ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Система донаведення (автонаведення) на ціль за допомогою fpv-дрона»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійної програми «Комп'ютерні системи та мережі»

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Денис Винник
(підпис)

Виконав: здобувач вищої освіти групи КСДМ-61
Денис Винник

Керівник: Сергій Коротков
доктор філософії., доцент

Рецензент: _____
науковий ступінь, вчене звання *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ*

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерна інженерія

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Виннику Денису Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система донаведення (автонаведення) на ціль за допомогою fpv-дрона»

керівник кваліфікаційної роботи Сергій Коротков, доктор філософії, доцент,

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «___» _____ 2025 р. № _____.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «17» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література з автосупроводу цілі та комп'ютерного зору, технічні характеристики FPV-дрона, параметри FPV-камери та відеоканалу; технічні характеристики плати захоплення/трекінгу цілі та інтерфейси її інтеграції з політним контролером.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз структурної схеми FPV-дрона та вимог до відеоканалу для задач візуального супроводу.
2. Обґрунтування вибору компонентів і інтеграція плати захвату/стеження в систему.

3. Реалізація прототипу: збірка, підключення, налаштування Betaflight і перевірка працездатності.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

1. Структурна схема системи FPV-дрона.
2. Склад апаратної частини та призначення модулів.
3. Плата захвату/стеження: роль і принцип роботи.
4. Характеристики плати захвату/стеження.
5. Схеми підключення ESC–FC (стек).
6. Підключення плати захвату до FC.
7. Налаштування Betaflight (порти, режими, OSD, VTX).
8. Результати перевірок і тестових польотів.

6. Дата видачі завдання «01» вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення актуальності теми та постановка мети й задач роботи.	11.09.2025	
2	Аналіз наукових і технічних джерел щодо FPV-платформ та візуального супроводу у відеопотоці.	13.09.2025	
3	Формування структурної схеми системи та вимог до відеоканалу, живлення й керування.	23.09.2025	
4	Обґрунтування вибору компонентів і підготовка апаратної частини (BOM, сумісність, монтаж).	27.09.2025	
5	Збірка прототипу та інтеграція плати захвату/стеження, перевірка підключень і ізоляції.	10.10.2025	
6	Налаштування програмної частини (Betaflight), первинне тестування та усунення недоліків.	12.10.2025	
7	Узагальнення результатів, оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації до захисту.	20.11.2025	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	25.11.2025	
9	Попередній захист роботи	26.11.2025	

Здобувач вищої освіти _____ Денис ВИННИК
(підпис)

Керівник
кваліфікаційної роботи _____ Сергій КОРОТКОВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 12 табл., 49 рис., 37 джерел.

Мета роботи - розробити та перевірити працездатність апаратно-програмної системи візуального супроводу об’єкта (цілі) на базі FPV-дрона, яка забезпечує стабільну передачу відеопотоку в реальному часі та можливість використання плати захвату/стеження як елемента системи донаведення (автонаведення).

Об’єкт дослідження - FPV-дрон як платформа для відеоспостереження та візуального супроводу об’єкта у польоті.

Предмет дослідження - структура та спосіб інтеграції плати захвату і стеження у відеоканал FPV-дрона, а також налаштування системи керування для забезпечення стабільної роботи під час експлуатації.

Методи дослідження:

1. Аналіз науково-технічних джерел і технічних характеристик компонентів FPV-системи та плати захвату/стеження.
2. Методи системного проєктування - формування структури комплексу та взаємодії його модулів (керування, відеоканал, трекінг).
3. Експериментальні методи - складання прототипу, перевірка підключень, налаштування у Betaflight Configurator і контроль працездатності відеозв’язку.
4. Параметричне налаштування та валідація – коригування режимів польоту, PID-параметрів і перевірка систем у тестових польотах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: FPV-ДРОН, СИСТЕМА ДОНАВЕДЕННЯ, ВІЗУАЛЬНИЙ СУПРОВІД, ВІДЕОКАНАЛ, ПЛАТА ЗАХВАТУ ТА СТЕЖЕННЯ, ТРЕКІНГ, BETAFIGHT CONFIGURATOR, PID-НАЛАШТУВАННЯ, VTX, OSD, PAL/NTSC, ТЕСТОВІ ПОЛЬОТИ.

ABSTRACT

The text part of the master's qualification thesis: 70 pages, 12 tables, 49 figures, 37 sources.

Object of the study – an FPV drone as a platform for real-time video monitoring and visual target/object tracking during flight.

Subject of the study – the system structure and integration approach for a video capture and tracking board within the FPV drone video link, as well as flight controller configuration to ensure stable operation.

Purpose of the study – to develop and verify an hardware–software system for visual object (target) tracking based on an FPV drone, providing stable real-time video transmission and enabling the use of a capture/tracking board as part of an automatic guidance (auto-tracking) solution.

Research methods:

1. Analysis of scientific and technical sources and component specifications for the FPV system and the capture/tracking board.
2. System design methods – development of the overall architecture and interaction between modules (flight control, video link, tracking).
3. Experimental methods – prototype assembly, wiring and connectivity checks, configuration in Betaflight Configurator, and validation of real-time video link operation.
4. Parameter tuning and validation – adjustment of flight modes and PID parameters, followed by verification through test flights.

Keywords: FPV DRONE, AUTOMATIC GUIDANCE, VISUAL TRACKING, VIDEO LINK, VIDEO CAPTURE AND TRACKING BOARD, TRACKING, BETAFIGHT CONFIGURATOR, PID TUNING, VTX, OSD, PAL/NTSC, TEST FLIGH

ЗМІСТ

ВСТУП..... 9
РОЗДІЛ 1 КОНСТРУКЦІЯ FPV-ДРОНА..... 11
1.1 Загальний аналіз FPV-дрона..... 11
1.2 Різновиди FPV-дронів..... 11
1.3 Польотний контролер дрона..... 13
1.4 Регулятор обертів дрона..... 14
1.5 Мотори FPV-дронів..... 15
1.6 Приймач..... 16
1.7 Камера..... 17
1.8 Відеопередавач..... 18
1.9 Пропелери FPV-дрона..... 19
1.10 Рама дрона..... 20
1.11 GPS модуль..... 21
1.12 Плата захвату та стеження..... 22
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ДЕТАЛЕЙ ТА ПЕРИФЕРІЇ ДЛЯ ДРОНА..... 24
2.1 Вибір рами для дрона..... 24
2.2 Вибір моторів для дрона..... 26
2.3 Вибір пропелерів для дрона..... 27
2.4 Політний контролер для дрона..... 29
2.5 Регулятор обертів..... 32
2.6 Відеопередавач для дрона..... 34
2.7 Радіоприймач для дрона..... 35
2.8 Камера для дрона..... 37
2.9 GPS модуль..... 38
2.10 Антена для дрона..... 41
2.12 Радіоапаратура для керування дроном..... 44
2.14 Вибір плати стеження та автонаведення..... 50
РОЗДІЛ 3 ЗБІРКА ДРОНА..... 52
3.1 Підготовка до збирання дрона..... 52
3.2 Збірка рами..... 53
3.3 Встановлення моторів..... 54
3.4 Підключення регулятора обертів (ESC)..... 55
3.5 Встановлення контролера польоту..... 56
3.6 Підключення приймача RX..... 57
3.7 Підключення камери..... 58
3.8 Встановлення відеопередавача VTX..... 59
3.9 Підключення GPS модуля..... 60

3.10 Підключення плати захвату та автонаведення.....61
3.11 Монтаж акумулятора та пропелерів.....62
РОЗДІЛ 4 НАЛАШТУВАННЯ ДРОНА.....64
4.1 Створення зв’язку між дроном та контролером керування.....64
4.2 Створення зв’язку між дроном та відеошоломом.....65
4.3 Завантаження програми польотного контролера через Betaflight configurator. 66
4.4 Налаштування всіх важливих пунктів в Betaflight configurator.....66
ВИСНОВКИ.....72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....74
ДОДАТОК А Схема підключення ESC.....77
ДОДАТОК Б Схема підключення польотного контролера.....78
ДОДАТОК В Схема підключення плати автонаведення.....79
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....80

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БпЛА) класу FPV набули широкого застосування завдяки відносно невисокій вартості, високій маневровості та можливості передавати відео в реальному часі. Такі платформи використовують у цивільних задачах спостереження, інспекції та моніторингу, де критичними є оперативне отримання відеоданих і стабільне керування в динамічних умовах. У цьому контексті актуальною є побудова системи, яка дозволяє не лише отримувати відеопотік, а й використовувати його для візуального супроводу об’єкта (цілі спостереження) із формуванням керувальних впливів або інформаційних підказок для оператора.

Важливою проблемою для подібних систем є забезпечення узгодженої роботи всіх підсистем FPV-дрона: силової частини, польотного контролера, відеоканалу, а також коректної інтеграції модуля відеозахвату і стеження у загальну архітектуру. У роботі розглянуто підхід, за якого плата захвату та стеження виконує роль елемента контуру візуального супроводу: вона приймає відеосигнал, забезпечує його обробку/передавання та формує параметри, необхідні для визначення положення об’єкта в кадрі (координати, зміщення, оцінка руху).

Метою роботи є розробка та практична реалізація апаратно-програмної системи візуального супроводу об’єкта на базі FPV-дрона з інтеграцією плати захвату та стеження, а також перевірка працездатності системи шляхом налаштування польотного контролера і проведення тестових перевірок у реальних умовах. Об’єктом дослідження є FPV-дрон як платформа для відеоспостереження та візуального супроводу об’єкта у польоті, а предметом дослідження – структура та спосіб інтеграції плати захвату/стеження у відеоканал FPV-дрона й налаштування системи керування (польотного контролера) для забезпечення стабільної роботи під час експлуатації.

Для досягнення мети виконано аналіз складових FPV-дрона та вимог до відеоканалу і системи керування, обґрунтовано вибір апаратних компонентів і

параметрів плати захвату/стеження та її сумісність із відеотрактом, виконано інтеграцію плати в конструкцію дрона з дотриманням вимог до ізоляції, демпфування та зменшення електромагнітних завад, а також проведено конфігурування польотного контролера у Betaflight Configurator (порти, режими, PID, OSD, відеопередавач) і перевірки працездатності шляхом тестових польотів.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічних джерел і технічних характеристик компонентів, системний підхід до формування архітектури комплексу, практичну апробацію через складання прототипу та налаштування у Betaflight Configurator, а також експериментальні перевірки в умовах експлуатації.

Наукова новизна роботи полягає у практично орієнтованому обґрунтуванні та реалізації архітектури інтеграції плати захвату/стеження у FPV-платформу як елемента візуального супроводу з урахуванням обмежень реальної експлуатації (вібрації, завади, організація з’єднань і стабільність налаштувань). Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні працездатного прототипу FPV-дрона з налаштованою системою керування та підключеним модулем відеозахвату/стеження, що може використовуватися як основа для подальшого розвитку систем візуального супроводу в цивільних прикладних задачах (інспекція, моніторинг, спостереження).

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, основних розділів із описом апаратної частини та налаштування програмного забезпечення, висновків і додатків зі схемами підключення та ілюстративними матеріалами.

РОЗДІЛ 1 КОНСТРУКЦІЯ FPV-ДРОНА

1.1 Загальний аналіз FPV-дрона

Дрони FPV — це безпілотні літальні апарати, які оснащені функцією «вид від першої особи» (First Person View — скорочено FPV). Оператор керує безпілотником за допомогою пульта і бачить місцевість навколо безпілотника в реальному часі за допомогою спеціальних окулярів, так, ніби сидить у середині самого безпілотника, подібно до пілота.

Варто зазначити, що FPV-дрон це не військова техніка. Такі БПЛА у цивільному житті використовують для розваг, наприклад, у спортивних перегонах.

Вони можуть нести корисне навантаження, при цьому у FPV-дронів немає автопілота і вони літають без GPS. Натомість для FPV-польотів необхідні:

- БПЛА із вбудованою камерою, здатний передавати відео у реальному часі;
- контролер польоту — пульт з радіокеруванням;
- монітор або окуляри віртуальної реальності.

Крім того, важливими компонентами є:

- потужний відеопередавач, який забезпечує якісний сигнал без затримок;
- акумулятори, що забезпечують тривалий час польоту;
- мотори та пропелери, які забезпечують необхідну маневровість та швидкість.

Використання FPV-дронів вимагає навичок керування, оскільки польоти можуть бути складними через відсутність автоматичних систем стабілізації та навігації. Однак, це відкриває широкі можливості для творчості та інновацій у різних сферах діяльності.

1.2 Різновиди FPV-дронів

Параметри, за якими ділять коптери, досить багато. Серед них:

- кількість та потужність двигунів;

- розміри, вага;
- місткість батареї;
- відстань та максимальна висота польоту;
- додаткові опції;
- комплектація;
- виробник:
- ціна та строк гарантії.

Але основним критерієм класифікації є сфера застосування. Від того, для чого купується FPV дрон, залежать вимоги до його експлуатаційних властивостей, конструкції та вартості.

До групи перегонових входять найбільш швидкісні моделі. Також їх відрізняють: компактність, невелика вага та маневровість, яку забезпечує аеродинамічний дизайн. Керуючи ними, пілот повинен проявити максимум кмітливості, швидку реакцію та відпрацьовані рефлекси.

Фристайлові FPV дрони з окулярами варто купити тим, хто шукає компромісний варіант між перегоновою моделлю та технікою для фільмування. З їх допомогою можна виконувати різноманітні трюки, при цьому вони радують помірною вартістю та дозволяють знімати динамічні відеоролики у високій якості. Також це чудовий вибір для польотів важкодоступними місцями.

Кінематографічні квадрокоптери з режимом польоту «від першої особи» часто застосовують для отримання якісних відеозаписів та фотографій у різних сферах:

- сільському господарстві;
- промисловості;
- геодезичним дослідженням;
- рекламі;
- кінематографі.

Їхня головна особливість — стабілізовані камери, також власники можуть розраховувати на значну тривалість польоту завдяки високоємним батареям.

1.3 Польотний контролер дрона

Польотний контролер — один з найважливіших компонентів FPV-дрона. Він відповідає за стабілізацію дрона, забезпечення точних маневрів і надання даних пілоту.

Контролер польоту, або "FC", - це як мозок FPV-дрона. Це плата, оснащена датчиками, які визначають рухи дрона та команди користувача. Маючи цю інформацію, він регулює швидкість двигунів, щоб перемістити дрон у потрібному напрямку.

Всі польотні контролери мають основні датчики, такі як гіроскопи (gyro) і акселерометри (acc), в той час, як інші можуть включати інші датчики, такі як датчики барометричного тиску (барометр) і компаси (магнітометр).

FC також може слугувати хабом для інших периферійних пристроїв дрона, таких як ESC, GPS, світлодіоди, сервоприводи, радіоприймач, FPV-камера та VTX. З розвитком технологій контролери польоту стають меншими, більш функціональними та використовують кращі процесори та апаратне забезпечення.

Приклад електричної схеми підключення компонентів FPV-дрона до контролера польоту показано на рис. 1.1.

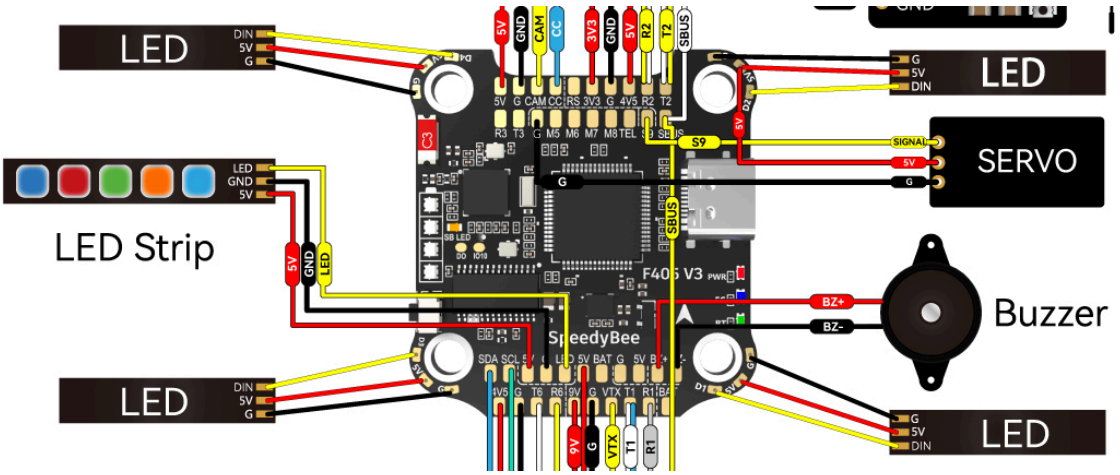


Рисунок 1.1 – Схема підключення компонентів до контролера польоту

1.4 Регулятор обертів дрона

ESC, або регулятор обертів, відповідає за керування швидкістю двигунів дрона FPV. ESC отримує сигнали газу від контролера польоту та приводить в дію безщітковий двигун на бажаній швидкості.

Використання високоякісних ESC забезпечує надійний і плавний політ, хоча багато інших факторів також відіграють роль у загальних характеристиках.
ESC мають вирішальне значення для роботи дрона, оскільки вони контролюють змінну швидкість двигунів.

Вони живляться постійним струмом (DC) від батареї та приймають сигнали двигуна від контролера польоту, забезпечуючи трифазний змінний струм для живлення двигуна.

