розрахунок та моделювання елементів корелятора а також написання мікропрограми керуючого мікроконтролера;

3.4 Виконання розрахунків для доведення доцільності нової розробки з економічної точки зору;

3.5 Розгляд державних санітарних правила і норм яких мають дотримуватись на підприємстві при проектуванні мережі та роботі з нею. Надання рекомендації по захисту мережі та обладнання від дії надзвичайних ситуацій та електромагнітних імпульсів (ЕМІ).

#### 4 Вимоги до виконання МКР

Головна вимога — використати, як основний, метод обробки даних шляхом порівняння поточного та опорного аудіосигналів в спеціалізованому аудіокореляторі.

#### 5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Аналіз технічної галузі в безпілотних літальних апаратах			Аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Розробка методу управління безпілотними літальними			Розділ 2

	апаратами			
3	Проектування засобів управління безпілотного літального апарату			Розділ 3
4	Підготовка економічної частини			Розділ 4
5	Апробація та впровадження результатів дослідження			Тези доповідей
6	Опублікування результатів досліджень			Стаття
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації			ПЗ, графіч. матеріал і презентація
8	Підготовка супроводжуючих документів, їх підписування, проходження нормоконтролю та тесту на плагіат			Оформлені документи

## 6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

## 7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

## 8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлювання МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— міждержавний ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп’ютерна інженерія». Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2022;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

## ДОДАТОК Б

Лістинг програми для програмування реверсного руху

```

local terrain_min_alt = 20
local home_dist_enable = 25
local height_enable = 10
local warn_ms = 10000
local height_threshold_passed = false
local last_warn = 0
function update()
  if not arming:is_armed() then
    height_threshold_passed = false
    return update, 1000
  end
  local terrain_height = terrain:height_above_terrain(true)
  if not terrain_height then
    return update, 1000
  end
end

```

```

        if (not height_threshold_passed) and (terrain_height < height_enable)
then
    return update, 1000
end
height_threshold_passed = true
local home_dist = ahrs:get_relative_position_NED_home()
if home_dist then
    home_dist:z(0)
    if home_dist:length() < home_dist_enable then
        return update, 1000
    end
end
if terrain_height < terrain_min_alt then
    gcs:send_text(2, string.format("Terrain Warning: %0.1f
meters",terrain_height))
    return update, warn_ms
end
return update, 1000
end
return update, 10000

```

## ДОДАТОК В

Лістинг програми для отримання телеметричних даних

```

local rad_xy_m = 0.5
local target_speed_xy_mps = 0.5
local rc_channel_switch = 7
local cw_turn = true
local omega_radps = target_speed_xy_mps/rad_xy_m
local rover_guided_mode_num = 15
local direction = 1
if not cw_turn then
    direction = -1
end

```



```

gcs:send_text(0,"Script started")
gcs:send_text(0,"Trajectory period: " .. tostring(2 * math.rad(180) /
omega_radps))
local circle_active = false
local last_mode = 0
function update()
  if not circle_active then
    last_mode = vehicle:get_mode()
  end
  if arming:is_armed() and rc:get_pwm(rc_channel_switch) > 1700 and not
circle_active then
    vehicle:set_mode(rover_guided_mode_num)
    circle_active = true
  elseif arming:is_armed() and rc:get_pwm(rc_channel_switch) < 1200 and
circle_active then
    vehicle:set_mode(last_mode)
    circle_active = false
  end
  if circle_active then
    local target_turn_rate = math.deg(omega_radps * direction)
    if not vehicle:set_desired_turn_rate_and_speed(target_turn_rate,
target_speed_xy_mps) then
      gcs:send_text(0, "Failed to send target ")
    end
  end
  return update, 100
end

