

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету Інформаційних
технологій**

_____Ігор БОЛБОТ
(підпис)
« ____ » _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри Комп'ютерних
систем, мереж та кібербезпеки**

_____Дмитро КАСАТКІН
(підпис)
« ____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

На тему: «Розробка мікропроцесорної системи керування frv-дроном

»

Спеціальність F7 «Комп'ютерна інженерія »

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія »

Гарант освітньої програми
канд. фіз.-мат. наук, доцент

(підпис)

Євгеній НІКІТЕНКО

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**
канд. техн. наук, доцент

(підпис)

Максим МІСЮРА

Виконав

(підпис)

Олексій ЯРОСЛАВЦЕВ

КИЇВ-2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
канд. пед. наук, доцент _____ **Дмитро КАСАТКІН**
« _____ » _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Ярославцеву Олексію Олександровичу	
(прізвище, ім'я, по батькові)	
Спеціальність «Комп'ютерна інженерія»	
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»	
Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи « Розробка мікропроцесорної системи керування др-дроном	
»	
затверджена наказом ректора НУБіП України від «10» ____ 12 ____ 2025 р. № ____ 3072	
«С» ____	Термін подання завершеної роботи на кафедру «02» ____ 06 ____ 2026 р.
Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи	
Векторний графічний редактор для створення діаграм – draw.io. Схеми пайки, які	
вказані на сайті виробника	
Перелік питань, що підлягають дослідженню:	
Перелік графічного матеріалу (за необхідності).	
Дата видачі завдання “ ____ 10 ____ ” ____ 12 ____ 2025 р.	

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**
канд. техн. наук, доцент

(підпис)

Максим МІСЮРА

Завдання взяв до виконання

(підпис)

Олексій ЯРОСЛАВЦЕВ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області	02.02.2026 р.	Виконано
2	Визначення комплектуючих	16.03.2026 р.	Виконано
3	Збирання і налаштування проекту	10.04.2026 р.	Виконано
4	Тестування проекту	01.05.2026 р.	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	20.05.2026 р.	Виконано
6	Оформлення графічного матеріалу	20.05.2026 р.	Виконано

Студент

_____ **О.О. Ярославцев**
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проекту (роботи)

_____ **М.Д. Місюра**
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок 66, рисунків 50, додаток А, джерел 20.

FPV, FC, ESC, ARM, DISARM, ACRO, ANGLE.

FPV – First Person View.

FC – Flight Controller.

ESC – Electronic Speed Controller.

ARM – “Озброїти” дрон — включити мотори.

DISARM – Протилежне до ARM — повністю вимикає мотори.

ACRO – Режим польоту без стабілізації.

ANGLE – Режим польоту з стабілізацією.

БПЛА – Безпілотний літальний апарат.

Об'єкт аналізу (розробки, дослідження) — збирання FPV-дрона і налаштування керування FPV-дрона.

Метою роботи є дослідження процесів збирання, пайки та налаштування основних компонентів дрона. Дрон повинен бути робочим і здатний літати та показувати відео картинку з камери на відеоприймач. Також налаштування управління дроном і перевірка його працездатності, що передбачає його облітування.

Проект складається з трьох розділів.

Перший розділ присвячено аналізу матеріалу. Визначення необхідного функціоналу дрону та визначення потрібних комплектуючих.

У другому розділі розкриті питання щодо збирання, пайки друкованих плат дрона. Після фізичного збирання виконується програмне налаштування. Найчастіше використовується спеціальне програмне забезпечення для конфігурації польотного контролера.

Третій розділ присвячений тестуванню працездатності дрона .