Приклад ESC наведено на рис. 1.2.

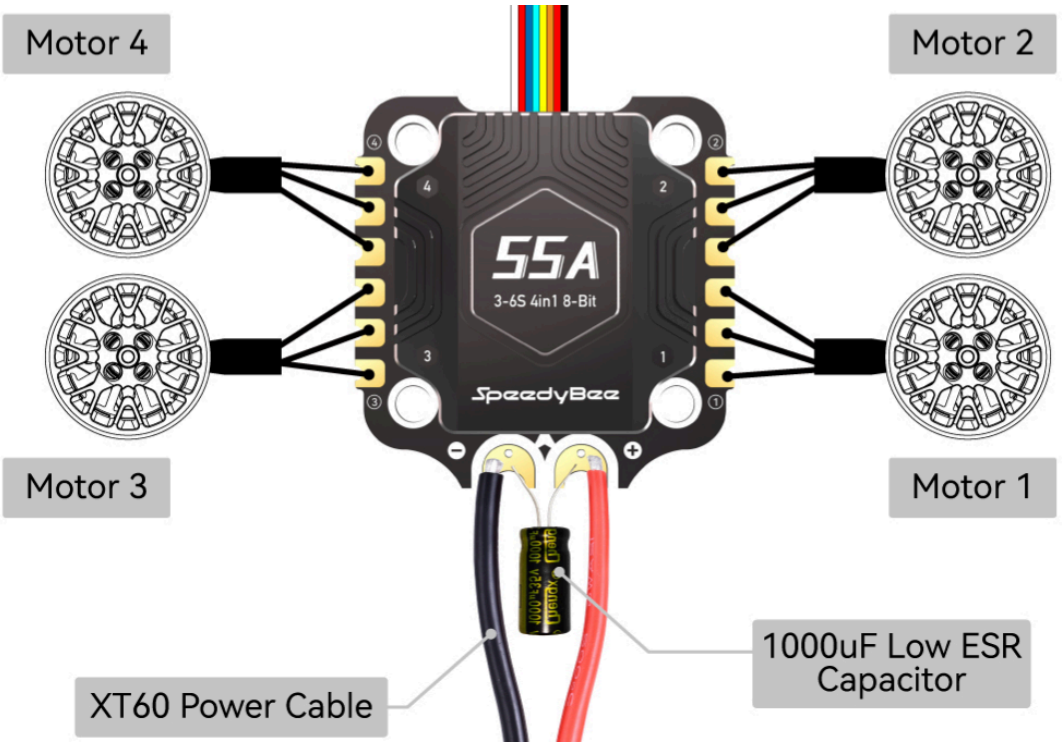


Рисунок 1.2 – Регулятор обертів на 4 мотори

1.5 Мотори FPV-дронів

Мотор у FPV (First Person View) дроні – це ключовий компонент, який відповідає за перетворення електричної енергії з батареї в механічну енергію обертання пропелерів. Основна функція моторів у FPV дроні полягає в забезпеченні підіймальної сили та маневровість. Мотори створюють тягу, необхідну для підйому дрона в повітря і його утримання на різних висотах. Чотири мотори, розташовані на кінцях рами квадрокоптера, працюють разом для стабілізації та контролю висоти.

Завдяки різній швидкості обертання моторів дрон може рухатися в різних напрямках, нахилятися і повертатися. Це забезпечує маневровість дрона, дозволяючи йому здійснювати складні фігури й маневри в повітрі.

Мотори працюють у тісній координації з контролером польоту, який постійно регулює швидкість кожного мотора для підтримки стабільності дрона навіть при поривах вітру або інших зовнішніх впливах.

Пілот, керуючи дроном за допомогою пульта управління, задає команди, які контролер польоту перетворює в команди для моторів. Це дозволяє точно контролювати швидкість і напрямок польоту дрона.

Приклад безщіткового мотора показано на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Безщітковий мотор

1.6 Приймач

Приймач у FPV дроні є важливим компонентом, який відповідає за отримання сигналів від пульта керування. Його головна функція полягає в прийманні команд від пілота і передаванні їх до контролера польоту дрона. Завдяки цьому приймач забезпечує зв'язок між пілотом і дроном, дозволяючи керувати польотом, маневрами та іншими функціями дрона.

Приймач працює за принципом радіозв'язку, отримуючи сигнали на певній частоті, що передаються пультом керування. Після отримання сигналів він декодує їх і передає відповідні команди до контролера польоту. Контролер польоту, своєю чергою, інтерпретує ці команди й регулює роботу моторів та інших систем дрона, забезпечуючи виконання команд пілота.

Завдяки приймачу, пілот може дистанційно керувати дроном, змінюючи його швидкість, напрямок руху, висоту польоту і виконуючи різноманітні маневри. Важливість приймача полягає в його ролі посередника між пілотом і дроном, без якого дистанційне управління було б неможливим. Таким чином, приймач є ключовим елементом, що забезпечує контроль і керованість FPV дрона як показано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Приймач Happymodel ES900RX ELRS 915MHz

1.7 Камера

Камера в FPV дроні є одним із найважливіших компонентів, який забезпечує пілоту можливість бачити те, що бачить дрон, в режимі реального часу. Це дозволяє пілоту керувати дроном так, ніби він знаходиться на борту, що є основною концепцією FPV (First Person View) польотів.

Основна функція камери в FPV дроні полягає в зніманні відео і передачі його на землю до пілота через відеопередавач. Камера захоплює зображення, які передаються на екран або окуляри пілота, забезпечуючи йому огляд навколишнього середовища з перспективи дрона. Завдяки цьому пілот може точно контролювати рухи дрона, облітаючи перешкоди, здійснюючи складні маневри виконуючи завдання, які потребують високої точності.

Камера також дозволяє здійснювати відеозапис польотів, що може бути корисно для аналізу польоту, створення відеоконтенту або навчання нових пілотів. Крім того, вона може бути оснащена додатковими функціями, такими як регулювання експозиції, баланс білого та інші налаштування, що покращують якість зображення в різних умовах освітлення.

Завдяки камері FPV дрон стає потужним інструментом для аерофотознімання, пошуково-рятувальних операцій, інспекції важкодоступних місць і просто для розваг. Камера забезпечує пілоту можливість бачити світ з висоти, отримуючи захопливі та корисні зображення в режимі реального часу.

Зовнішній вигляд камери показано на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Камера для FPV польотів

1.8 Відеопередавач

Відеопередавач у FPV дроні є ключовим компонентом, який відповідає за передачу відеосигналу від камери до наземного приймача, забезпечуючи пілоту зображення в режимі реального часу. Його основна функція полягає в тому, щоб захоплене камерою відео радіосигналом передавалось на екран або окуляри пілота.

Відеопередавач приймає аналоговий або цифровий відеосигнал від камери дрона і перетворює його в радіочастотний сигнал, який потім транслюється через антену. Важливою характеристикою відеопередавача є його потужність, яка визначає дальність і якість сигналу. Більша потужність дозволяє отримувати стабільне зображення на більшій відстані, але може вимагати більшого енергоспоживання.

Завдяки відеопередавачу пілот отримує безперервний потік відео з камери дрона, що є критичним для точного управління, особливо на великих відстанях або в умовах обмеженої видимості. Таким чином, відеопередавач є невіднятною частиною FPV системи, яка забезпечує можливість реалістичного і точного дистанційного управління дроном.

Приклад зображення відеопередавача на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Відеопередавач

1.9 Пропелери FPV-дрона

Пропелери в FPV дроні є важливими компонентами, які забезпечують тягу та стабільність польоту. Основна функція пропелерів полягає в створенні обертального руху, який генерує тягу, необхідну для підйому і руху в повітрі. Пропелери використовуються у парах або квадратних комплектах і розташовані на кожному куті рами дрона. Вони розраховані на співпрацю з моторами для максимальної ефективності та стабільності польоту. Кожен пропелер має свою форму, кут нахилу та розмір, які можуть впливати на тягу, швидкість і маневровність дрона.

Пропелери виготовляються з різних матеріалів, таких як пластик, карбон, алюміній тощо. Вони можуть мати різну кількість лопатень, що також впливає на характеристики польоту дрона. Наприклад, пропелери з більшою кількістю лопатень можуть забезпечити більшу стабільність, але можуть бути менш ефективними у використанні енергії.

Для вибору пропелерів важливо враховувати параметри моторів, розміри та конструкцію дрона, а також потреби у тязі й маневровість. Правильно підібрані пропелери дозволять досягти оптимальної продуктивності й ефективності польоту дрона, як зображено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Пропелери для дрона

1.10 Рама дрона

Рама в FPV дроні є основною конструкцією, на якій збираються всі інші компоненти, такі як мотори, контролер польоту, камера, відеопередавач і багато інших. Основна функція рами полягає в тому, щоб забезпечити міцну, легку і стабільну платформу для всіх цих елементів.

Рами для FPV дронів можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як карбонове волокно, алюміній, пластик чи титан. Кожен матеріал має свої переваги й недоліки. Наприклад, карбонові рами відомі своєю міцністю і легкістю, але можуть бути дорожчими, тоді як пластикові рами можуть бути менш міцними, але більш доступними за ціною.

Рами також мають різні конструкції та форми, такі як X-конфігурація, H-конфігурація, Stretch-X тощо. Кожна конфігурація має вплив на характеристики польоту дрона, такі як стійкість, швидкість і маневровість. Наприклад, рами з X-конфігурацією зазвичай відомі своєю стійкістю та точністю у керуванні, тоді як рами з H-конфігурацією можуть бути більш стабільними на великих швидкостях.

Під час вибору рами важливо враховувати такі фактори, як розмір, вага, конструкція і вимоги до польоту. Правильно обрана рама дозволить досягти оптимальної продуктивності та надійності дрона. На рис. 1.8 та рис. 1.9 показано X та H конфігурації.



Рисунок 1.8 – Рама з H-конфігурацією



Рисунок 1.9 – Рама з X-конфігурацією

1.11 GPS модуль

GPS модуль в FPV дроні є важливим компонентом, який забезпечує дрону можливість отримувати інформацію про своє географічне місце за допомогою супутникової навігації. Основна функція GPS модуля полягає в тому, щоб визначати географічні координати дрона (широту, довготу і висоту) з високою точністю.

GPS модуль отримує сигнали від супутників, які перебувають у геостаціонарній орбіті, і використовує їх для визначення місцеперебування дрона. Ця інформація може бути використана для різних цілей, таких як автоматичне повернення дрона до дому (Return to Home), фіксація точних координат для створення карт або для навігації під час автопілотованих польотів.

Додатково до визначення місцеперебування, GPS модуль може надавати додаткові дані, такі як швидкість, курс і час. Ці дані можуть бути використані для стабілізації польоту, автоматичного керування і маршрутизації дрона.

GPS модулі можуть мати різні характеристики, такі як кількість підтримуваних супутників, точність визначення місця і швидкість оновлення даних. При виборі GPS модуля важливо враховувати такі фактори, як його сумісність з іншими компонентами дрона, вимоги до точності та швидкості, а також ціна. Найбільш розповсюдженими протоколами для взаємодії з GPS модулем у FPV дронах є UART і I2C.

Приклад GPS модуля зображено на рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – GPS модуль для FPV дрона

1.12 Плата захвату та стеження

Плата захвату та стеження є спеціалізованим модулем у складі FPV/робототехнічної системи, який призначений для приймання відеосигналу з камери (або відеопередавача/приймача), його перетворення у цифровий формат та подальшої обробки для визначення положення об’єкта в кадрі. Фактично це міст між відеоканалом і системою керування: плата не лише отримує зображення, а й формує корисні дані для автоматизованого супроводу.

Основна функція плати відеозахвату полягає в тому, щоб стабільно приймати відеопотік і передавати його на обчислювальний блок (вбудований або зовнішній) із мінімальною затримкою. Залежно від реалізації, плата може підтримувати аналоговий відеосигнал (наприклад, композитний) або цифрові інтерфейси (HDMI/CSI/USB тощо), виконувати оцифрування, декодування та буферизацію кадрів.

Функція стеження (трекингу) полягає у визначенні координат цілі/об’єкта на зображенні та оцінці його руху між кадрами. Результатом такої обробки зазвичай є параметри типу: координати центру об’єкта (x, y), розмір рамки (width, height), напрям і швидкість зміщення в кадрі, а також ознака впевненості (ймовірність/score). Ці дані можуть використовуватися для автоматичного утримання об’єкта в центрі кадру, супроводу під час інспекційних польотів,

пошуку й відстеження рухомих об’єктів, або для посадки/позиціювання за візуальною міткою (наприклад, ArUco/AprilTag) у цивільних сценаріях.

Для взаємодії з іншими вузлами система зазвичай використовує один або кілька інтерфейсів: USB (передача відео на ПК/одноплатний комп’ютер), UART (телеметрія та передавання координат), SPI/I2C (для сенсорів і допоміжних модулів), а також протоколи обміну з контролером польоту чи автопілотом (залежно від платформи).

Приклад плати захвату зображено на рис. 1.11.



Рисунок 1.11 – Плата захвату та стеження

РОЗДІЛ 2 ВИБІР ДЕТАЛЕЙ ТА ПЕРИФЕРІЇ ДЛЯ ДРОНА

2.1 Вибір рами для дрона

Рама FPV дрона є його фундаментом, тому важливо обрати раму відповідно до наших потреб і очікувань. Матеріал, з якого виготовлена рама, грає ключову роль у її міцності та вагові. Карбонові волокна вважаються найкращим вибором для рам FPV дронів, оскільки вони поєднують у собі легкість та високу міцність. Однак рами з алюмінію або пластику також можуть бути вибраними, залежно від вашого бюджету та потреб.

Крім матеріалу, слід звернути увагу на розмір та дизайн рами. Розмір рами повинен відповідати розміру пропелерів, які ви плануєте використовувати, а також типу камери та інших електронних компонентів.

Мій вибір впав на раму яка коштує 650 грн з X-конфігурацією яка розроблена та виготовлена методом лиття з полімерного матеріалу з урахуванням всіх необхідних технічних характеристик та завдань з розміром у 8″ .

Вибір 8″ рами замість 7″ для FPV дрона може мати кілька переваг. По-перше, більша рама дозволяє використовувати довші пропелери, що може призвести до підвищення ефективності польоту та більшого підйому при тій же кількості обертів двигуна. Це може забезпечити кращу стабільність і плавність польоту, особливо корисну для фільмування, де важлива якість кадру.

Крім того, більша рама зазвичай має більше місця для встановлення додаткового обладнання, такого як більші батареї або додаткові сенсори, що може збільшити час польоту або розширити функціональність дрона. Також на 8″ рамі легше розмістити компоненти так, щоб вони не заважали одне одному, що спрощує обслуговування та модифікацію дрона.

Більша рама може бути стійкішою до вібрацій і зниження рівня шуму завдяки більшій масі та меншій чутливості до дрібних нерівностей під час польоту. Це може бути особливо корисним для знімання, де важлива чіткість і стабільність зображення. В цілому, 8″ рама може запропонувати покращені

аеродинамічні властивості та гнучкість у налаштуванні, що може бути вирішальним фактором для певних типів польотів і завдань.

Не вібрує в польоті, час збирання 2 хвилини, повністю діелектрична, радіопрозора. Зовнішній вигляд рами показано на рис. 2.1.

Універсальні типорозміри кріплення для всіх типів компонентів:

- кріплення камери;
- три типорозміри відеопередавача;
- кріплення стека;
- вивід XT та SMA;
- дистанціювання антени приймача.



Рисунок 2.1 – 8″ рама з полімерного матеріалу

2.2 Вибір моторів для дрона

При виборі мотора для FPV дрона головними аспектами є розмір мотора, який визначається діаметром і висотою статора, рейтинг KV, що вказує на кількість обертів на вольт, та тип дрона (перегоновий, фристайл і для фільмування).

Також враховуйте вагу дрона, розмір і тип пропелерів, а також сумісність з акумулятором та контролером польоту. Оптимальний вибір мотора забезпечує баланс між швидкістю, тягою та ефективністю для конкретних завдань.

Мій вибір пав на мотори від компанії YSIDO, а саме модель X2807 1300KV який показано на рис. 2.2 тому, що він повністю підходив для задач дрона, та по характеристикам які представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика мотора YSIDO X2807(1300KV)

Характеристика	Опис
Модель мотора	X2807(1300KV)
Розмір мотора	2807
KV рейтинг	1300
Максимальний струм	55 A
Кількість комірок	2-6S
Максимальна тяга	2570 г
Вага	48,6 г з силіконовим дротом



Рисунок 2.2 – YSIDO X2807(1300KV)

2.3 Вибір пропелерів для дрона

При виборі пропелерів для FPV дрона слід враховувати кілька головних аспектів. Перш за все, розмір пропелерів, який визначається діаметром і кроком, впливає на тягу і швидкість. Діаметр більший – більше тяги, а більший крок – вища швидкість, але більший струм споживання. Матеріал пропелерів також важливий: пластик легкий і дешевий, а карбон – міцний і дорогий. Вага пропелерів впливає на маневровість: легші пропелери забезпечують кращу реакцію. Форма і кількість лопатей також впливають на продуктивність, де більша кількість лопатей забезпечує кращу тягу, але знижує ефективність.