```

```
return update()
```

## ДОДАТОК Г

Лістинг програми для автономного повернення в початкову або в іншу задану позицію

```
localrotation_downward = 25
local rotation_forward = 0
function update()
  local sensor_count = rangefinder:num_sensors()
  gcs:send_text(0, string.format("%d rangefinder sensors found.",
sensor_count))
  for i = 0, rangefinder:num_sensors() do
    if rangefinder:has_data_orient(rotation_downward) then
      info(rotation_downward)
    elseif rangefinder:has_data_orient(rotation_forward) then
      info(rotation_forward)
    end
  end
end
return update, 1000 -- check again in 1Hz
end
function info(rotation)
  local ground_clearance = rangefinder:ground_clearance_cm_orient(rotation)
  local distance_min = rangefinder:min_distance_cm_orient(rotation)
  local distance_max = rangefinder:max_distance_cm_orient(rotation)
  local offset = rangefinder:get_pos_offset_orient(rotation)
  local distance_cm = rangefinder:distance_cm_orient(rotation)
```

```

gcs:send_text(0, string.format("Ratation %d %.0f cm range %d - %d offset
%.0f %.0f %.0f ground clearance %.0f", rotation, distance_cm, distance_min,
distance_max, offset:x(), offset:y(), offset:z(), ground_clearance))end
returnupdate(), 1000