В результаті виконання дипломної роботи проведено аналіз, розробка і тестування готового FPV-дрона.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	2
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	6
1.1 Огляд інформаційних джерел	6
1.2 Призначення FPV-дрона.....	10
1.3 Аналіз ТЗ.....	15
1.4 Вибір типу дрона, комплектуючих та середовища налаштування	17
2 ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ	24
2.1 Збирання карбонової рами	24
2.2 Пайка компонентів FPV-дрона	28
2.3 Кінцева зборка	37
2.4 Налаштування дрона.....	43
3 ТЕСТУВАННЯ ПРАЦЕСДАТНОСТІ ПРОЄКТУ	53
3.1 Правила безпеки.....	53
3.2 Перевірка відеосигналу і радіосигналу.....	56
3.3 Перевірка польоту, та перший політ в польових умовах.....	57
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А.....	66

ВСТУП

У сучасному світі різні безпілотні літальні апарати (БПЛА) займають важливе місце в різних галузях діяльності людини. Є різні їх види, маленькі які поміщаються в руку, як Black Hornet Nano або величезні, як MQ-9 Reaper. Але в цивільному житті більше всього використовують квадрокоптери, гексакоптери та мультикоптери.

Особливої популярності набули FPV-дрони (First Person View), які дозволяють оператору керувати польотом у режимі реального часу, отримуючи відеосигнал з камери дрона на спеціальні окуляри або екран монітору.

FPV-дрони активно застосовуються у відеозйомці, рятувальних операціях, їх використовують енергетики та сільськогосподарські організації, а також у військовій сфері.

FPV-дрони – це сучасне рішення багатьох проблем. Ці дрони можна запускати туди, де людині небезпечно знаходитись. На прикладі України, неможливо уявити скільки життів врятували такі дрони.

Ефективність їх використання значною мірою залежить від надійності і якості комплектуючих та точності системи керування. Основою такої системи є мікропроцесорний контролер, який обробляє сигнали, забезпечує стабілізацію польоту та керує всіма виконавчими елементами дрона.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Огляд інформаційних джерел

Сучасні бойові дії дедалі більше перетворюються на протистояння технологій. Одне з центральних місць у ньому займають безпілотні системи – інструмент, який за кілька років став ключовим елементом української оборони.

БПЛА – літальні апарати без екіпажу на борту, володіють різним ступенем автономності – від керованих дистанційно до повністю автоматичних, а також відрізняються за конструкцією, призначенням і безліччю інших параметрів. Управління БПЛА може здійснюватися епізодичною подачею команд або безперервно. В останньому випадку БПЛА називають дистанційно-пілотованим літальним апаратом (ДПЛА).

Також хочу зазначити різницю між “дрон” і “БПЛА”. Дрон – це загальна назва для безпілотних апаратів. Він може бути наземним або підводним, або як в моєму випадку літати. А БПЛА – це саме літальний апарат.

БПЛА існують в нашому світі вже доволі давно. Перші випадки датуються 1849 роком, коли Австрія запустила повітряні кулі з вибухівкою для атаки на Венецію.

Це важко назвати БПЛА, але справжній прорив у керуванні відбувся завдяки Ніколі Теслі, який у 1898 році продемонстрував радіокерований човен, заклавши основу для безпілотних технологій.

У 30-ті роки 20-го століття почали розроблятися і були випадки використання перших радіокерованих літаків. Наприклад в США з'явився дрон-мішень Radioplane OQ-2. А вже під час Другої світової війни було перше

застосування ударного БПЛА, американського виробництва Interstate TDR. Ці БПЛА мали примітивне керування по радіосигналу. Вони могли повернути ліворуч, праворуч або опустити чи підняти ніс. Ними керував літак який знаходився за ними.

Також не можу не згадати радянський БПЛА Ту-141“Стриж”, він використовувався, як розвідник. Керувався бортовою системою, яку налаштовували ще на землі. В наш час, цей БПЛА Українські інженери переробили з розвідника на ударний БПЛА.

Проблемою цих БПЛА, було те що вони були дуже дорогі у виготовленні і не мали управління в реальному часі.