Я вибрав прозорі які показано на рис. 2.3 пропелери через їх оптимальні технічні характеристики. Вони мають діаметр 8″ і крок 4 дюйми, що забезпечує відмінний баланс між тягою і швидкістю. Матеріал полікарбонат гарантує високу міцність і легкість, що важливо для тривалого і надійного польоту. Пропелери мають три лопаті, що підвищує маневровість і стабільність під час виконання складних трюків. Їх жорсткість забезпечує відмінну продуктивність при мінімальному споживанні струму. Детальна характеристика представлена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика пропелерів

Характеристика	Опис
Модель пропелерів	Пропелери 8x4x3 для квадрокоптера 8″
Діаметр	8″
Крок	4″
Матеріал	Полікарбонат
Вага	13.5 г
Кількість лопатей	3
Форма лопатей	Симетрична
Продуктивність	Тяга і споживання струму
Колір	Прозорий

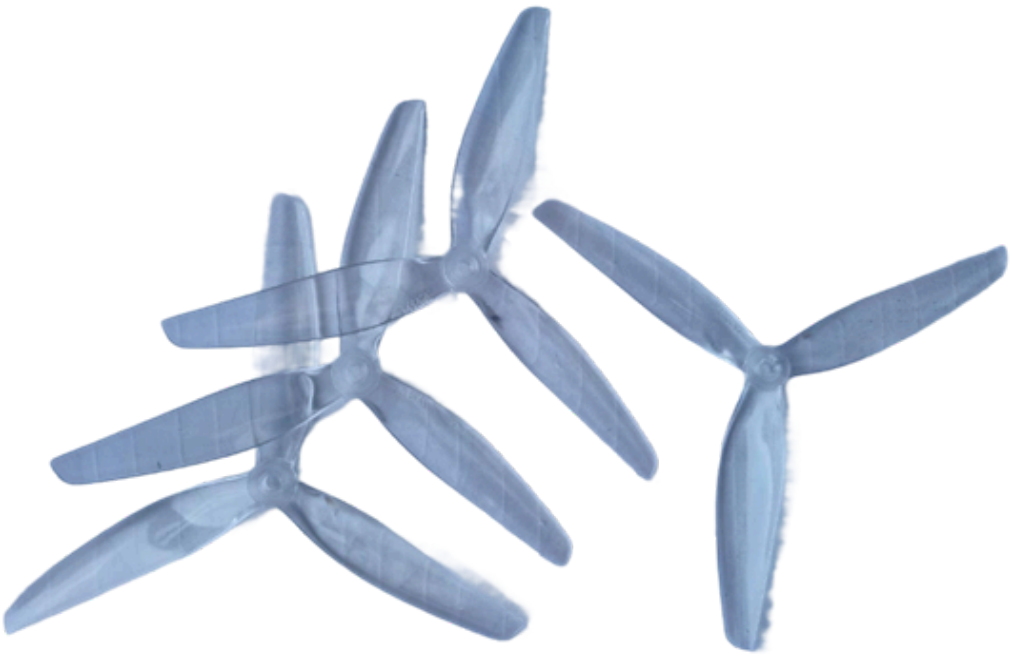


Рисунок 2.3 – Пропелери 8x4x3

2.4 Політний контролер для дрона

При виборі польотного контролера для FPV дрона важливо враховувати кілька основних аспектів. Перш за все, процесор контролера (F4, F7 або H7) впливає на його швидкість і можливості обробки даних. Розмір і вага контролера мають відповідати розмірам дрона, щоб уникнути проблем із розміщенням і балансом. Підтримка різних типів прошивки (Betaflight, Cleanflight, INAV тощо) забезпечує гнучкість у налаштуваннях і функціоналі.

Інтеграція з іншими компонентами дрона, такими як електронні регулятори швидкості (ESC), приймачі та датчики, також важлива. Бажано вибирати контролер з достатньою кількістю UART портів для підключення додаткового обладнання. Наявність вбудованого осцилятора (gyro) високої частоти оновлення допоможе поліпшити стабільність і точність польоту.

Розширені функції, такі як вбудований OSD (On-Screen Display) для відображення інформації про політ, підтримка чорних ящиків для аналізу даних польоту і можливість використання різних режимів стабілізації, додають додаткову цінність контролеру.

Надійність і популярність бренду також можуть бути важливими факторами при виборі, оскільки вони впливають на наявність підтримки та спільноти користувачів.

Я вибрав польотний контролер SpeedyBee F405 V3 через його видатні технічні характеристики, який зображено на рис. 2.4. Контролер оснащений процесором F4, що забезпечує швидку обробку даних і стабільність польоту. Вбудований OSD (On-Screen Display) дозволяє виводити інформацію про політ безпосередньо на екран, що є дуже зручним. Контролер підтримує різноманітні прошивки, зокрема Betaflight, і має достатню кількість UART портів для підключення додаткових компонентів, таких як GPS, приймачі та датчики. Також важливою є його сумісність з широким діапазоном напруги, що робить його універсальним для різних конфігурацій дронів. Надійність і популярність SpeedyBee F405 V3 серед спільноти FPV пілотів додатково підтверджують його

ефективність та функціональність. Детальна характеристика представлена в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика польотного контролера

Характеристика	Опис
Назва продукту	Контролер польоту SpeedyBee F405 V3 30x30
MCU	STM32F405
IMU (гіроскоп)	IMT270
Тип порту USB	Type-C
Барометр	Вбудований
Чіп OSD	Мікросхема AT7456E
BLE Bluetooth	Підтримується. Використовується для конфігурації контролера польоту
Слот для карт MicroSD Blackbox	Підтримується
Панель керування камерою BetaFlight	Так (накладка CC на передній стороні)
Вхід датчика струму	Підтримується. Для SpeedyBee BLS 50 A ESC встановіть масштаб = 386 і зміщення = 0.
Вхідна потужність	3S - 6S Li-Po, Li-On
Вихід 5 В	9 груп виходу 5 В, чотири колодки +5 В і 1 колодка BZ+ на передній стороні, а також 4 контактні панелі LED 5 В. Загальне навантаження по струму становить 2 А.
Вихід 9 В	2 групи виходу 9 В, одна колодка +9 В на передній стороні, а інша включена в роз’єм на нижній стороні. Загальне навантаження по струму становить 2 А.
Вихід 3,3 В	Підтримується. Призначений для приймачів з входом 3,3 В. Струмове навантаження до 500 мА.
Вихід 4,5 В	Підтримується. Призначений для приймача та GPS-модуля, навіть коли FC живиться через порт USB. Струмове навантаження до 1 А.

Характеристика	Опис
Сигнал ESC	M1 - M4 на нижній стороні та M5-M8 на передній стороні.
UART	6 наборів
Телеметрія ESC	UART R5 (UART5)
I2C	Підтримується. Накладки SDA і SCL на лицьовій стороні. Використовується для магнітометра, сонара тощо.
Традиційний світлодіодний планшет Betaflight	Підтримується. 5 В, G і світлодіодні панелі внизу передньої сторони. Використовується для світлодіодів WS2812, керованих мікропрограмою Betaflight.
Звуковий сигнал	Блоки BZ+ і BZ- використовуються для зумера 5 В
Кнопка BOOT	Підтримується.
Вхід RSSI	Підтримується. На лицьовій стороні позначено RS.
Smart Port / F.Port	Не підтримується
Підтримувана мікропрограма польотного контролера	BetaFlight (за замовчуванням), INAV (програмне забезпечення INAV може використовувати лише Multishot (рекомендовано) і OneShot125. Зверніть увагу, що DShot не підтримується.)
Цільова назва мікропрограми	SPEEDYBEEF405V3
Монтаж	30,5 x 30,5 мм (діаметр отвору 4 мм)
Розмір	41,6 (Д) x 39,4 (Ш) x 7,8 (В) мм
Вага	9,6 г

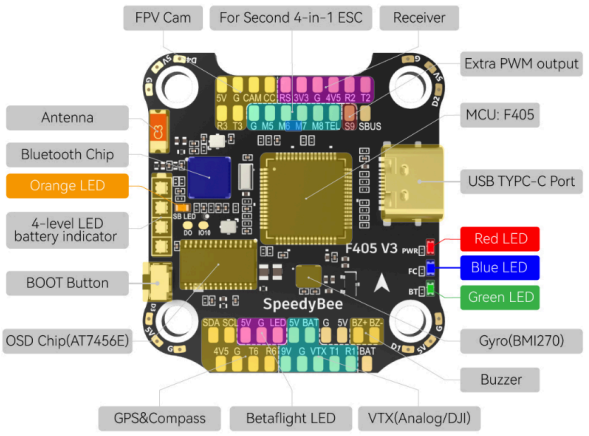


Рисунок 2.4 – Політний контролер та його порти підключення

2.5 Регулятор обертів

При виборі електронного регулятора швидкості (ESC) для FPV дрона слід враховувати кілька ключових аспектів. Перш за все, максимальний струм, який може витримувати ESC, повинен відповідати потужності ваших моторів, щоб уникнути перегріву або збоїв. Також важливо звернути увагу на кількість підтримуваних клітинок батареї (S), щоб ESC працював із вашим акумулятором. Підтримка різних протоколів (DShot, OneShot, Multishot) забезпечує швидку та точну передачу команд. Додатково, наявність вбудованого BEC (Battery Eliminator Circuit) може спростити живлення інших компонентів дрона. Надійність і популярність бренду також впливають на вибір, оскільки забезпечують кращу підтримку і сумісність.

Я вибрав регулятор обертів SpeedyBee BLS 50 A 30x30 4-в-1 ESC, зображення регулятора показано на рис. 2.5, який іде у стеку, через нього технічні характеристики. Цей ESC підтримує максимальний струм до 50 A, що ідеально підходить для високопродуктивних моторів, забезпечуючи стабільну і надійну роботу навіть при великих навантаженнях. Він сумісний із сучасними протоколами DShot, OneShot і Multishot, що дозволяє досягти високої швидкості та точності передачі команд до моторів, забезпечуючи плавний і швидкий відгук дрона на управління.

Додатково, наявність вбудованого BEC на 5 В / 2 A забезпечує живлення інших компонентів дрона, таких як приймачі, камери та інші сенсори, що спрощує конструкцію і зменшує вагу. ESC також має термозахист і захист від перевантаження, що підвищує надійність і довговічність системи.

Сумісність із польотним контролером SpeedyBee F405 V3 гарантує бездоганну інтеграцію та оптимальну продуктивність системи, забезпечуючи простоту встановлення та налаштування. Загалом, цей регулятор обертів пропонує ідеальне поєднання потужності, надійності та функціональності, що робить його чудовим вибором для мого FPV дрона. Детальна характеристика представлена в табл. 2.4.

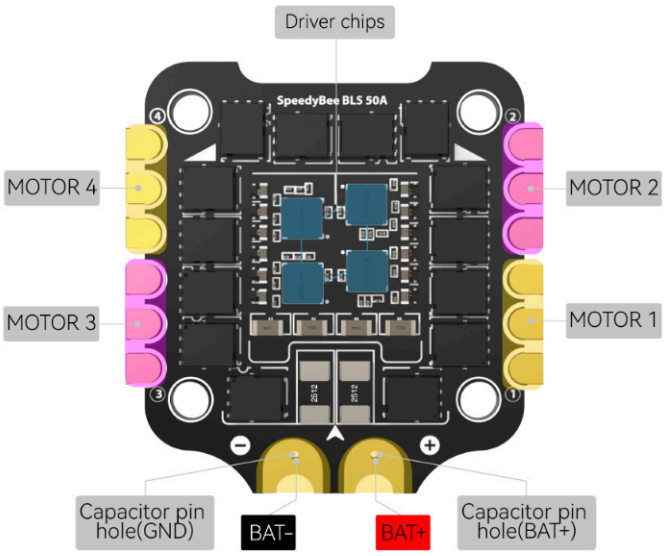


Рисунок 2.5 – Регулятор обертів

Таблиця 2.4 – Характеристика регулятора обертів

Характеристика	Опис
Назва продукту	SpeedyBee BLS 50 A 30x30 4-в-1 ESC
Прошивка	BLHeli_S JH50
Бездротова конфігурація	Повна конфігурація підтримується в додатку SpeedyBee
Безперервний струм	50 A * 4
Піковий струм	55 A (5 секунд)
TVS захисний діод	Так
Зовнішній конденсатор	Конденсатор 1000 мкФ з низьким ESR
Протокол ESC	DSHOT300/600
Вхідна потужність	3-6S Li-Po, Li-On
Вихідна потужність	VBAT
Телеметрія ESC	Не підтримується
Монтаж	30,5 x 30,5 мм (діаметр отвору 4 мм)
Розмір	45,6 (Д) * 44 (Ш) * 6,1 мм (В)
Вага	13,8 г

2.6 Відеопередавач для дрона

При виборі відеопередавача (VTX) для FPV дрона слід враховувати кілька основних аспектів. Перш за все, потужність передачі (mW) впливає на дальність сигналу: більша потужність забезпечує кращу дальність, але може збільшувати споживання енергії та нагрівання. Діапазон частот і кількість каналів важливі для уникнення перешкод та забезпечення чистого сигналу. Підтримка Smart Audio або Tramp протоколів дозволяє налаштовувати параметри VTX прямо з контролера польоту. Розмір і вага VTX повинні відповідати конструкції вашого дрона. Наявність вбудованого мікрофона може бути корисною для запису звуку під час польоту.

Мій вибір TS582000 відеопередавача був обумовлений його високою ефективністю та надійністю. Він має потужність передачі до 2000 мВт, що забезпечує відмінну дальність сигналу і стабільність зображення. Підтримка частотного діапазону 5.8 ГГц з великою кількістю каналів дозволяє уникати перешкод і забезпечувати чистий сигнал. Підтримка Smart Audio протоколу дає змогу легко налаштовувати параметри VTX прямо з контролера польоту. Компактний розмір і легка вага забезпечують простоту інтеграції. Крім того, відеопередавач оснащений радіаторами з обох боків і вбудованим кулером для кращого охолодження, що запобігає перегріванню і забезпечує стабільну роботу навіть при високих навантаженнях.

Детальна характеристика відеопередавача представлена в табл. 2.5, а також його зображення показано на рис. 2.6.

Таблиця 2.5 – Характеристика відеопередавача

Характеристика	Опис
Назва моделі	TS582000
Вихідна потужність	2000 мВт
Робоча напруга	8 В-25 В (2S-6S)

Характеристика	Опис
Робочий струм	800 мА (тестування 12 В)
Канал	48CH
Формат відео	NTSC/PAL
Вихідна напруга	5 В/вхідна напруга
Інтерфейс антени	SMA (внутрішня зовнішня різьба)
Вага	30 г

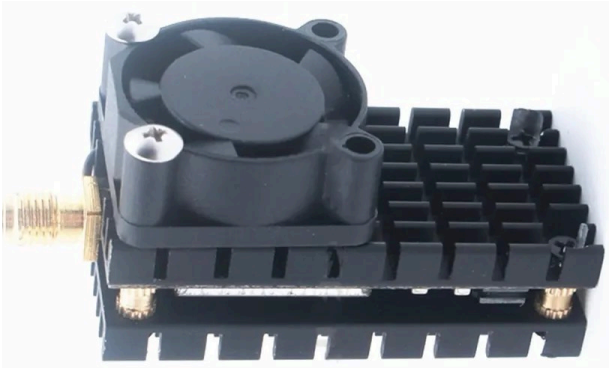


Рисунок 2.6 – Відеопередавач TS582000

2.7 Радіоприймач для дрона

При виборі радіоприймача для FPV дрона варто враховувати кілька ключових аспектів. Перш за все, сумісність із передавачем важлива для забезпечення стабільного з'єднання. Діапазон частот і кількість каналів впливають на якість сигналу та можливість уникнення перешкод. Чутливість приймача визначає його здатність приймати слабкі сигнали, що важливо для дальності польоту. Підтримка сучасних протоколів, таких як SBUS, ELRS, і CRSF, забезпечує швидку та точну передачу команд. Також важливі розмір і вага приймача для зручної інтеграції в конструкцію дрона.

Мій вибір на користь радіоприймача BAYCK ExpressLRS 915 MHz NANO обумовлений його технічними характеристиками та надійністю. Перш за все, він працює на частоті 915MHz, що забезпечує більшу дальність і стійкість сигналу навіть у складних умовах. Сумісність з протоколом ExpressLRS гарантує швидку і

точну передачу команд з мінімальною затримкою, що особливо важливо для FPV польотів. Компактний розмір і легка вага дозволяють легко інтегрувати його в конструкцію дрона без додаткових ускладнень. Крім того, високочутливий приймач забезпечує стабільний прийом сигналу на великій відстані, що розширює можливості для тривалих і віддалених польотів.

Детальна характеристика приймача представлена в табл. 2.6, а також його зображення показано на рис. 2.7.

Таблиця 2.6 – Характеристика приймача

Характеристика	Опис
Модель	ExpressLRS 915MHz NANO
Частота	915 МГц
Антенна	Т-подібна
Чип	SX 1276+ESP 8285
Прошивка	ExpressLRS
Потужність	100 mW
Вхідна напруга	3.6 В - 5.5 В
Тип конектора	IPEX1
Вага без антени	0.6 г
Розмір	11 х 18 мм



Рисунок 2.7 – Приймач на частоті 915 Mhz

2.8 Камера для дрона

При виборі камери для FPV дрона слід враховувати кілька основних аспектів. Перш за все, роздільна здатність камери визначає якість зображення. Більша роздільна здатність забезпечує чіткіше відео. Поле зору (FOV) впливає на оглядовість, ширший кут дозволяє бачити більше, але може створювати ефект риб'ячого ока. Затримка відеосигналу важлива для швидких реакцій, тому низька затримка є критичною для FPV польотів. Світлочутливість камери визначає її здатність працювати в умовах низької освітленості, що важливо для польотів при недостатньому освітленні. Також важливо враховувати розмір і вага камери для зручної інтеграції в дрон. Надійність бренду та сумісність з іншими компонентами також можуть вплинути на вибір.