```

## ДОДАТОК Д

### Структурна схема плати STM32F405

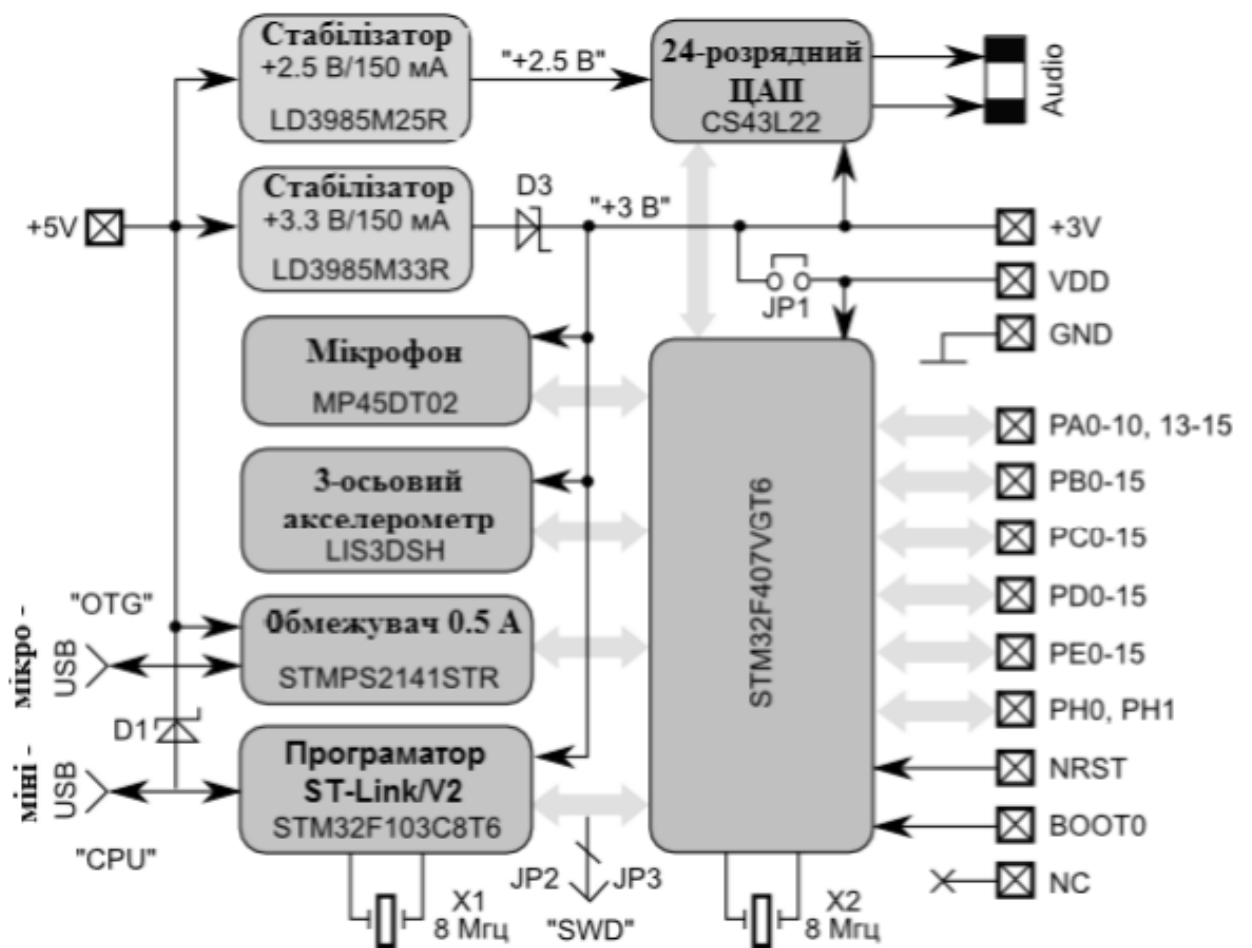


Рисунок Д.1—Структурна схема плати STM32F405

## ДОДАТОКЕ

Опис схеми(Datasheet) зі зображеннями контактів, що відповідають за з'єднання з контролером F405