Перші керовані в реальному часі БПЛА, які могли передавати відео почали з'являтися в 80-ті – 90-ті роки 20-го століття. Гарний приклад таких спільна розробка США та Ізраїля – RQ-2 Pioneer Рис. 1.1. Розроблений у 1985 році і вперше використаний у 1986 році, він міг використовуватись в радіусі 185 км і керуватись та передавати відео в реальному часі.

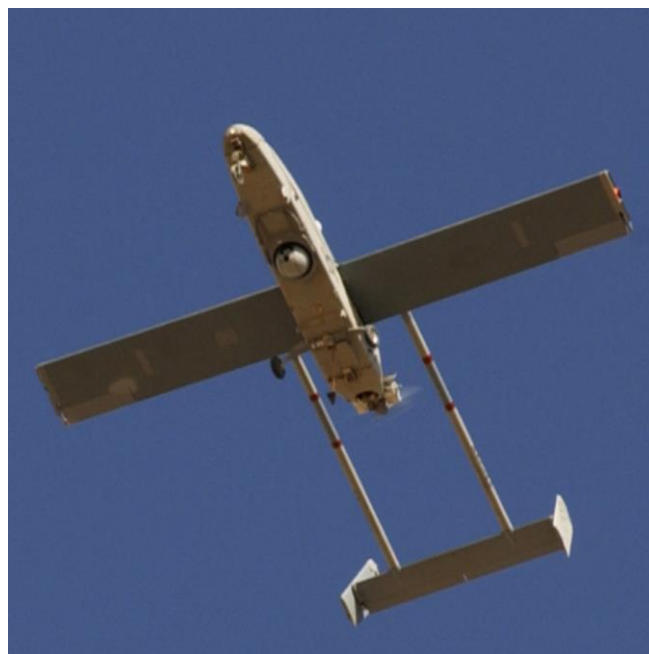


Рисунок 1.1 - RQ-2 Pioneer

В 2000-2020 роках ці технології тільки ставали краще. Компоненти для них ставали дешевші і виробляти їх можна було більше. Відповідно ці технології стали доступні не тільки військовим, а ще й в цивільному житті. Їх почали використовувати пожежники для пошуку осередків пожежі та оцінки завданих збитків, рятувальники для пошуку людей при надзвичайних ситуаціях, енергетики використовують дрони для огляду ліній електропередач. І навіть звичайні цивільні можуть придбати собі квадрокоптери для своїх задач.

У цих же роках почало з'являтися дрони, які керувались від першої особи. Те що уловлювала камера дрона, ви бачили наче своїми очима, їх почали називати – FPV-дронами.

В Україні до 2014 року були на озброєнні вище згаданий Ту-141 та Ту-143. Технології БПЛА почали розвиватися після 2014 року, із-за початку російського вторгнення виникла гостра потреба в них, що дало відчутний поштовх для розвитку таких розвідувальних БПЛА, як “Фурія” і “Лелека”. Історія українських безпілотників – це шлях від поодиноких волонтерських ініціатив до повноцінної індустрії. На початку 2014–2015 років у військах використовувалися переважно цивільні квадрокоптери для базової розвідки. Оператори навчалися буквально “в полі”, а дрони часто купувалися коштом волонтерів.

Важливою особливістю сучасних БПЛА є їх відносна дешевизна у порівнянні з традиційною військовою технікою. Це дозволяє застосовувати їх масово, що суттєво змінює характер бойових дій. Стрімкий ривок технологій БПЛА в Україні стався в 2022 році. На фронті почали з'являтися перші FPV-дрони. Навіть прості FPV-дрони можуть завдавати значних втрат дорогій техніці противника. За відносно короткий період в Україні активно сформувалася ціла система, пов'язана з безпілотниками. Було створено спеціалізовані підрозділи БПЛА, відкрито центри навчання операторів,

з'явилася велика кількість приватних виробників, а держава запровадила програми підтримки цієї галузі. Також налагоджено серійне виробництво як ударних, так і розвідувальних дронів.