Мій вибір камери Caddx Ratel 2 обумовлений її чудовою продуктивністю та надійністю. Вона забезпечує роздільну здатність 1200TVL, що дає дуже чітке і деталізоване зображення. Сенсор 1/1.8" з технологією Starlight HDR забезпечує високу світлочутливість, дозволяючи отримувати якісне відео навіть при слабкому освітленні. Камера підтримує співвідношення сторін 16:9 і 4:3, а також режими NTSC і PAL, що забезпечує гнучкість у налаштуваннях. Її компактний розмір і легка вага роблять її ідеальною для інтеграції в FPV дрон.

Детальна характеристика камери представлена в табл. 2.7, а також його зображення показано на рис. 2.8.

Таблиця 2.7 – Характеристика камери

Характеристика	Опис
Модель	Caddx Ratel 2
Матриця	1/1.8" CMOS Starlight HDR
Горизонтальна роздільність	1200TVL
Лінза	2.1 мм FOV 165°
Формат зображення	16:9 / 4:3

Характеристика	Опис
ТВ система	NTSC & PAL
WDR	Super WDR
DNR	3-DNR
Мінімальне освітлення	0.0001 lux Starlight
Синхронізація	Внутрішня
Мінімальна затримка	8 мс
OSD	Так
Живлення	5-40 В
Розмір	19 x 19 x 20 мм
Вага	5.9 г



Рисунок 2.8 – Камера Caddx Ratel 2

2.9 GPS модуль

При виборі GPS для FPV дрона важливо враховувати кілька ключових аспектів. По-перше, точність визначення координат є критичною для навігації та повернення додому. Підтримка різних систем супутників, таких як GPS,

GLONASS, і Galileo, підвищує надійність і точність. Частота оновлення (вимірюється в Герцах) впливає на швидкість оновлення даних про місцеперебування. Важливими є також розмір і вага GPS-модуля, оскільки вони повинні відповідати конструкції дрона. Наявність функцій, таких як компас та барометр, додатково покращує навігаційні можливості. Сумісність із польотним контролером та програмним забезпеченням також є важливим фактором.

Я вибрав GPS модуль Beitian BN-880Q завдяки його високій точності та надійності. Цей модуль підтримує кілька супутникових систем, таких як GPS, GLONASS і Galileo, що забезпечує високу точність і швидкість фіксації координат. Частота оновлення в 10 Гц гарантує швидке оновлення даних про місцеперебування, що важливо для стабільного польоту та точного повернення додому. Компактний розмір і легка вага роблять його зручним для інтеграції в конструкцію дрона. Крім того, наявність вбудованого компаса і барометра покращує навігаційні можливості, забезпечуючи більш точне позиціювання.

Детальна характеристика камери представлена в табл. 2.8, а також його зображення показано на рис. 2.9.

Таблиця 2.8 – Характеристика GPS модуля

Характеристика	Опис
Модель	GPS модуль BN-880Q GPS+Glonass
Частота	LPS L1, ГЛОНАСС L1, BEIDOU B1, GALILEO E1, SBAS L1, QZSS L1
Режим роботи	GPS, ГЛОНАСС, BEIDOU, GALILEO, SBAS та QZSS (за замовчуванням GPS+GLAONASS+SBAS+QZSS)
Канал	72 пошукових каналів
Чутливість приймання	Відстеження -167 дБм, повторне захоплення -160 дБм, холодний старт -148 дБм, гарячий старт -156 дБм.
Точність	Горизонтальна точність 2,0 м CEP 2D RMS Допомога SBAS (відкритий

Характеристика	Опис
	простір)
Точність швидкості	0,1 м/с 95% (SA вимк.)
Точність часу	1us
Час запуску	Холодний старт 26 с / теплий старт 25 с / гарячий старт 1 с
Вихідні дані	Швидкість передачі 4800-921600 біт/с, за умовчанням 9600 біт/с
Вихідний рівень	ТТЛ
Вихідний протокол	NMEA-0183 або UBX, протокол за промовчанням NMEA-0183
Пропозиції NMEA	RMC, VTG, GGA, GSA, GSV, GLL
Частота поновлення	1 Гц - 10 Гц, за замовчуванням 1 Гц
FLASH	4M FLASH, конфігурація може бути змінена і не буде втрачена після вимкнення живлення
Робоча межа	Висота трохи понад 50 000 м; Швидкість: 515 м/с. Прискорення вільного падіння 4g
Напруга	3,0-5,5 В постійного струму, типове значення: 5,0 В
Струм	нормальний 50 мА при 5,0 В
Розмір	28 мм * 28 мм * 8 мм
Вага	12 г



Рисунок 2.9 – GPS модуль з компасом Beitian BN-880Q

2.10 Антена для дрона

При виборі антени для FPV дрона слід враховувати кілька основних аспектів. По-перше, тип антени (поляризація): кругова поляризація (RHCP або LHCP) забезпечує кращий прийом сигналу при нахилах і обертах дрона. Діапазон частот антени повинен відповідати діапазону вашого передавача. Коефіцієнт підсилення (вимірюється в dBi) впливає на дальність і напрямок сигналу: вищий коефіцієнт підсилення забезпечує більшу дальність, але з менш широким кутом охоплення. Розмір і вага антени важливі для мінімізації впливу на аеродинаміку і загальну вагу дрона. Також важливо враховувати матеріал і якість виготовлення антени для забезпечення надійності та довговічності.

Я вибрав антену Foxeer Micro Lollipop 5.8G 2.5dBi RHCP через її технічні характеристики та надійність. Вона має кругову поляризацію RHCP, що забезпечує стабільний прийом сигналу навіть при нахилах і обертах дрона. Коефіцієнт підсилення 2.5dBi забезпечує хороший баланс між дальністю і шириною кута охоплення сигналу. Антена працює в діапазоні 5.8 ГГц, що сумісно з моїм передавачем. Компактний розмір і легка вага мінімізують вплив на аеродинаміку і загальну вагу дрона. Якість матеріалів і виготовлення Foxeer гарантує довговічність і надійність у польотах.

Детальна характеристика камери представлена в табл. 2.9, а також його зображення показано на рис. 2.10.

Таблиця 2.9 – Характеристика GPS модуля

Характеристика	Опис
Частота	5.8 ГГц
Посилення	2.5 dBi
Смуга пропускання	5.5 - 6 ГГц
VSWR	< 1.06
Осьове відношення	1
Ефективність	98%
Поляризація	RHCP
Матеріал корпусу	PC + ABS
Кабель	51 мм, RG178 SFX086
Характеристика	Опис
Довжина антени	11 х 65 мм
Вага	4.7 г



Рисунок 2.10 – Антена Foxeer Micro Lollipop 5.8G 2.5dBi

2.11 Живлення дрона

При виборі акумулятора для FPV дрона слід враховувати кілька ключових аспектів. По-перше, напруга визначає потужність і продуктивність дрона; найпоширеніші варіанти – 4S (14.8 В) і 6S (22.2 В). Ємність акумулятора впливає на тривалість польоту. Більша ємність забезпечує довший політ, але додає вагу. Рейтинг C (показник розряду) визначає, наскільки швидко акумулятор може віддавати енергію: вищий рейтинг C забезпечує кращу продуктивність при високих навантаженнях. Важливими також є розміри та вага акумулятора для збереження балансу і керованості дрона. Також тип роз'єму для сумісності з обладнанням.

Мій вибір на користь збірки з 6SP1 Li-On Samsung 40T 4000 mAh, 40 A, яку я сам зробив, був обумовлений її видатними характеристиками, які забезпечують оптимальну продуктивність для мого FPV дрона. По-перше, ця батарея має напругу 6S (22.2 В), що забезпечує високу потужність і продуктивність дрона. Ємність 4000mAh дозволяє досягти тривалого часу польоту, що є важливим для тривалих місій. Рейтинг розряду 40A гарантує стабільний і високий струм, необхідний для потужних маневрів і високих навантажень. Крім того, Samsung 40T відомі своєю надійністю і тривалістю життя, що додає впевненості у стабільній роботі дрона.

Зовнішній вигляд акумулятора показано на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Збірка 6SP1 на Li-On Samsung 40T 4000mAh

2.12 Радіоапаратура для керування дроном

При виборі радіоапаратури для FPV дрона важливо враховувати кілька ключових аспектів. Перш за все, сумісність з приймачем і протоколами є критичною для забезпечення стабільного зв'язку. Дальність дії пульта визначає, наскільки далеко ви зможете керувати дроном без втрати сигналу. Ергономіка та зручність використання впливають на комфорт під час тривалих польотів. Також важливі кількість каналів, які дозволяють керувати різними функціями дрона, та наявність програмованих налаштувань для персоналізації управління. Додаткові функції, такі як телеметрія та вбудований екран, можуть бути корисними для моніторингу стану дрона в реальному часі.

Я обрав радіоапаратуру RadioMaster TX12 MKII (ELRS 2.4 ГГц) завдяки його чудовим технічним характеристикам і надійності.

TX12 Mark II – бюджетний та найкомпактніший пульт керування від виробника RadioMaster з прошивкою EdgeTX, регульованими стіками з датчиками Холла та можливістю підключення зовнішніх передавальних модулів.

Підтримка до 16 каналів для керування, внутрішній передавальний модуль ExpressLRS (SX1280), знімна антена, прошивка EdgeTX. Для навігації по меню встановлено металевий ролик та кнопки для зміни параметрів.

RadioMaster TX12 MKII повністю сумісний з далекобійними модулями TBS Crossfire Micro, Frsky R9M та іншими сумісними з прошивкою OpenTX. Зовнішній модуль може бути під'єднаним завжди, одночасно працює тільки один модуль, зовнішній або внутрішній, потрібний модуль для роботи перемикається в меню.

Великий акумуляторний відсік дозволяє встановити 2S LiPo акумулятор досить великої ємності або можна встановити два Li-ion акумулятора типорозміру 18650 в спеціальний кейс, який входить в комплект.

TX12 Mark II оснащено вбудованим USB-C (QC3) зарядним пристроєм для 2S Li-ion та LiPo акумуляторів. Зарядне має сенсор для захисту акумулятора, а також функцію балансування 2S акумуляторів.

Детальна характеристика радіоапаратури представлена в табл. 2.10, а також його зображення показано на рис. 2.12.

Таблиця 2.10 – Характеристика радіоапаратури для дрона

Характеристика	Опис
Модель	RadioMaster TX12 MKII
Канали	16
Частота передавача	2.400 ГГц - 2.480 ГГц
Модуль передавача	Внутрішній модуль ExpressLRS
Радіус дії передавача	2 кілометрів (залежно від радіоприймача)
Потужність модуля	10 мВт, 25 мВт, 50 мВт, 100 мВт,
Сенсор	Hall
Відсік для модуля	Micro (сумісний з TBS Crossfire Micro)
Прошивка передавача	EdgeTX (сумісність з OpenTX)
Дисплей	2.1 - дюйми (128x64) монохромний LCD екран
Карта пам'яті	microSD (256 Мб)
Робоча напруга	6.6 - 8.4 В (Li-ion 18650 x2, Li-ion 21700 x2, 2S Li-Po)
Розміри	170x159x108 мм
Вага	407 г



Рисунок 2.12 – RadioMaster TX12 MKII

Зважаючи на характеристики моєї радіоапаратури, з'являється технічна неспроможність здійснення зв'язку з дроном, оскільки приймач працює на частоті 915 МГц, в той час, як передавач працює на частоті 2.4 ГГц. Ця несумісність частот робить зв'язок між ними неможливим. Однак у моєму пульті керування передбачена можливість підключення зовнішнього приймача.

Шляхом встановлення зовнішнього модуля приймача, можливо усунути цю неспроможність, дозволяючи передавачу та приймачу встановити зв'язок між собою та обмінюватися даними. Цей процес може бути вирішальним у розв'язання проблеми несумісності частот та відкриває шлях до подальшого розвитку системи керування дроном.

Мій вибір впав на зовнішній модуль Happymodel ES900TX ELRS 915MHz. Він являє собою пристрій для бездротової передачі даних на великі відстані з частотою 915MHz, розроблене і зпроєктований на основі відкритого програмного забезпечення ExpressLRS. Даний модуль відрізняється дуже великою дальністю, стабільною роботою, низькою затримкою і працює за принципом plug and play. Алюмінієвий радіатор спеціально адаптований для стабільної роботи модуля в умовах високої потужності.

Happymodel ES900TX сумісний з більшістю пультів дистанційного управління з прошивкою OpenTX та EdgeTX, зокрема Radiomaster TX12.
Детальна характеристика радіоапаратури представлена в табл. 2.11, а також його зображення показано на рис. 2.13.

Таблиця 2.11 – Характеристика зовнішнього модуля

Характеристика	Опис
Модель	Happymodel ES900TX ELRS 915MHz JR
Частота	915 МГц
Максимальна вихідна потужність	< 33dBm
Вхід VCC	5 - 13 В, рекомендується 5 - 9 В
Процесор	ESP32 + ESP8285
RF чіп	SX1276IMLTRT
Завантаження прошивки	WiFi або ExpressLRS конфігуратор
Антенний роз'єм	SMA jack
Розмір	55 x 39 x 11 мм
Вага	23 г



Рисунок 2.13 – Зовнішній модуль

2.13 Відеошолом для дрона

При виборі шолома або окулярів для FPV дрона варто враховувати кілька ключових аспектів. По-перше, роздільна здатність і якість дисплея впливають на чіткість зображення. Важливим є поле зору (FOV), яке визначає оглядовість та занурення у політ. Наявність приймача з подвійним (dual) або багатоантенним (diversity) прийманням сигналу підвищує стабільність і якість відеозв'язку. Комфорт та підгонка також мають значення, оскільки окуляри або шолом повинні бути зручними для тривалого носіння. Також важливо звернути увагу на сумісність з різними типами відеопередавачів та підтримку запису DVR (Digital Video Recorder).

Я вибрав відеошолом Skyzone Cobra X V4 завдяки його видатним характеристикам, які забезпечують відмінний досвід польотів. Перш за все, він має високу роздільну здатність дисплея 1280x720, що забезпечує чітке та деталізоване зображення. Широке поле зору 50° дає глибоке занурення в політ. Приймач з подвійним антенним прийманням (diversity) підвищує стабільність і якість відеозв'язку, зменшуючи перешкоди. Шолом також має вбудований DVR для запису польотів, що дозволяє переглядати та аналізувати відео після польоту. Його комфортна конструкція забезпечує зручність при тривалому використанні.

Детальна характеристика радіоапаратури представлена в табл. 2.12, а також його зображення показано на рис. 2.14.

Таблиця 2.12 – Характеристика відеошолома

Характеристика	Опис
Модель	Skyzone Cobra X V4
Тип екрана	LCD 4.1
Роздільна здатність	1280x720
Кут огляду	50
Співвідношення сторін	4:3, 16:9
Формат ТБ	NTSC, PAL, автоматичний вибір

Характеристика	Опис
Приймач	RapidMix SteadyView із частотою 5.8G, 48 каналів
Роз'єм антен приймача	SMA jack
Джерело живлення	1 x 18650 Li-ion, DC 6.5 - 25.2 В, USB 5 В
Споживана потужність	DC: 12 В 0.63 А, USB: 5 В 1.5 А
DVR кодек	H264, 60 fps, MOV 6 Mbps
Карта пам'яті	SD до 128Gb (клас 10)
Head Tracker	3-осьовий акселерометр, 3-осьовий гіроскоп
Розміри	190 x 150 x 110 мм
Вага	332 г



Рисунок 2.14 – Skyzone Cobra X V4

2.14 Вибір плати стеження та автонаведення

При виборі плати захвату та стеження для FPV-платформи важливо враховувати кілька ключових аспектів. По-перше, сумісність із відеотрактом: плата має коректно працювати з типом відеосигналу та параметрами камери (формат, роздільна здатність/якість, кут огляду). По-друге, швидкодія та частота оновлення, адже саме від них залежить стабільність супроводу в динамічних умовах. По-третє, масо-габаритні показники та монтажні розміри, щоб модуль можна було надійно встановити на рамі без погіршення центрування та без зайвих вібрацій. Також важливими є енергоспоживання і вимоги до живлення, оскільки додаткове навантаження впливає на автономність дрона.

Для реалізації задачі візуального супроводу об’єкта я обрав плату захвату та трекінгу через поєднання параметрів, які є критичними для FPV-системи. Згідно з відкритим описом характеристик, плата підтримує роботу з аналоговим відео у форматі PAL/NTSC та орієнтується на використання з камерами рівня ≥1000 TVL, що добре узгоджується з типовими FPV-камерами. Важливою перевагою є частота оновлення 50 Гц, яка підвищує плавність і стійкість роботи трекінгу, а також заявлена швидкість відстежування ±32 пікселі/поле й допустимий діапазон розміру об’єкта 16×16 – 128×128 пікселів, що спрощує підбір умов спостереження та масштабу в кадрі. Додатково, плата має невелику масу (17,5 г ± 0,5 г) і компактні габарити, а монтажний шаблон 30,5×30,5 мм полегшує інтеграцію в типові кріплення FPV-рам.