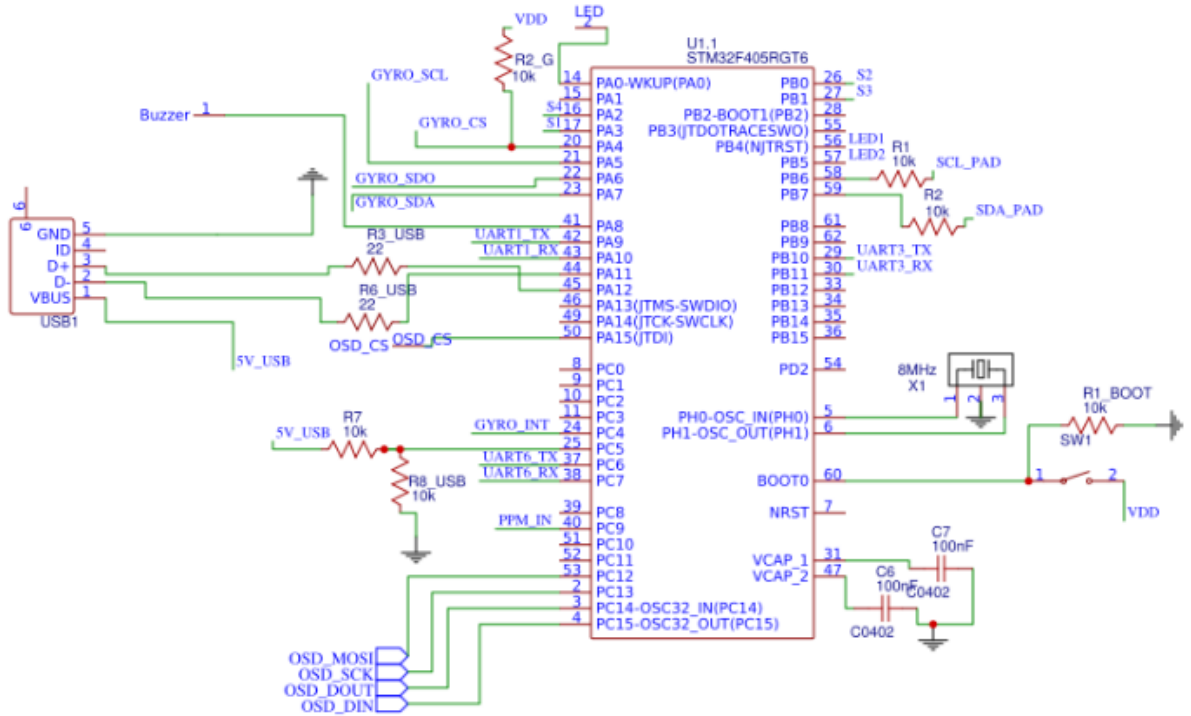


Рисунок Е.1 — Datasheet контролера STM32F405

## ДОДАТОК Ж

Зовнішній вигляд безпілотного