На сьогодні сфера безпілотників в Україні охоплює багато напрямів: це приватні технологічні компанії, інженерні стартапи, оборонні підприємства, навчальні центри, волонтерські організації та підрозділи, що займаються експлуатацією й технічним обслуговуванням дронів. Саме така розгалужена система дає можливість швидко розробляти нові моделі та пристосовувати їх до реальних потреб на фронті. Сьогодні під поняттям «дрони України» мають на увазі не один конкретний тип техніки, а цілий комплекс різних безпілотних систем. У бойових умовах використовуються розвідувальні квадрокоптери для спостереження, далекобійні літакові БПЛА, ударні FPV-дрони, баражуючі боєприпаси, морські безпілотники, наземні роботизовані платформи та ретранслятори зв'язку.

Кожен із цих видів виконує своє окреме завдання. Наприклад, розвідувальні дрони допомагають вести спостереження за противником і коригувати артилерійський вогонь. FPV-дрони найчастіше застосовують для точкового ураження техніки та укріплених позицій. Літакові БПЛА використовують для розвідки на великих відстанях, а морські безпілотники стали важливим інструментом у боротьбі проти кораблів і портової інфраструктури.

У реальних бойових операціях усі ці системи зазвичай працюють разом. Наприклад, спочатку розвідувальний дрон виявляє ціль і передає її координати, після чого по ній завдає удару артилерія або FPV-дрон. Саме така злагоджена взаємодія різних типів безпілотників значно підвищує їхню ефективність.

Крім самих дронів, активно розвиваються й допоміжні технології: тепловізійні камери, системи для скидання боєприпасів, захищені модулі зв'язку, програми для автоматизації польотів та засоби ретрансляції сигналу. Усе це разом робить безпілотні системи ще більш точними та надійними.

Також у вільному доступі є симулятори в яких можна тренуватись і навчатись польоту на FPV-дронах. Ці симулятори передають відчуття польоту, можна налаштувати завади на камері, все щоб передати справжні відчуття. До симулятора можна підєднати пульт який підходить і до справжнього дрона.

1.2 Призначення FPV-дрона

FPV-дрон — це безпілотний літальний апарат, яким керують «від першої особи» (англ. First Person View). Пілот бачить зображення з камери дрона в реальному часі, ніби знаходиться всередині нього. Такий спосіб керування дає відчуття повного контролю та дозволяє точно маневрувати навіть у складних умовах.

Коли говорять про FPV-дрони, мають на увазі вже не просто розвагу чи іграшку, а швидкі й дуже маневрені апарати. Вони можуть використовуватись як у спортивних цілях, застосовуватись в цивільному житті, так і для військових цілей, наприклад розвідки або виконання бойових завдань.

Сьогодні FPV-дрони найчастіше застосовують у двох основних напрямках: для розвідки та для ураження цілей. Завдяки своїй швидкості й компактності вони здатні проникати в тил противника, знаходити цілі та передавати відео в реальному часі, що робить їх дуже ефективними в бойових умовах.

Швидкість таких дронів може досягати 100–150 км/год. Дальність польоту залежить від багатьох факторів — зокрема якості радіозв'язку, типу антени та використовуваних модулів — і зазвичай становить приблизно від 5 до

15 км. Що стосується частот, то найчастіше для передачі відео використовується діапазон 5.8 ГГц, а для керування — 2.4 ГГц, хоча в окремих випадках застосовують й інші частоти для кращого захисту сигналу.

Також на FPV-дронах можна використовувати Wi-Fi мости або Mesh-мережу. Wi-Fi міст у FPV-дронах — це спосіб передавати відео або керування на більшу відстань через додаткову точку. Загалом, це значить що є ще один пристрій, який «підхоплює» сигнал від дрона і передає його далі, завдяки чому зв'язок є на більшій відстані і він становиться стабільнішим Рис.1.2.