Окремо враховано енергоспоживання: у характеристиках зазначено 0,8 А та 4 Вт. Це прийнятне навантаження для системи живлення дрона за умови коректного підключення до стабілізованої лінії живлення.

Детальна характеристика плати представлена в табл. 2.13, а її зображення наведено на рис. 2.15.

Таблиця 2.13 – Характеристика плати захвату та стеження

Характеристика	Опис
Швидкість відстежування	±32 пікселі/поле
Мінімальний контраст	5%
Розмір об’єкта в кадрі	16×16 – 128×128 пікселів
Частота оновлення	50 Гц
Енергоспоживання	0,8 А; 4 Вт
Маса	17,5 г ± 0,5 г
Габарити	50,0×42,0×6,8 мм
Монтажні розміри	30,5×30,5 мм; висота проставок 3 мм
Кут огляду (підтримуваний)	60° – 160°
Вимоги до камери	≥1000 TVL
Формат відео	PAL/NTSC



Рисунок 2.15 – Плата стеження та автонаведення

РОЗДІЛ 3 ЗБІРКА ДРОНА

3.1 Підготовка до збирання дрона

Підготовка робочого місця для збирання FPV дрона починається з вибору відповідного простору. Потрібно вибрати чисту, добре освітлену та провітрювану поверхню з великим столом. Переконайтеся, що у вас є достатньо місця для розміщення всіх необхідних інструментів та компонентів. На стіл варто розкласти всі необхідні інструменти: викрутки, паяльник, пінцет, термоусадку, кусачки, мультиметр та паяльну станцію для зручного доступу під час роботи.

Організувати компоненти дрона (рама, мотори, регулятори обертів, контролер польоту, пропелери, акумулятор, VTX, камера, GPS, радіоприймач, антени, плата захоплення) у доступному порядку. Використовувати контейнери або підставки для дрібних деталей, щоб вони не загубилися під час збирання. Розташування компонентів у логічному порядку допоможе вам швидко знайти необхідні деталі під час роботи.

Щоб уникнути пошкодження електронних компонентів статичною електрикою, використовуйте антистатичний браслет або килимок. Це особливо важливо при роботі з чутливими електронними частинами. Захист від статичної електрики гарантує, що всі компоненти залишаться у справному стані під час збирання.

Забезпечте безпеку та зручність під час роботи. Мати під рукою захисні окуляри та рукавички, якщо це необхідно. Організувати робоче місце так, щоб був легкий доступ до всіх інструментів та компонентів. Комфортне робоче місце допоможе працювати ефективніше та уникнути помилок.

Також важливо мати під рукою документацію та інструкції до компонентів. Інструкції збирання та схеми підключення компонентів повинні бути доступними для швидкого перегляду. Це дозволить орієнтуватися у процесі збирання та уникати можливих помилок.

Такий підхід до підготовки робочого місця забезпечить комфортні умови для ефективного та безпечного збирання FPV дрона.

Етапи збірки дрона:

- збірка рами;
- встановлення моторів;
- підключення регулятора обертів (ESC);
- встановлення контролера польоту;
- підключення приймача (RX);
- підключення камери;
- підключення відеопередавача (VTX);
- підключення GPS;
- підключення плати захоплення
- монтаж акумулятора та пропелерів.

3.2 Збірка рами

Для початку необхідно розпакувати всі частини рами та перевірити наявність усіх необхідних компонентів. У даній конфігурації дрона рама складається з таких елементів:

- верхня пластина;
- нижня пластина;
- пластина для закріплення променів;
- 4 промені;
- кріплення для камери.

Для забезпечення надійного кріплення компонентів і запобігання їхньому розкручуванню буде використовуватися фіксатор різьби Zollex 245 синій. Зображення фіксатора наведене на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Фіксатор різьби

3.3 Встановлення моторів

Перед встановленням моторів важливо провести перевірку на наявність будь-яких механічних пошкоджень. Після цього виміряємо довжину дротів до регулятора обертів та обрізаємо лишнє. Для забезпечення надійності та захисту дротів рекомендується використовувати захисну сітку.

Після виконання цих кроків можна розпочинати кріплення моторів на променях та обробки гвинтів, які будуть їх закріпляти, за допомогою фіксатора різьби. Завершальним етапом буде закріплення дротів за допомогою стяжок, що забезпечить додаткову фіксацію та естетичний вигляд системи. Фінальний результат цього етапу показано на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Закріплення моторів

3.4 Підключення регулятора обертів (ESC)

Перед встановленням ESC (електронного регулятора швидкості) необхідно ретельно перевірити наявність усіх компонентів та радіоелементів на регуляторі. Після перевірки можна розпочинати прикріплення його до рами. Кріплення здійснюється за допомогою гвинтів, відповідно до передбачуваної конструкції.
Після монтажу переходимо до паяння силових проводів, конденсатора та моторів згідно зі схемою, зображеною в Додатку А. Фінальний результат продемонстровано на рис. 3.3.

Щоб забезпечити надійне з'єднання та уникнути потенційних проблем, слід використовувати високоякісний паяльник з регульованою температурою та припій з високим вмістом срібла. Це забезпечить міцні та стійкі з'єднання, які витримають високі струми та механічні навантаження під час роботи дрона. Крім того, важливо приділити увагу правильній ізоляції паяних з'єднань, щоб уникнути коротких замикань та пошкоджень електроніки.



Рисунок 3.3 – Підключення регулятора обертів

3.5 Встановлення контролера польоту

Розміщуємо контролер поверх електронного регулятора швидкості (ESC) і перевіряємо, чи достатньо простору між ними. Це необхідно, щоб запобігти контакту між платами, який може призвести до короткого замикання, а також для ефективного використання демпферних гумових вставок для зменшення вібрацій. Далі під'єднуємо польотний контролер до ESC за допомогою шлейфа, що постачається в комплекті зі стеком. Приклад підключення наведено на рис. 3.4.

Для уникнення електромагнітних завад і забезпечення стабільної роботи всі з'єднання повинні бути надійно закріплені та ізольовані. Це зменшить ризик несправностей під час експлуатації дрона. Також варто звернути увагу на правильне розташування та фіксацію всіх компонентів, щоб уникнути їх зміщення під час польоту.

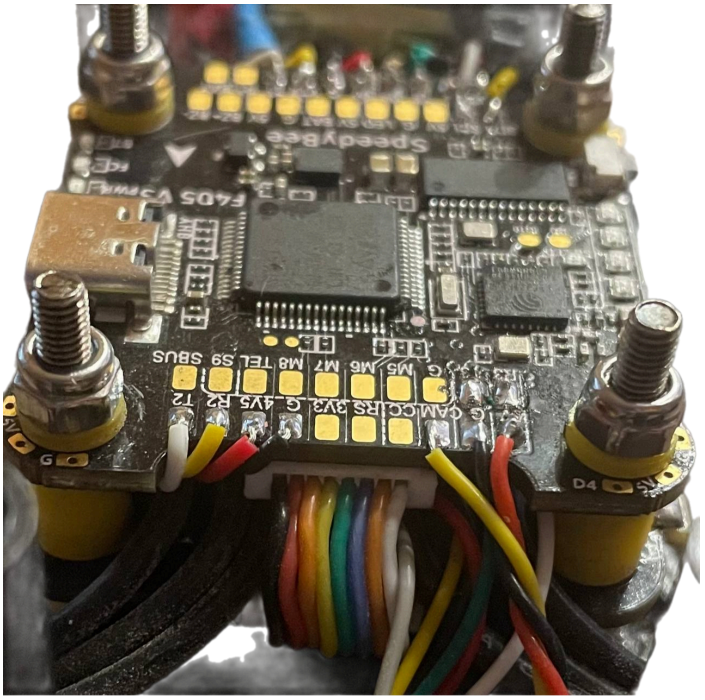


Рисунок 3.4 – З’єднання шлейфом ESC та FC

3.6 Підключення приймача RX

Для підключення приймача до контролера польоту необхідно ознайомитися зі схемою підключення всіх пристроїв, яку представлено в Додатку Б. Схема детально демонструє, які роз'єми використовувати та як правильно приєднати кожен компонент для забезпечення оптимальної роботи системи. Важливо дотримуватися цих рекомендацій, щоб уникнути помилок у підключенні та забезпечити стабільну передачу сигналів.

Окрім правильної установки, варто звернути увагу на налаштування приймача та контролера польоту. Після фізичного підключення необхідно перейти до програмного налаштування, де конфігуруються параметри зв'язку між приймачем і контролером. Це включає вибір відповідного протоколу зв'язку, калібрування каналів та перевірку коректності передачі даних. Виконання цих налаштувань гарантує, що всі команди з передавача будуть правильно інтерпретовані контролером польоту, що забезпечить точність і безпеку під час керування дроном.

3.7 Підключення камери

Для підключення камери Caddx Ratel 2 до контролера польоту необхідно скористатися схемою підключення, що міститься в Додатку Б. Ця схема детально показує, які роз'єми використовувати для підключення камери до відеопередавача та контролера польоту, а також послідовність підключення. Важливо точно слідувати цим інструкціям, щоб забезпечити стабільне живлення та передачу відеосигналу.

Для забезпечення оптимальної роботи камери Caddx Ratel 2 необхідно також звернути увагу на її розташування на дроні. Камера повинна бути встановлена таким чином, щоб забезпечити широкий кут огляду і мінімізувати вплив вібрацій. Крім того, варто врахувати положення кабелів, щоб уникнути їх пошкоджень або впливу на інші компоненти. Встановлення камери показано на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Встановлення камери

3.8 Встановлення відеопередавача VTX

Для встановлення відеопередавача (VTX) необхідно ознайомитися зі схемою підключення, що міститься в Додатку Б. Ця схема детально показує, як під'єднати VTX до контролера польоту та інших компонентів дрона. Важливо точно дотримуватися цих інструкцій, щоб забезпечити стабільне живлення та передачу відеосигналу.

Для оптимальної роботи відеопередавача важливо правильно його розмістити на дроні. VTX повинен бути встановлений так, щоб забезпечити ефективне охолодження та уникнути перегріву. Використання тепловідвідних матеріалів та встановлення VTX у добре вентильованому місці допоможе зменшити ризик перегріву. Крім того, слід врахувати положення антен для забезпечення максимальної якості сигналу. Встановлений відеопередавач показано на рис. 3.6.

Завершальним етапом монтажу є підключення антени до VTX. Важливо використовувати антену, що відповідає технічним характеристикам відеопередавача, для забезпечення оптимальної передачі сигналу. Переконайтеся, що всі з'єднання надійно закріплені та ізольовані, щоб уникнути пошкоджень під час польоту.

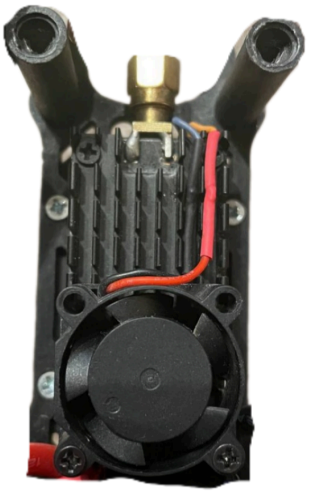


Рисунок 3.6 – Встановлення відеопередавача

3.9 Підключення GPS модуля

Для встановлення GPS-модуля на дрон необхідно скористатися схемою підключення, що міститься в Додатку Б. Ця схема детально показує, як під'єднати GPS до контролера польоту та інших компонентів. Важливо точно дотримуватися цих інструкцій, щоб забезпечити правильну роботу системи навігації.

Після фізичного монтажу GPS-модуля під'єднати його до контролера польоту згідно зі схемою в Додатку Б. Зазвичай, GPS-модулі підключаються до спеціальних UART-портів на контролері польоту. Важливо правильно з'єднати всі дроти, дотримуючись полярності та відповідності контактів. Місце розташування GPS модуля показано на рис. 3.7.

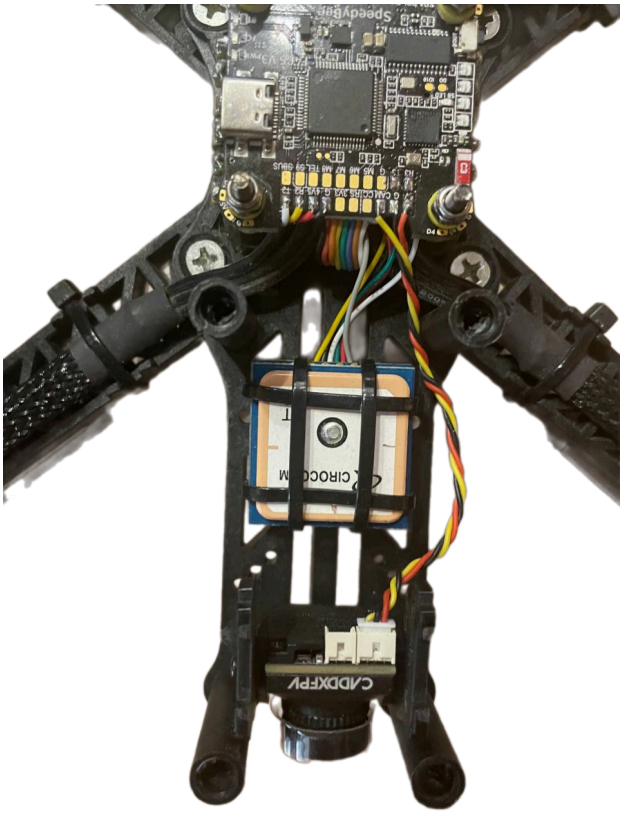


Рисунок 3.7 – Встановлення відеопередавача

3.10 Підключення плати захвату та автонаведення

Розміщуємо плату захвату та стеження над польотним контролером і перевіряємо, чи достатньо простору між ними та підключаємо. Це необхідно, щоб запобігти контакту між платами, який може призвести до короткого замикання, а також щоб забезпечити правильну циркуляцію повітря та зменшити вплив вібрацій на модуль відеообробки. Для ізоляції та демпфування доцільно використовувати пластикові/гумові проставки та, за потреби, тонкий ізоляційний матеріал між платами.

Далі фіксуємо плату захвату на стійках над контролером. Монтаж виконуємо так, щоб роз’єми та кабелі не натягувалися і не торкалися рухомих частин рами. Після механічного встановлення підключаємо плату захвату відповідно до обраної схеми взаємодії системи: відеосигнал/дані з камери подаємо на вхід плати, а керувальні/телеметричні лінії з’єднуємо з відповідними портами контролера або обчислювального модуля.

Для уникнення електромагнітних завад і забезпечення стабільної роботи всі з’єднання повинні бути надійно закріплені та ізольовані. Рекомендується прокладати сигнальні дроти окремо від силових, застосовувати стяжки або термоусадку для фіксації та не допускати петель і провисань. Це зменшить ризик наводок, втрати відеосигналу та збоїв у роботі під час експлуатації дрона. Приклад розміщення та підключення плати захвату наведено на рис. 3.8.

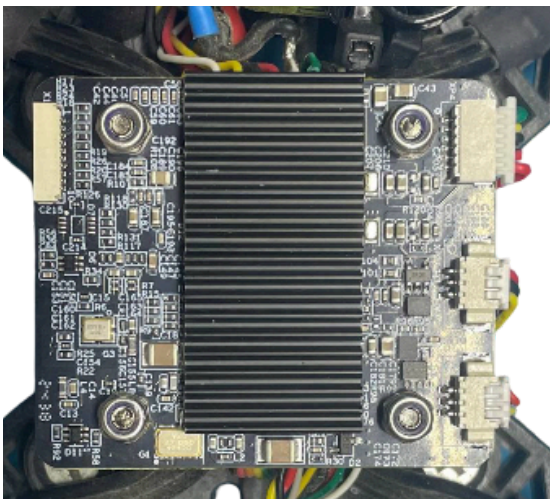


Рисунок 3.8 – Монтаж плати захоплення

3.11 Монтаж акумулятора та пропелерів

Перш за все, виберіть відповідне місце для встановлення акумулятора. Воно повинно забезпечувати рівномірний розподіл ваги та не заважати роботі інших компонентів. Зазвичай, акумулятор встановлюється в центральній частині дрона, щоб зберегти баланс під час польоту.

Прикріпіть акумулятор до рами дрона за допомогою надійних фіксаторів, таких як липучки або спеціальні ремені. Важливо, щоб акумулятор був добре закріплений і не зміщувався під час руху. Переконайтеся, що всі кабелі від акумулятора надійно підключені до контролера польоту та інших компонентів, слідкуючи за правильністю полярності з'єднань.

Після фізичного монтажу акумулятора, перевірте надійність всіх з'єднань та кабелів. Важливо, щоб всі контакти були надійно заізольовані, щоб уникнути коротких замикань або інших електричних проблем. Також переконайтеся, що кабелі не заважають роботі інших компонентів дрона.

При встановленні пропелерів варто визначити напрям обертання моторів. Мотори мають два напрямки обертання, за годинниковою стрілкою та проти годинникової стрілки. Необхідно обрати, в який бік будуть обертатися два передні та два задні мотори.