літального апарату

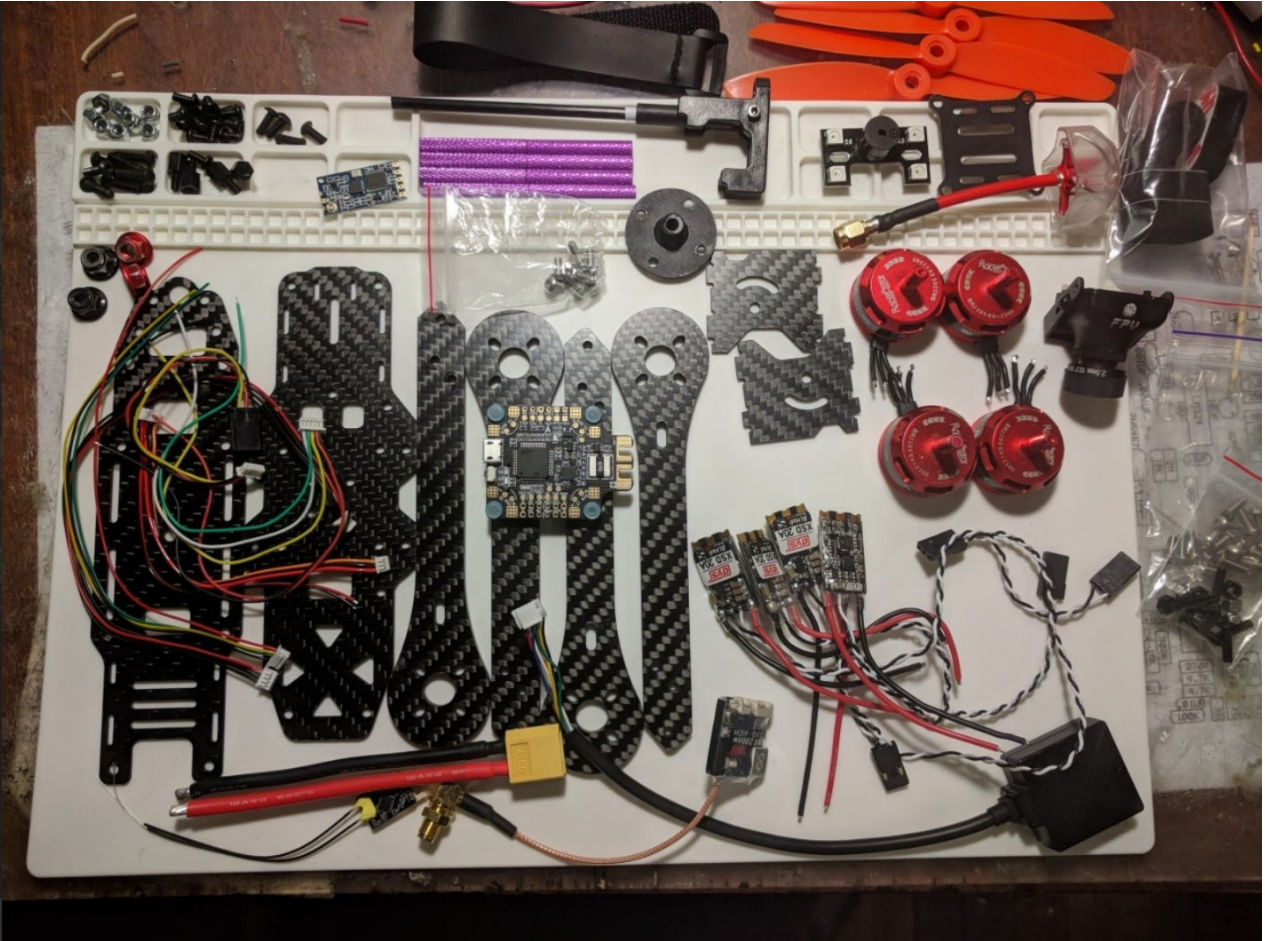


Рисунок Е.1 —Комплектуючі запчастини

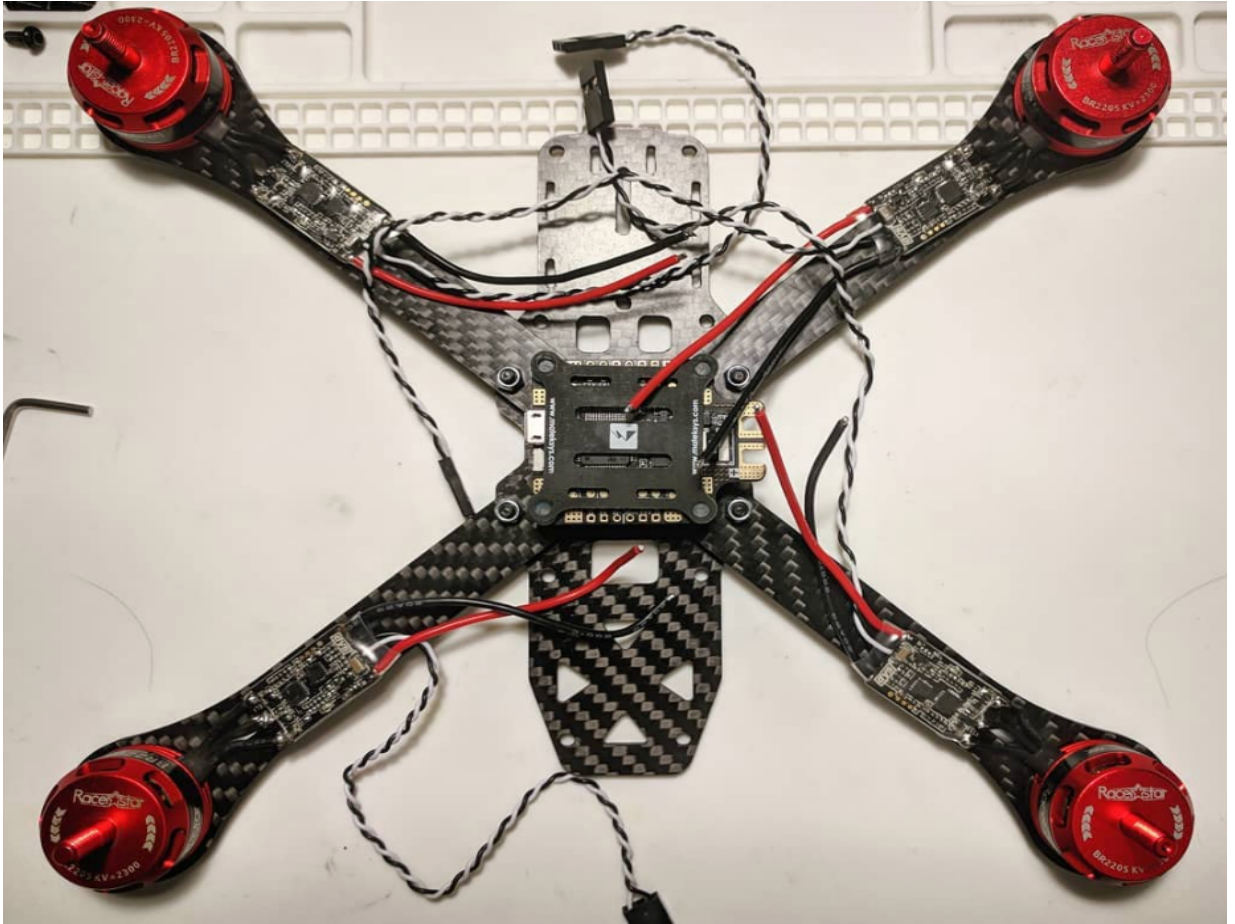