Рисунок 1.2 – Приклад роботи ретранслятора

Зазвичай у FPV сигнал іде напряму від пульта до дрона. Але коли відстань велика або навколо багато перешкод (наприклад, будівлі чи дерева), сигнал може слабшати або зникати. У таких випадках і використовують Wi-Fi міст, щоб покращити зв'язок. Це доволі цікавий спосіб використання, дроном можна залетіти на високу точку, або залетіти туди куди люда піднятися або зайти на

зможє. Також можна використовувати Mesh-мережу на дронах, тоді кожен із декулькох дронів виступає ретранслятором. Тобто, якщо зникне один сигнал перелаштуться на інший. Але на FPV-дронах, це поки рідко застосовується, загалом в експериментальних цілях створення “рою FPV”, які будуть діяти автоматично з штучним інтелектом. Ця технологія знайшла застосування у росіян в дронах “Shahed-136”. Росіяни вдосконалили їх і вони літають “роєм” і кожен пов'язаний між собою. Завдяки цьому цей дрон, який летить на великій відстані і становить велику небезпеку, може бути керованим людиною.

Повернемось до штучного інтелекту в FPV-дронах. Штучний інтелект сьогодні все активніше використовується у FPV-дронах. Якщо раніше такі дрони повністю залежали від пілота, який керує ними вручну, дивлячись на відео з камери, то зараз багато процесів можна автоматизувати або хоча б значно спростити.

Найперше, де застосовується ШІ — це Комп'ютерний зір Рис.1.3. Завдяки таким технологіям дрон може розпізнавати об'єкти в кадрі: людей, техніку, будівлі чи перешкоди. Це працює за рахунок нейронних мереж, які навчаються на великій кількості зображень. У результаті дрон здатен, наприклад, самостійно “захопити” об'єкт і стежити за ним навіть під час руху або коли він частково зникає з поля зору. Такі можливості використовують не тільки у спеціалізованих системах, а й у цивільних задачах — зйомці відео чи пошуково-рятувальних роботах.



Рисунок 1.3 – Приклад комп’ютерного зору

Ще один важливий напрям — автономна навігація. Використовуючи принципи Машинне навчання, дрон може сам обирати маршрут, облітати перешкоди і тримати стабільний політ без постійного контролю з боку людини. Для цього він аналізує дані з датчиків у реальному часі та підлаштовується під навколишні умови. Також варто згадати про так зване “розумне керування”. У цьому випадку ШІ не замінює пілота повністю, а допомагає йому: може підказувати оптимальні дії або частково перебирати керування в складних ситуаціях. Наприклад, якщо зв’язок погіршується або дрон виконує різкий маневр, система може автоматично стабілізувати його.

Окремо виділяється обробка даних прямо на борту. Дрон здатен не просто передавати відео, а й аналізувати його одразу під час польоту. Це дозволяє швидко реагувати без затримок — наприклад, визначити небезпечну ситуацію або знайти потрібний об’єкт серед великої кількості інформації. У деяких випадках такі системи можуть навіть самостійно визначати пріоритетну ціль.

Також завдяки ІІІ можна реалізувати взаємодію кількох дронів між собою. Завдяки підходам колективного інтелекту група FPV-дронів може працювати як єдина команда: узгоджувати дії, розподіляти задачі та обмінюватися даними. Це відкриває багато нових можливостей — від спостереження за територіями до виконання складних місій, де один дрон був би недостатньо ефективним.

Останнім часом із-за не достатку засобів повітряної оборони в нашій країні, FPV-дрони знайшли своє застосування і тут. На їх базі почали робити FPV-перехоплювачі Рис.1.4.