На мою думку, слід вибрати так, щоб два передні мотори оберталися проти годинникової стрілки. Це обумовлено тим, що бруд і пил не закидатимуться пропелерами на об'єктив камери. Два задні мотори, відповідно, обиратимуться за годинниковою стрілкою.

Таким чином, пропелери будуть встановлені правильно, забезпечуючи стабільність польоту та чистоту об'єктива камери. Готовий дрон, якого потрібно програмно налаштувати показано на рис. 3.8 та рис. 3.9.



Рисунок 3.8 – Вигляд збоку



Рисунок 3.9 – Вигляд зверху

РОЗДІЛ 4 НАЛАШТУВАННЯ ДРОНА

4.1 Створення зв’язку між дроном та контролером керування

Забіндити дрон та контролер керування означає налаштувати їх на спільну роботу, щоб вони могли передавати та отримувати команди. Спочатку переконайтеся, що і дрон, і контролер повністю заряджені, а також перевірте їхню сумісність.

Увімкніть дрон, під'єднавши акумулятор, і увімкніть контролер керування, натиснувши кнопку живлення. Потім переведіть контролер в режим біндингу. Це може вимагати натискання певної кнопки або комбінації кнопок під час увімкнення контролера. Перевірте інструкцію до вашого контролера для точних вказівок.

Далі переведіть дрон у режим біндингу. Деякі дрони мають спеціальну кнопку для цього. Натисніть і утримуйте цю кнопку, доки не загориться індикатор або не почнуть блимати світлодіоди. Коли дрон і контролер увійдуть у режим біндингу, вони автоматично знайдуть один одного і з’єднаються. Це може зайняти кілька секунд. Після успішного біндингу індикатори на обох пристроях зазвичай перестають блимати та стають постійними.

Перевірте роботу системи після біндингу, наприклад, чи реагують мотори дрона на команди з контролера. Зверніть увагу, що деякі дрони та контролери потребують оновлення прошивки для коректної роботи. Переконайтеся, що у вас встановлені останні версії прошивки. Після успішного біндингу може знадобитися калібрування дрона і контролера для забезпечення стабільної роботи. Як на контролері повинне виглядати з’єднання між дроном показано на рис. 4.1.

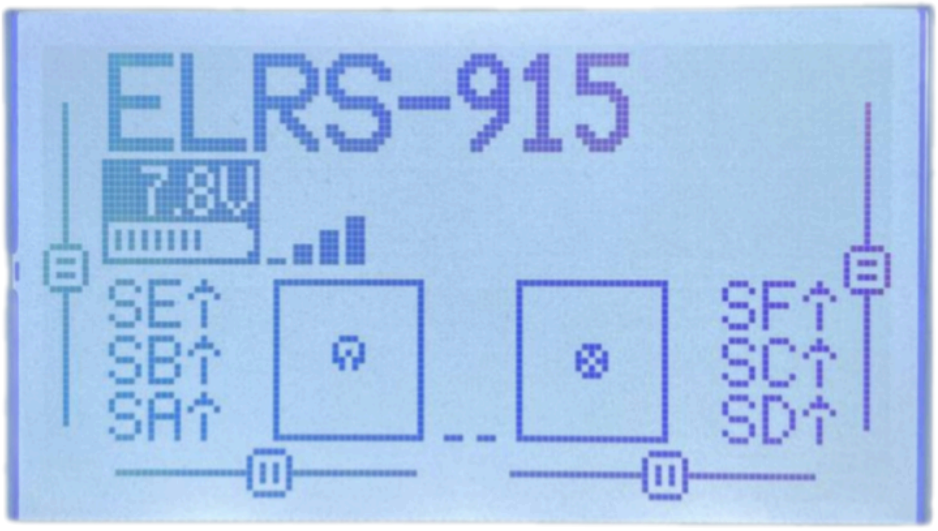


Рисунок 4.1 – Рівень сигналу між дроном та апаратурою

4.2 Створення зв’язку між дроном та відеошоломом

Забіндити дрон та відеошолом означає налаштувати їх на спільну роботу для передачі відеосигналу від дрона до шолома. Спочатку переконайтеся, що і дрон, і відеошолом повністю заряджені, а також перевірте їхню сумісність.

Увімкніть дрон, увімкнувши акумулятор, і увімкніть відеошолом, натиснувши кнопку живлення. На дроні знайдіть відеопередавач (VTX) і переведіть його в режим біндингу. Це може вимагати натискання певної кнопки або комбінації кнопок, залежно від моделі.

На відеошоломі перейдіть до налаштувань приймача відеосигналу. Зазвичай, це робиться через меню налаштувань або спеціальні кнопки на шоломі. Виберіть канал і частоту, які відповідають налаштуванням відеопередавача на дроні. Деякі відеошоломи мають автоматичний режим сканування, що дозволяє їм автоматично знаходити доступні канали.

Коли дрон і відеошолом увійдуть у режим біндингу, вони повинні автоматично знайти один одного і з’єднатися. Це може зайняти кілька секунд. Після успішного біндингу переконайтеся, що на відеошоломі відображається чітке відео від дрона.

4.3 Завантаження програми польотного контролера через Betaflight configurator

Щоб завантажити програму в FC потрібно під'єднати його до комп’ютера та відкрити Betaflight configurator. Далі виставляємо параметри як показано на рис. 4.2.

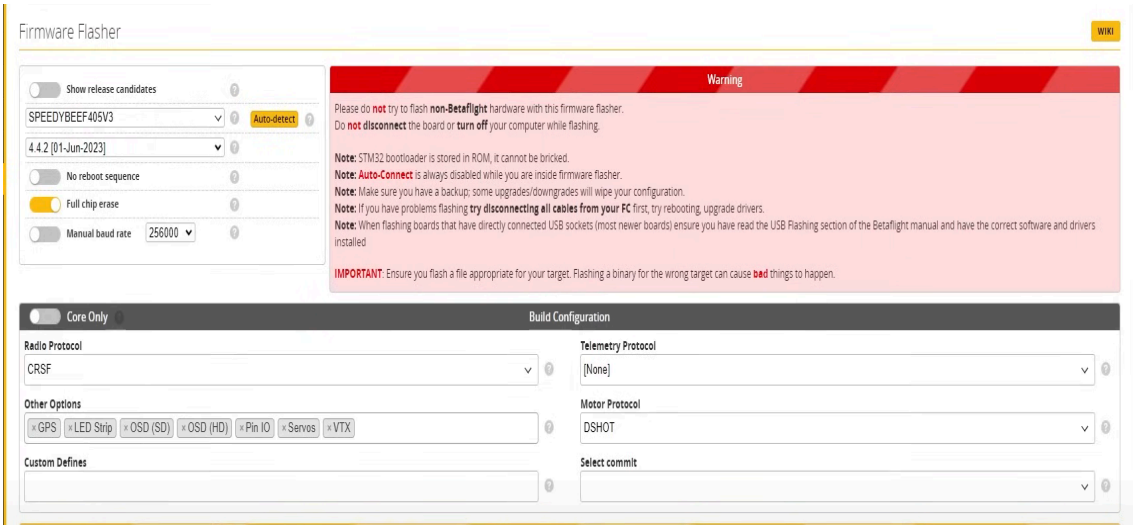


Рисунок 4.2 – Оновлення програми

4.4 Налаштування всіх важливих пунктів в Betaflight configurator

У Betaflight Configurator потрібно провести налаштування всіх важливих параметрів, починаючи з базових конфігурацій контролера польоту, таких як установка правильної прошивки та вибір правильного типу квадрокоптера. Після цього слід налаштувати порти для забезпечення правильної роботи компонентів, таких як приймач і телеметрія. Далі, важливо скоригувати конфігурації для контролю польоту, включаючи режими польоту, PID-настройки та фільтрацію, щоб забезпечити стабільний і точний політ. Необхідно також налаштувати RC-контролер, визначивши кінцеві точки, центр та експоненціальні налаштування. Окрім цього, слід уважно налаштувати режими роботи світлодіодів, якщо вони присутні, та перевірити всі датчики, зокрема компас і

акселерометр, для коректної роботи. Нарешті, перед першим польотом важливо виконати повну перевірку всіх систем та зберегти налаштування.

Далі будуть наведені налаштування важливих комірок в Betaflight configurator які показано на рис. 4.3 – 4.13.