Рисунок Е.2 — Зовнішній вигляд рами на початку збірки

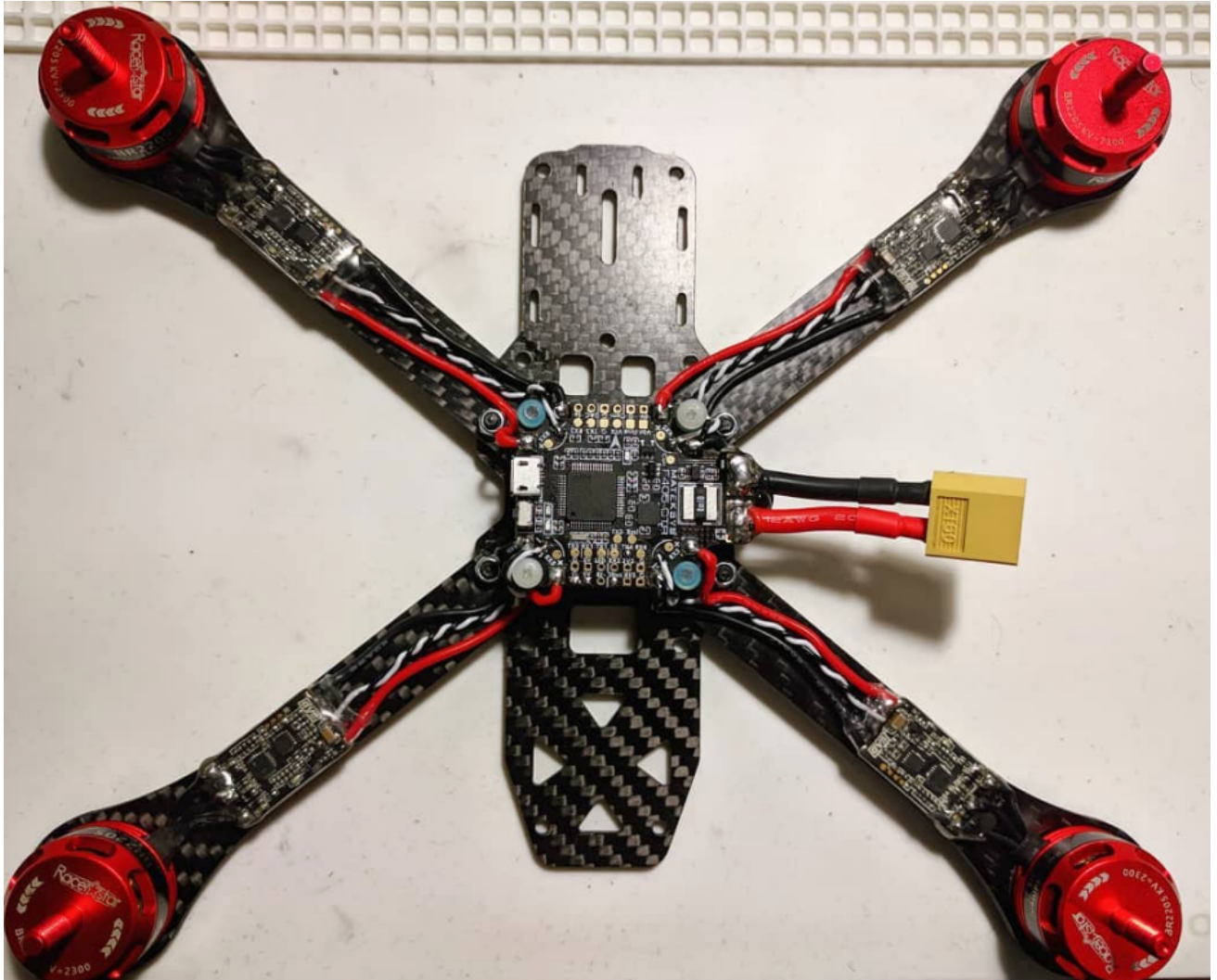


Рисунок Е.3 — Зовнішній