УКРАЇНСЬКІ ДРОНИ-ПЕРЕХОПЛЮВАЧІ УДАРНИХ БПЛА					
ХАРАКТЕРИСТИКИ					
				 Заложена технологія	 Нова розробка
	P1-SUN	F7/LITAVR	Sting	Merops	Octopus-100
Компанія	SkyFall	F-Drones	Wild Hornets	Swift Beat	TAF Industries
Максимальна швидкість	300-450 км/год	300 км/год	280-315 км/год	>280 км/год	🔒
Максимальна висота	5 000 м	🔒	7 000 м	🔒	🔒
Дальність	<23 км	<36 км	<37 км	🔒	🔒
Корисне навантаження	800 г	500 г	500 г	🔒	🔒

Рисунок 1.4 – Дрони перехоплювачі

Головна ідея таких систем — створити недорогий і швидкий інструмент, який здатен ефективно боротися з іншими дронами. FPV-перехоплювачем керує оператор у реальному часі, але водночас можуть використовуватися технології Комп’ютерний зір. Завдяки цьому легше виявити ціль у повітрі, тримати її в полі зору та точніше наводитися навіть у складних умовах.

Такі дрони зазвичай роблять максимально швидкими й маневреними, адже їм потрібно наздоганяти інші безпілотики. Для цього ставлять потужніші мотори, легкі рами та камери з мінімальною затримкою, щоб пілот мав кращий контроль. Іноді також використовують допоміжні алгоритми, які можуть підказувати, як краще зблизитися з ціллю або допомагати стабілізувати політ під час атаки.

Одна з головних переваг FPV-перехоплювачів — їхня відносна дешевизна у порівнянні з класичними засобами протиповітряної оборони. Використовувати дорогі ракети проти невеликих дронів часто просто не вигідно, тоді як FPV-дрон можна зробити значно дешевше. Це дає змогу швидше і гнучкіше реагувати на масові атаки.

Крім того, такі перехоплювачі дуже оперативні у використанні. Їх можна швидко запустити, вони добре працюють на малих висотах і ефективні в умовах міста або складної місцевості, де традиційні системи ППО мають певні обмеження.

1.3 Аналіз ТЗ

Для виконання дипломного проєкту необхідно обрати комплектуючі для FPV-дрона, які повністю відповідають поставленим вимогам. Основними критеріями вибору є:

- технічні характеристики компонентів;
- надійність і якість;
- вартість (оптимальне співвідношення ціна/якість);
- можливість використання комплектуючих українського виробництва.

FPV-дрон являє собою складну електронну систему, що складається з взаємопов'язаних модулів: рами, моторів, регуляторів швидкості (ESC),

польотного контролера (FC), камери, відеопередавача, приймача та акумулятора. Кожен із цих елементів впливає на стабільність польоту, керуваність та якість відеосигналу.

При виборі компонентів необхідно враховувати їхню сумісність між собою, зокрема:

- відповідність напруги живлення (акумулятор, ESC, мотор);
- відповідність струмових характеристик;
- форм-фактор;
- підтримку сучасних протоколів керування (наприклад, ELRS).

Особливу увагу слід приділити польотному контролеру (FC), який є «мозком» дрона та забезпечує стабілізацію польоту і обробку сигналів керування. Для його налаштування використовується спеціалізоване програмне забезпечення, найпоширенішим серед якого є Betaflight — відкрите ПЗ для конфігурації та тестування FPV-дронів.

У межах дипломної роботи необхідно також:

- дослідити процес складання FPV-дрона;
- виконати пайку електронних компонентів;
- провести первинне налаштування системи;
- провести первинне налаштування керування;
- перевірити працездатність усіх модулів.

Функціональні вимоги до FPV-дрона

FPV-дрон повинен відповідати наступним вимогам:

1. Керованість

Дрон повинен стабільно літати та коректно реагувати на команди з пульта керування в реальному часі.

2. Відеосигнал

Має забезпечувати передачу відео з камери на відеоприймач або окуляри оператора з мінімальною затримкою.

3. Надійність

Усі системи повинні працювати узгоджено без збоїв, забезпечуючи стабільний політ.

4. Вигляд

Дрон повинен мати міцну та ергономічну конструкцію (товарний вигляд), придатну для експлуатації.

5. Налаштування

Система повинна підтримувати програмне налаштування параметрів польоту (PID-регулювання, режими польоту, калібрування датчиків).