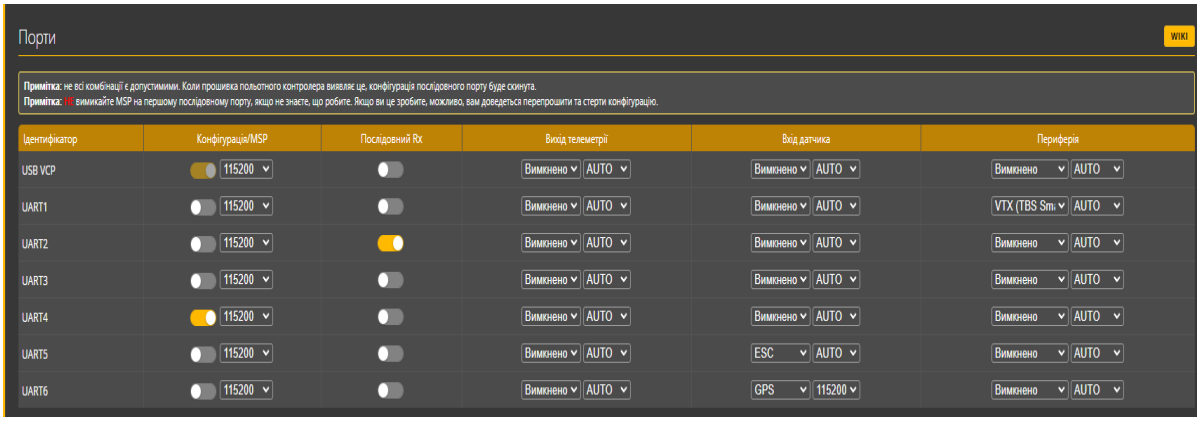


Рисунок 4.3 – Налаштування комірки Порти

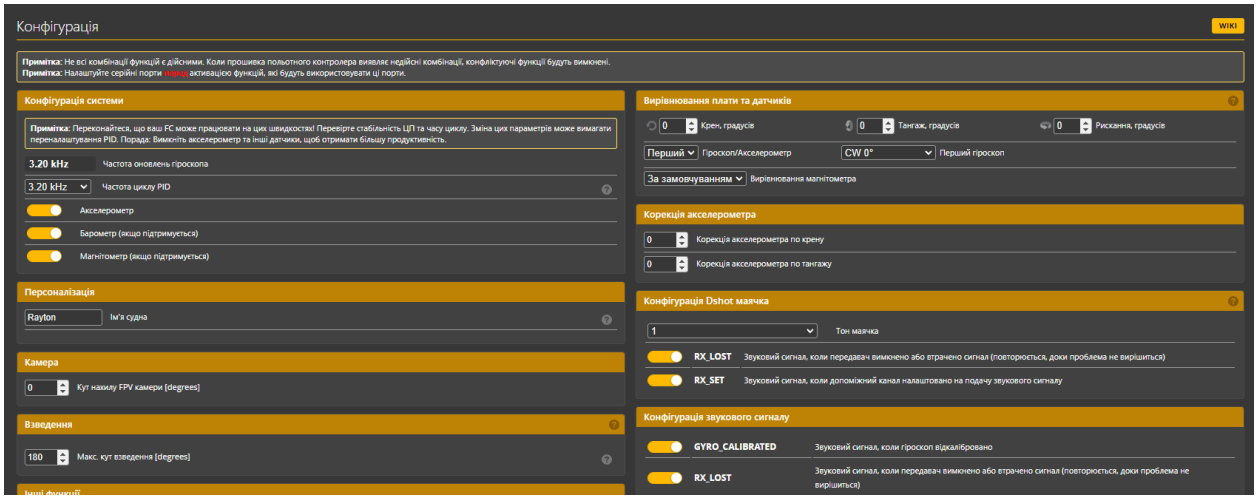


Рисунок 4.4 – Налаштування комірки Конфігурація

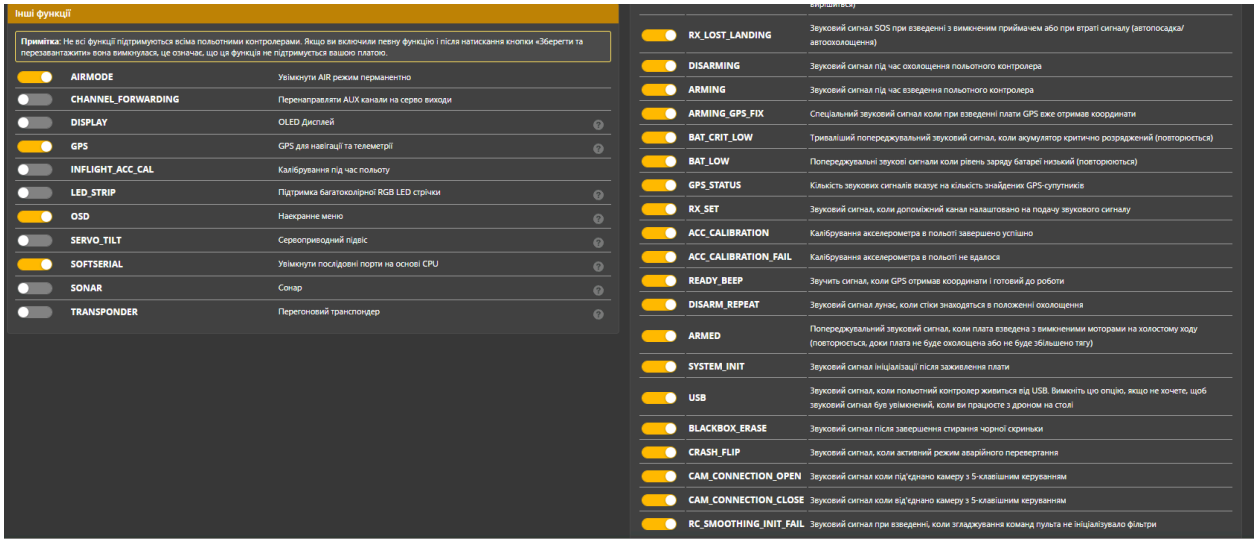


Рисунок 4.5 – Налаштування комірки Конфігурація

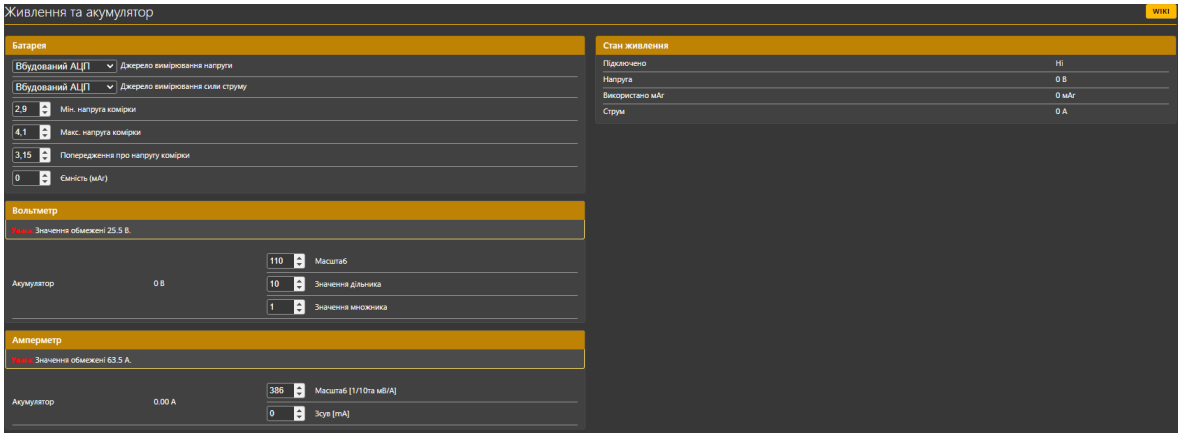


Рисунок 4.6 – Налаштування комірки Живлення та акумулятор

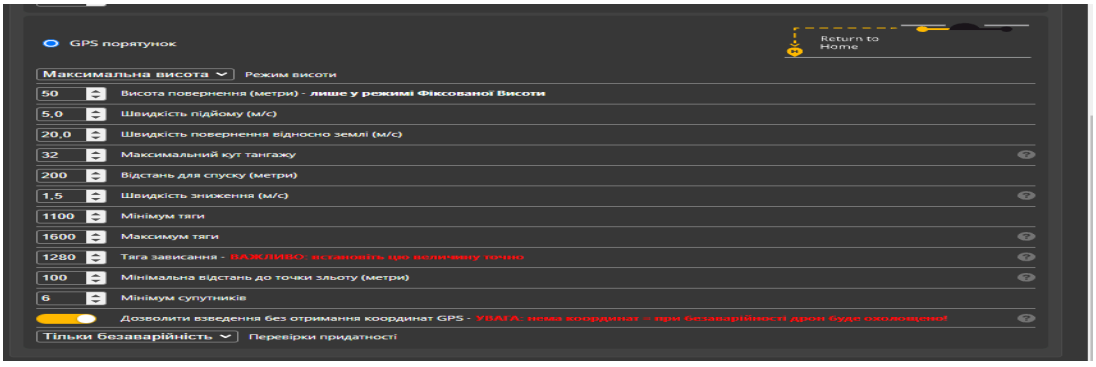


Рисунок 4.7 – Налаштування комірки Безаварійність

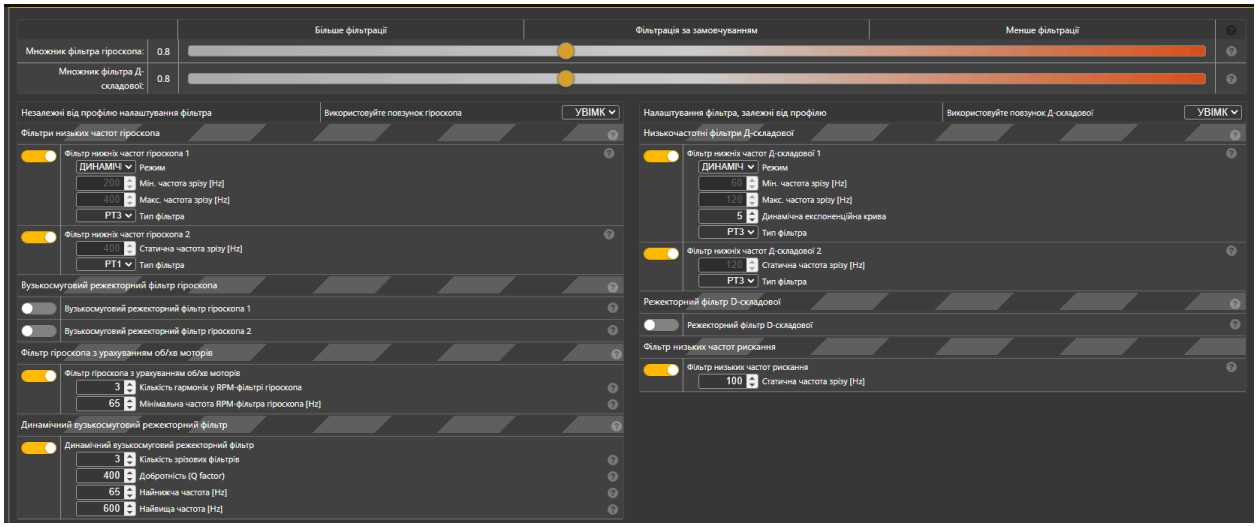


Рисунок 4.8 – Налаштування комірки ПІД

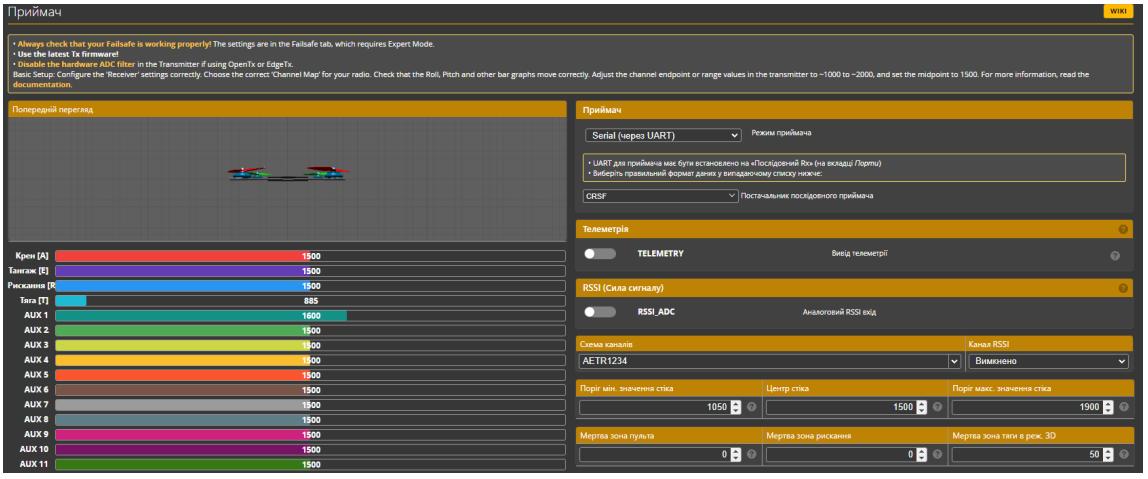


Рисунок 4.9 – Налаштування комірки Приймач



Рисунок 4.10 – Налаштування комірки Режими

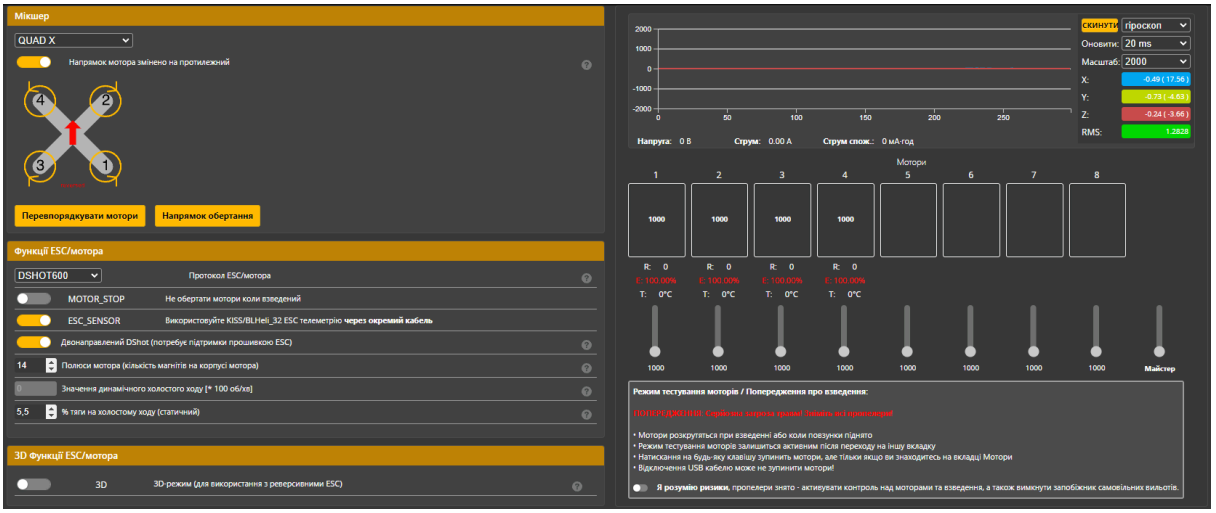


Рисунок 4.11 – Налаштування комірки Мотори



Рисунок 4.12 – Налаштування комірки “На екранне меню”

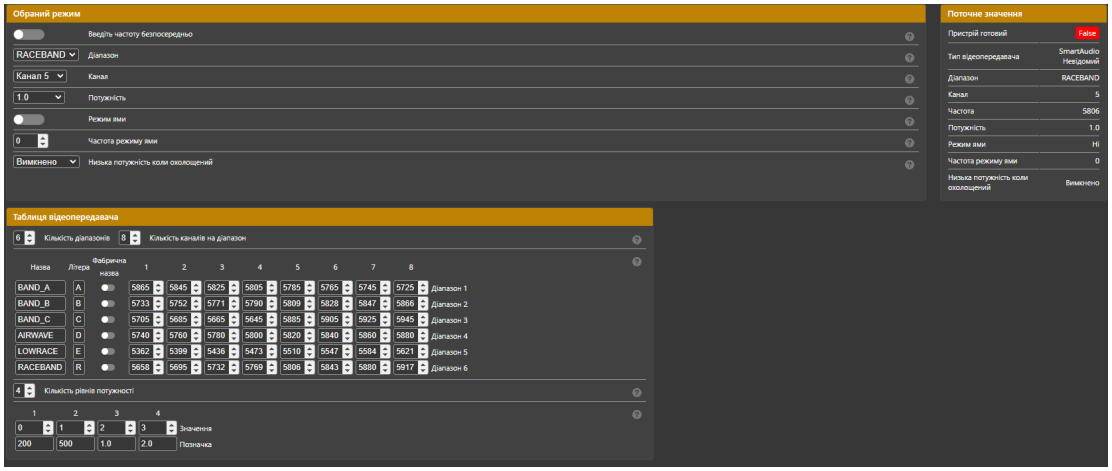


Рисунок 4.13 – Налаштування комірки Відеопередавач

Коли всі параметри виставлені та налаштовані, дрон готовий до польотів. Важливо провести кілька тестових польотів для перевірки всіх систем у реальних умовах. Це дозволить виявити та усунути будь-які потенційні проблеми, забезпечивши стабільну та безпечну експлуатацію дрона.

Тестові польоти також допоможуть відрегулювати контрольні параметри, такі як PID-настройки, які відповідають за стабільність та маневровість дрона. Крім того, під час польотів варто перевірити якість відеозв'язку, щоб переконатися в надійності передачі відеоданих в реальному часі. Цей етап критично важливий для остаточного налаштування та підтвердження готовності дрона до виконання запланованих завдань.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто побудову апаратно-програмної системи візуального супроводу об’єкта на базі FPV-дрона з інтеграцією плати захвату та стеження, яка працює у складі відеоканалу та може використовуватись як елемент рішення для автоматизованого супроводу об’єкта в кадрі. У межах поставленої мети виконано аналіз складових FPV-платформи та вимог до відеоканалу, живлення й керування, а також визначено ключові практичні аспекти інтеграції модуля стеження в конструкцію дрона.

У процесі виконання роботи обґрунтовано вибір плати захвату та стеження за параметрами, важливими саме для FPV-систем: підтримка аналогового відео PAL/NTSC, орієнтація на FPV-камери рівня ≥1000 TVL, частота оновлення 50 Гц для більш плавної роботи трекінгу, заявлена швидкість відстежування ±32 пікселі/поле та робочий діапазон розміру об’єкта 16×16–128×128 пікселів. Додатково враховано масо-габаритні показники та стандартне кріплення 30,5×30,5 мм, що спрощує монтаж у типовій FPV-рамі, а також енергоспоживання (вказано 0,8 А та 4 Вт) як навантаження на систему живлення за умови підключення до стабілізованої лінії.

Практична частина роботи включила складання прототипу FPV-дрона, виконання підключень і перевірку коректності з’єднань, ізоляції та стійкості монтажу, що є критичним для зменшення ризику коротких замикань і впливу вібрацій під час експлуатації. Для підвищення відтворюваності результатів у додатках наведено схеми підключення силової та керувальної частини (ESC–FC), а також схему інтеграції плати захвату/стеження з польотним контролером.

Окрему увагу приділено налаштуванню програмної частини у Betaflight Configurator: виконано оновлення/завантаження програмного забезпечення на польотний контролер та наведено налаштування ключових вкладок (порти, конфігурація, живлення та акумулятор, failsafe, PID, приймач, режими, мотори, OSD, відеопередавач). Це дозволяє забезпечити коректну взаємодію приймача керування, відеопередавача та інших модулів і створює основу для стабільного

польоту та перевірки роботи відеозв’язку в реальному часі.

Підсумовуючи, поставлені у завданні етапи — аналіз структури FPV-дрона та вимог до відеоканалу, обґрунтування вибору компонентів і інтеграція плати захвату/стеження, а також реалізація прототипу зі складанням, підключенням і налаштуванням — логічно опрацьовані та зведені в єдину, практично орієнтовану методику. Подальшим необхідним кроком для остаточного підтвердження готовності системи є проведення серії тестових польотів із контролем якості відеозв’язку та уточненням PID-параметрів під конкретну конфігурацію дрона й умови експлуатації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.

2. Recommendation ITU-R BT.470-7: Conventional television systems. Geneva : International Telecommunication Union, 2005. URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.470-7-200502-I/en (дата звернення: 18.01.2026).

3. SMPTE ST 170M:2004. Television — Composite analog video signal — NTSC for studio applications. 2004. 21 p. URL: https://www.normsplash.com/sites/default/files/smpte_st_170m-2004.pdf (дата звернення: 18.01.2026).

4. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements. Geneva : ISO, 2022. URL: https://www.iso.org/standard/82875.html (дата звернення: 18.01.2026).

5. NIST SP 800-53 Rev. 5. Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. 2020. URL: https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-53/rev-5/final (дата звернення: 18.01.2026).

6. OWASP Top 10 — 2021. URL: https://owasp.org/Top10/ (дата звернення: 18.01.2026).

7. Betaflight. Getting started (офіційна документація). URL: https://betaflight.com/docs/wiki/getting-started (дата звернення: 18.01.2026).

8. Betaflight Configurator (репозиторій). URL: https://github.com/betaflight/betaflight-configurator (дата звернення: 18.01.2026).

9. Betaflight (firmware, репозиторій). URL: https://github.com/betaflight/betaflight (дата звернення: 18.01.2026).

10. ExpressLRS Documentation (офіційний сайт). URL: https://www.expresslrs.org/ (дата звернення: 18.01.2026).

11. ExpressLRS Documentation: MAVLink (розділ документації). URL: https://www.expresslrs.org/software/mavlink/ (дата звернення: 18.01.2026).

12. EdgeTX User Manual (офіційний мануал). URL: https://manual.edgetx.org/ (дата звернення: 18.01.2026).

13. OpenCV: Tracking API (opencv_contrib). URL: https://docs.opencv.org/4.x/d9/df8/group__tracking.html (дата звернення: 18.01.2026).

14. OpenCV: ArUco detection (документація/туторіал). URL: https://docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html (дата звернення: 18.01.2026).

15. Ultralytics: Object Tracking (YOLO). URL: https://docs.ultralytics.com/modes/track/ (дата звернення: 18.01.2026).

16. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. arXiv:1506.02640, 2015. URL: https://arxiv.org/abs/1506.02640 (дата звернення: 18.01.2026).

17. Bewley A., Ge Z., Ott L., Ramos F., Upcroft B. Simple Online and Realtime Tracking. arXiv:1602.00763, 2016. URL: https://arxiv.org/abs/1602.00763 (дата звернення: 18.01.2026).

18. Wojke N., Bewley A., Paulus D. Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric. arXiv:1703.07402, 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1703.07402 (дата звернення: 18.01.2026).

19. Zhang Y., Sun P., Jiang Y., Yu D., Weng F., Yuan Z., Luo P., Liu W., Wang X. ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box. arXiv:2110.06864, 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2110.06864 (дата звернення: 18.01.2026).

20. Garrido-Jurado S., Muñoz-Salinas R., Madrid-Cuevas F. J., Marín-Jiménez M. J. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under

occlusion. Pattern Recognition. 2014. Vol. 47, Iss. 6. P. 2280–2292. DOI: 10.1016/j.patcog.2014.01.005.