вигляд приладу з під'єднаним контролером

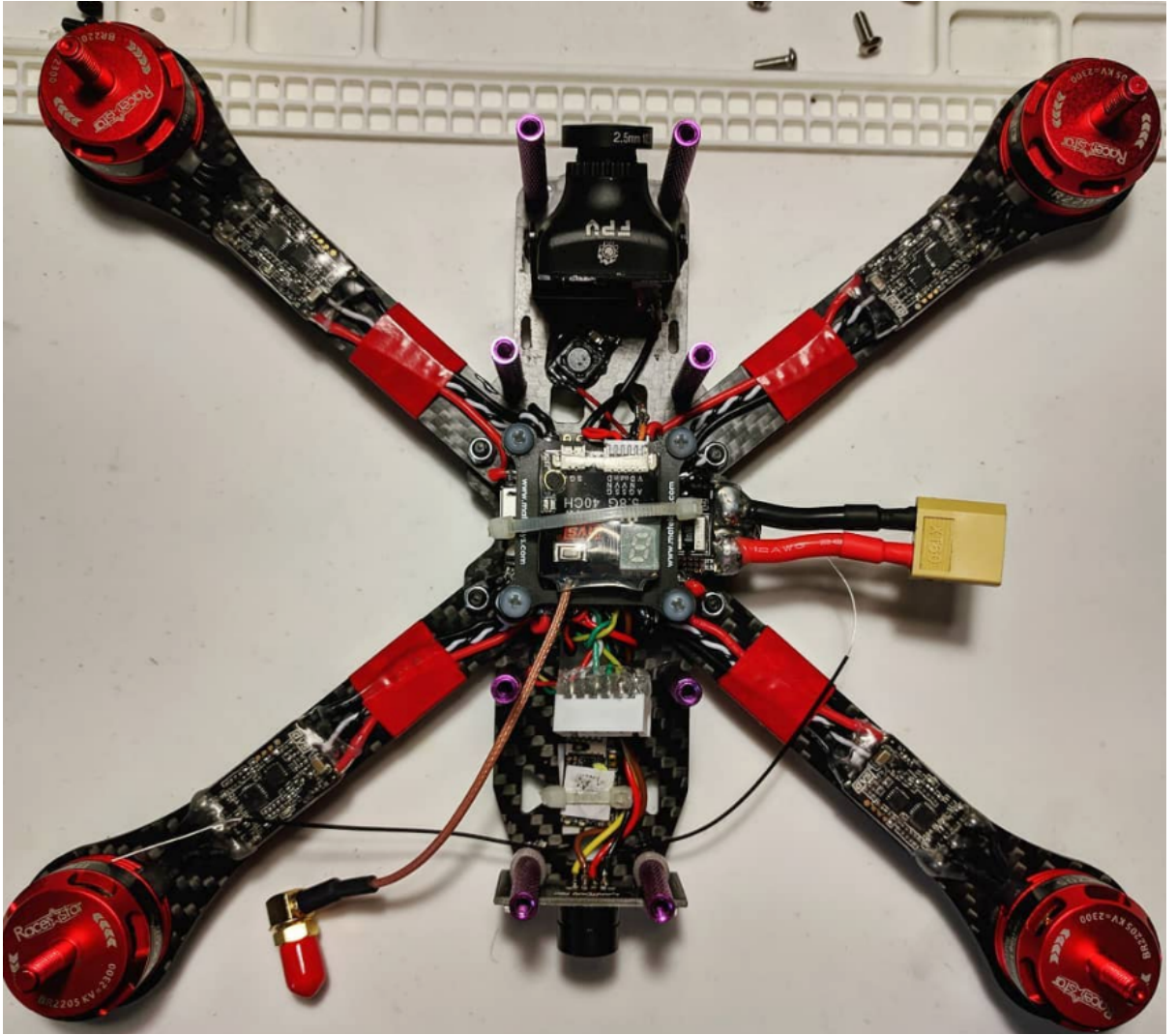


Рисунок Е.4 — Зовнішній вигляд робочого приладу