1.4 Вибір типу дрона, комплектуючих та середовища налаштування

Для виконання роботи обрано семи дюймовий дрон. На початку треба було обрати комплектуючі для FPV-дрона, опираючись на якість, характеристики і головне - ціну. Також було важливо, щоб комплектуючі були виготовлені в Україні. Але, на жаль, вони досить не дешеві.

Для дрону обрана карбонова рама, розміром сім дюймів. Його розмір такий бо на раму цього дрона можна поставити семи дюймові пропелери. Цей розмір є оптимальним щоб показати пайку і процес зборки. Вона виготовлена з карбонових волокон які просякнуті епоксидною смолою. Також на дроні будуть

елементи надруковані на 3Д принтері, а саме тримач для антени приймача і антени відеопередавача.

Основу для дрона вибрано польотний стек “ГАЛИЧИНА F405 V2 6S/60A” виготовлений компанією “603700”. Це є повністю український виріб з 60-ті амперним електронним регулятором обертів (ESC) і з польотним контроллером (FC) з барометром і має 6 UART-тів, що дозволяє доєднати 6 різних модулів наприклад сервоприводів. Наявний роз’єм під MicroSD, так званий чорний якщик.

Керування ключами ESC здійснюється за допомогою цифрового протоколу DShot600 (або DShot300). Це забезпечує високу точність передачі сигналів керування на мотори без необхідності калібрування діапазону ШІМ (PWM) та гарантує стійкість до електричних перешкод під час польоту.

Польотний контролер «ГАЛИЧИНА F405» побудований на базі мікроконтролера STMicroelectronics STM32F405, який належить до сімейства високопродуктивних 32-бітних мікроконтролерів ARM Cortex-M4. Даний контролер забезпечує обробку сигналів із сенсорів, виконання алгоритмів стабілізації польоту, обмін даними з периферійними модулями та керування виконавчими елементами FPV-дрона.

Мікроконтролер STM32F405 базується на ядрі ARM Cortex-M4 із апаратним блоком FPU (Floating Point Unit), що дозволяє ефективно виконувати математичні обчислення з плаваючою комою, необхідні для роботи PID-регуляторів та фільтрів орієнтації. Тактова частота процесора становить 168 МГц. Мікроконтролер містить до 1 МБ Flash-пам’яті та до 192 КБ SRAM, що забезпечує достатній обсяг пам’яті для роботи прошивки польотного контролера та обробки телеметричних даних. Також STM32F405 підтримує широкий набір периферійних інтерфейсів, зокрема SPI, I2C, UART, CAN та USB.