21. FFmpeg Documentation (офіційний сайт). URL: https://ffmpeg.org/documentation.html (дата звернення: 18.01.2026).

ДОДАТОК А Схема підключення ESC

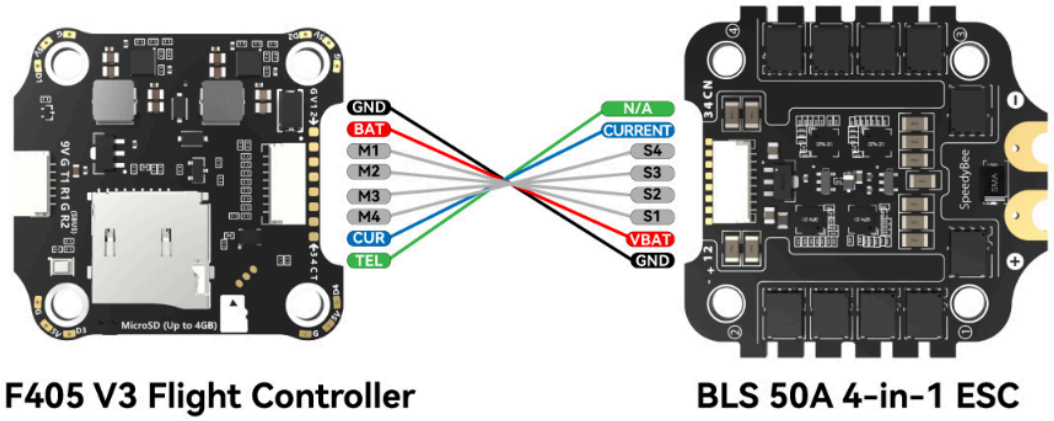


Рисунок А.1 – Схема підключення ESC та FC

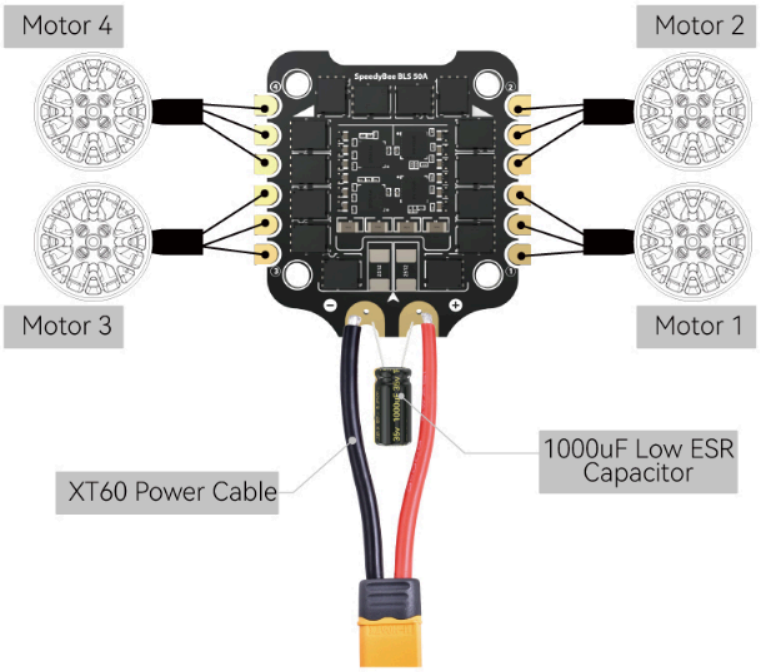


Рисунок А.2 – Схема підключення ESC

ДОДАТОК Б Схема підключення польотного контролера

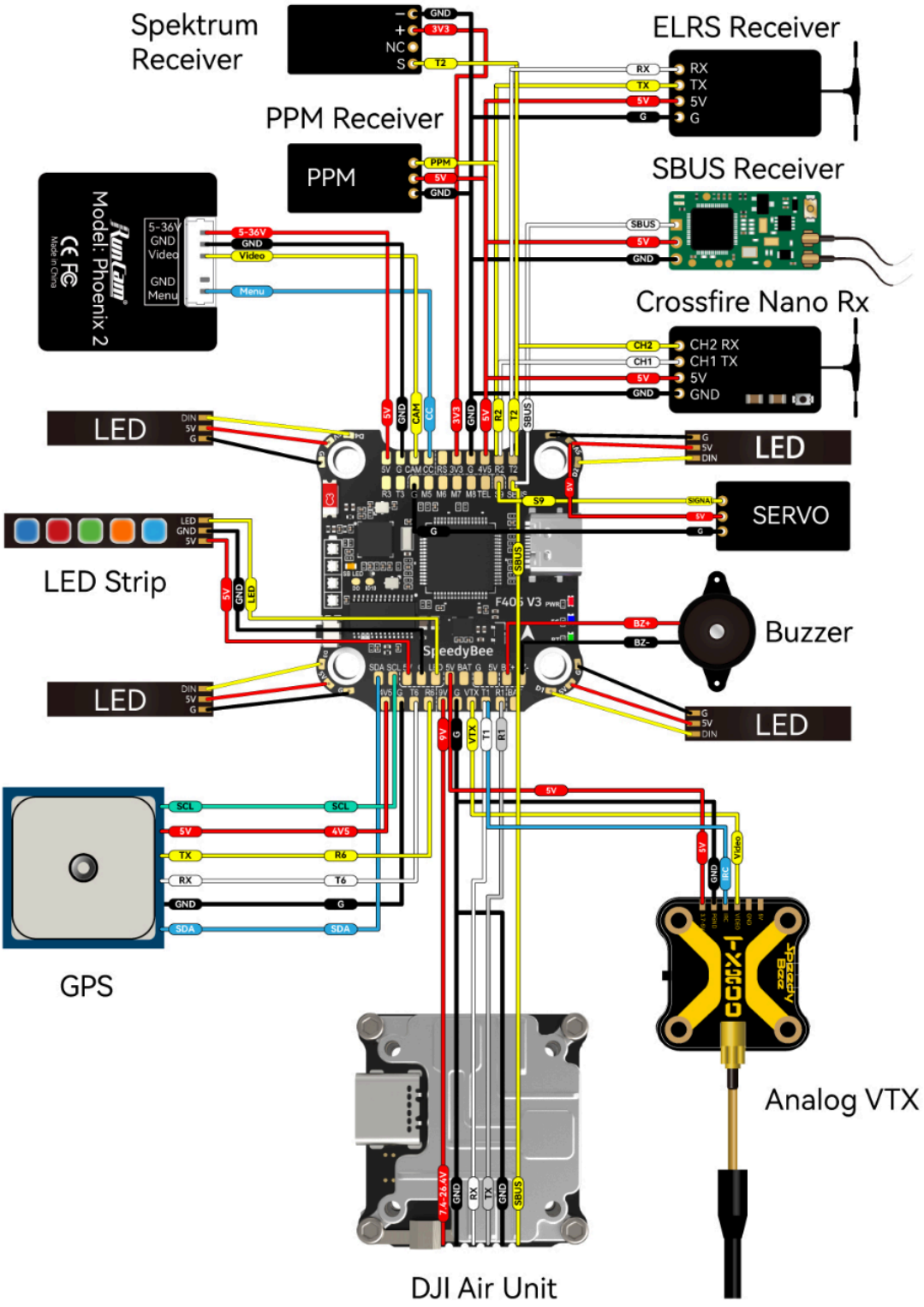


Рисунок Б.1 – Схема підключення польотного контролера

ДОДАТОК В Схема підключення плати автонаведення

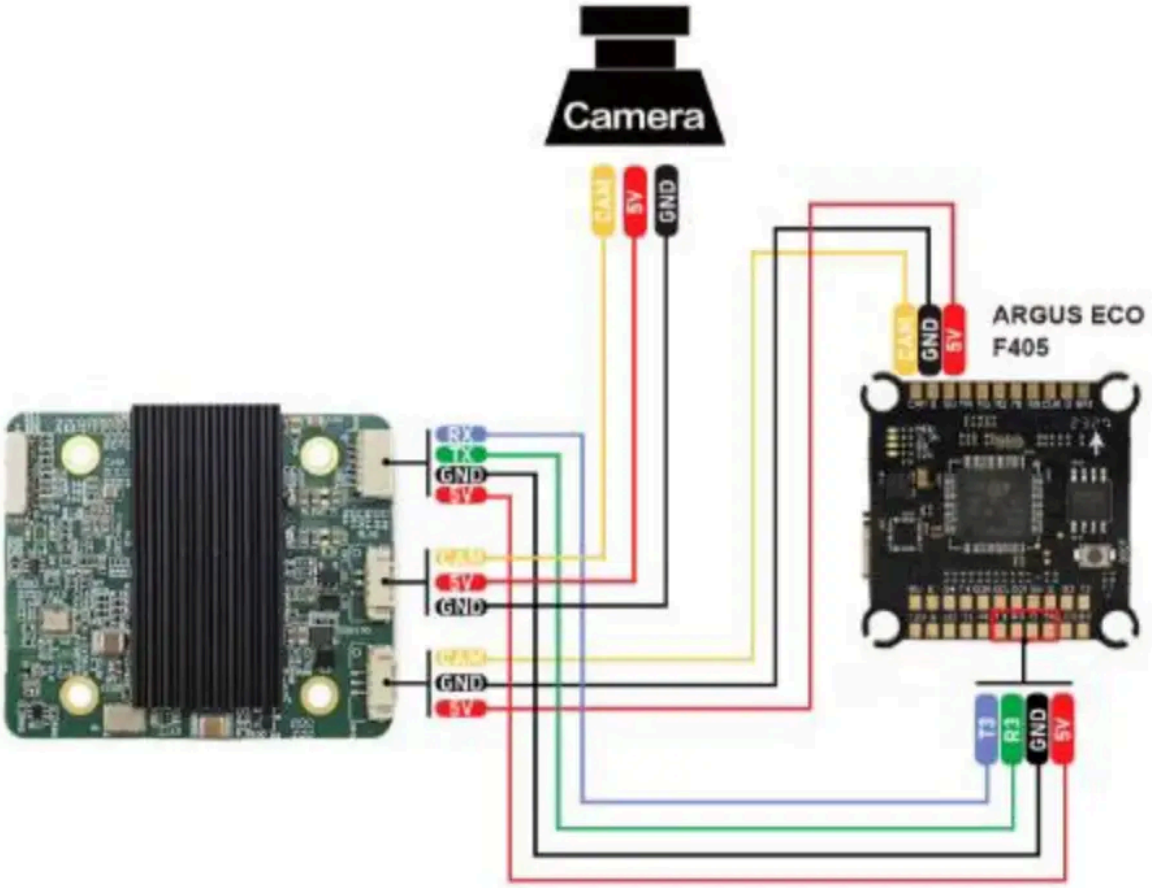


Рисунок В.1 – Схема підключення плати захоплення до польотного контролеру

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАВЧАЛЬНО–НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Магістерська робота

«Система донаведення (автонаведення) на ціль за допомогою fpv-дрона»

Виконав: студент групи КСДМ-61 Винник Денис Сергійович

Керівник: к.т.н., доц., доцент кафедри КІ Коротков С.С.

Київ - 2025

МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи — розробка та апробація апаратно-програмного підходу до візуального супроводу об'єкта на базі FPV-дрона з інтеграцією плати захвату та стеження у відеоканал, включаючи підключення, налаштування та перевірку працездатності прототипу.

Об'єкт дослідження — FPV-дрон як технічна платформа відеоспостереження та керування в реальному часі.

Предмет дослідження — методи й засоби інтеграції модуля захвату/стеження у відеоканал FPV-дрона та налаштування програмно-апаратних компонентів для забезпечення стабільного візуального супроводу об'єкта.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

FPV-дрони дедалі частіше застосовують для спостереження, пошуку та моніторингу в реальному часі, де ключовим є стабільний відеоканал і швидка реакція системи керування. У таких задачах оператору недостатньо лише «бачити» об’єкт — важливо утримувати його в кадрі під час маневрів, змін дистанції та освітлення, а також за наявності вібрацій і перешкод.

Актуальність роботи зумовлена потребою в практичному рішенні, яке поєднує FPV-платформу з апаратним модулем захвату та стеження й дозволяє реалізувати візуальний супровід об’єкта без суттєвого ускладнення конструкції дрона. Інтеграція такого модуля у відеоканал і його коректне налаштування дають можливість підвищити ефективність спостереження та зменшити навантаження на оператора під час виконання польотних завдань.

3

Загальне визначення FPV-дрона





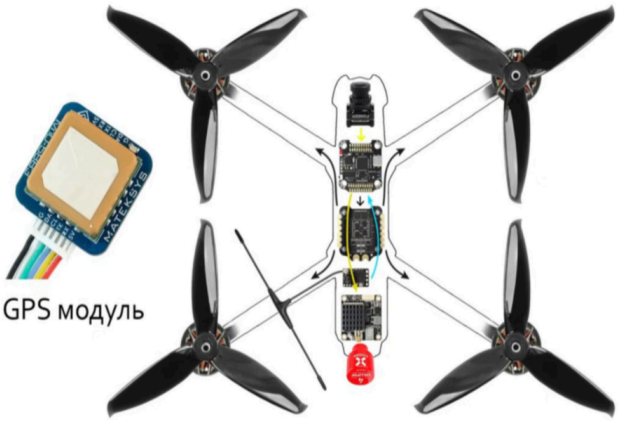
FPV-дрон - це безпілотний літальний апарат, який передає відеосигнал у реальному часі на приймач (наприклад, FPV-гарнітуру або монітор), дозволяючи пілотові спостерігати за польотом в першій особі. Ця технологія дозволяє пілоту відчувати себе на місці дрона та ефективно керувати ним.

4

Огляд компонентів FPV-дрона та їх функціональності

Основні складові дрона:

- рама;
- пропелери;
- мотори;
- політний контролер;
- регулятор обертів;
- відеопередавач;
- радіоприймач;
- камера;
- GPS модуль;
- антена;
- живлення;
- радіоапаратура;
- плата захоплення
- відеошолом.



5

Рама, пропелери та мотори

Рама - це основна конструкція дрона, на якій розміщені всі інші компоненти, включаючи мотори, контролер польоту та камеру.

Пропелери - це обертальні лопаті, що створюють тягу, необхідну для підйому та руху дрона в повітрі.

Мотори для FPV-дрона - це електричні пристрої, що генерують тягу для підйому та керування дроном. Вони можуть бути безщітковими або щітковими, залежно від потреб та вимог польоту.

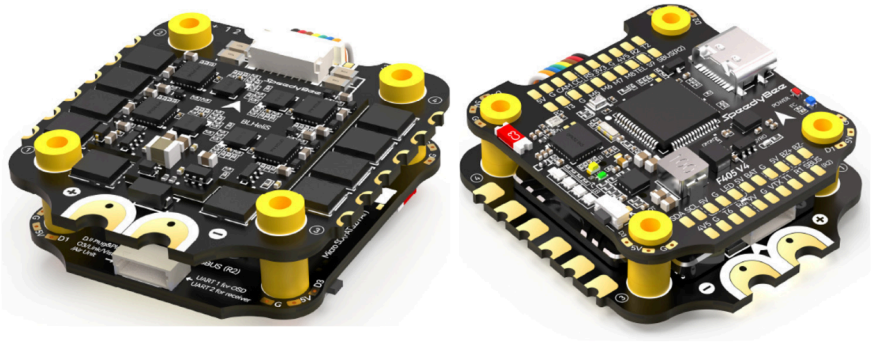


6

Політний контролер та регулятор обертів

Політний контролер (FC) - це пристрій, що керує рухами дрона, відстежує та забезпечує стабільність і контроль польоту.

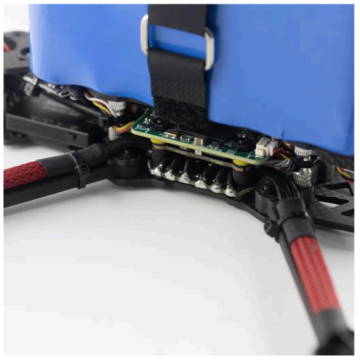
Регулятор обертів (ESC) - це електронний пристрій, який керує швидкістю обертання моторів дрона, регулюючи потужність та керування тягою.

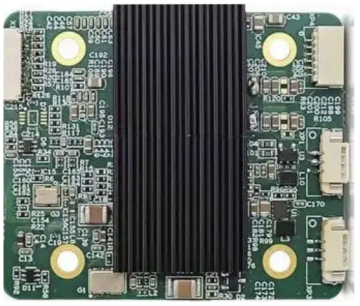


7

Плата захоплення та стеження

Плата захоплення та стеження — це модуль, який приймає аналоговий відеосигнал (PAL/NTSC) з FPV-камери, виділяє вибраний об’єкт у кадрі та автоматично відстежує його положення. Працює з частотою оновлення до 50 Гц, підтримує об’єкти розміром приблизно 16×16–128×128 пікселів і забезпечує швидкість відстежування до ±32 пікселі/поле. Завдяки стандартному кріпленню 30,5×30,5 мм модуль зручно інтегрується в типову FPV-раму.





8

Відеопередавач, приймач і антена



Відеопередавач - це пристрій, який передає відеосигнал з камери дрона на відстань, зазвичай через радіочастотний сигнал.



Антена для відеопередавача - це пристрій, який передає та отримує радіосигнали для передачі відеосигналу між камерою на дроні та приймачем на FPV-гарнітурі або моніторі.



Приймач - це пристрій, який отримує радіосигнал певної частоти з радіоапаратури та передає його на політний контролер в реальному часі.

Камера та GPS модуль

Камера - це пристрій, що зафіксовує відео та фотоматеріали під час польоту дрона, дозволяючи пілоту візуально спостерігати за довколишнім середовищем.

GPS модуль - це пристрій, що визначає географічне положення дрона, що дозволяє виконувати функції, такі як автопілотування, навігація та точне повернення дрона до дому.





Акумулятор. Радіоапаратура та відеошолом



Акумулятор 6S1P на Li-ion елементах – це джерело живлення, що складається з об'єднаних в одну батарею елементів, які забезпечують енергію для польоту.

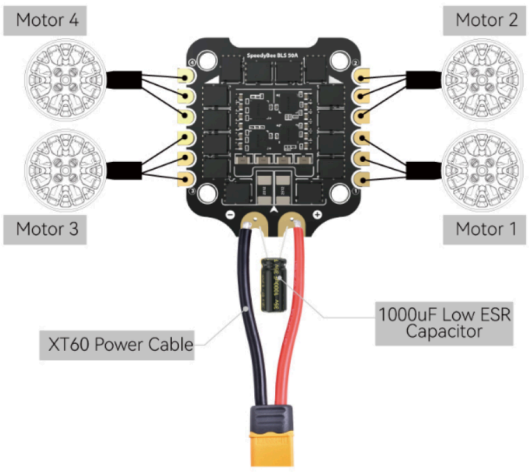


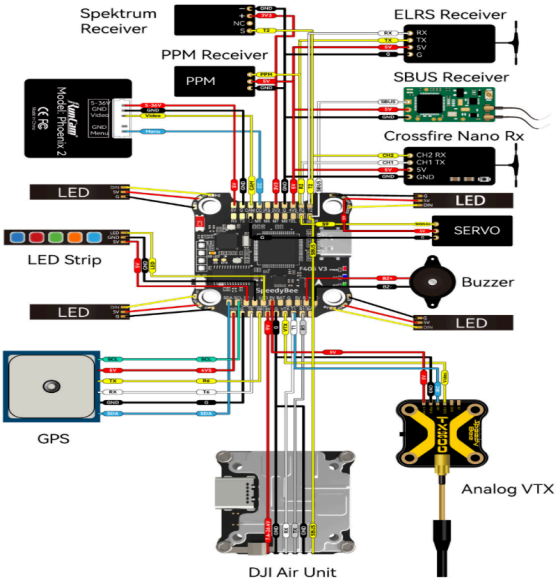
Радіоапаратура - це система керування дроном, що включає в себе пульт керування та передавач, який забезпечує зв'язок між пілотом та дроном для управління його рухами та функціями.



Відеошолом для FPV-дронів дозволяє оператору бачити зображення з камери в реальному часі, покращуючи контроль та відчуття у польоті.

Схеми підключення FC та ESC





Дякую за увагу!