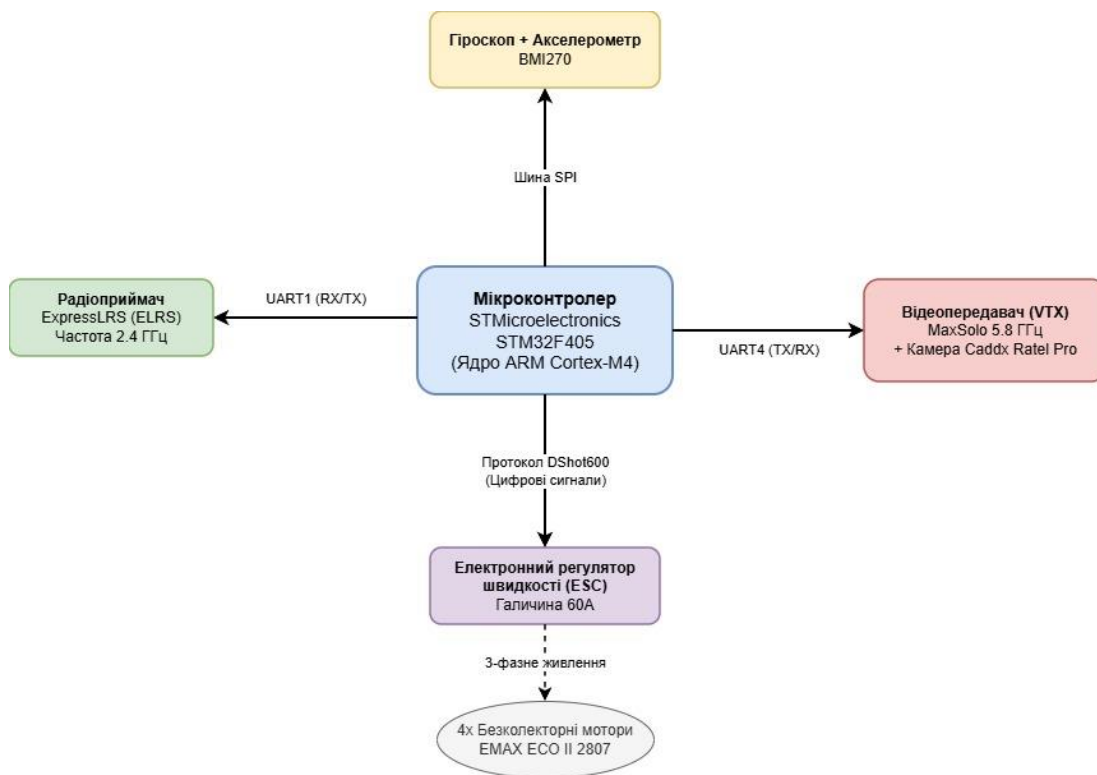


Рисунок 1.5 - Блок-схема взаємодії мікроконтролера STM32F405 з периферійними модулями

Для визначення просторового положення дрона у контролері використовується гіроскоп та акселерометр BMI270. Передача даних між BMI270 та STM32F405 здійснюється через високошвидкісну шину SPI, що забезпечує мінімальні затримки при зчитуванні інформації про кутові швидкості та прискорення.

Барометричний датчик використовується для визначення висоти польоту та стабілізації дрона по осі Z. Обмін даними між барометром і мікроконтролером здійснюється через інтерфейс I2C, який забезпечує підключення декількох пристроїв до однієї шини.

Приймач системи радіокерування ExpressLRS (ELRS) підключається до STM32F405 через інтерфейс UART. Через цей канал передаються команди керування від пульта оператора до польотного контролера. UART також

використовується для підключення відеопередавача (VTX), що дозволяє здійснювати конфігурацію параметрів відеосигналу.

Завдяки використанню STM32F405 та сучасних цифрових інтерфейсів польотний контролер «ГАЛИЧИНА F405» забезпечує високу швидкодію, точність стабілізації та надійність роботи FPV-дрона в реальному часі.

Двигуни обрані EMAX ECO II 2807 1500KV. Він поєднує в собі високу потужність, швидкість та легкість, роблячи його ідеальним вибором для будь-якого дрона. Двигун виготовлений з легких матеріалів, що робить його ідеальним для мініатюрних дронів.

Невідомою частиною дрона є відеопередавач і радіоприймач. Відеопередавач обраний MaxSolo на 5.8 ГГц. Легке налаштування та надійність з'єднання забезпечать 48 каналів радіозв'язку. Передавач може використовуватися для польотів на великі дистанції від 1 до 5 кілометрів в залежності від антени і антени на окулярах або на відеоприймачі, бо має потужність до 2500mW. Така частота най частіше використовується на FPV-дронах вона забезпечує високу швидкість передачі відео. Антену на відеопередавач я поставив RUSHFPV CHERRY на 5.8 ГГц. Вона забезпечує стабільний сигнал у діапазоні 5.6–6.0 ГГц.

Радіоприймач у мене BAYCK ELRS, який використовує частоту 2.4 ГГц. Він працює на основі протоколу ExpressLRS (ELRS), який є одним із найсучасніших стандартів радіозв'язку для дронів завдяки високій надійності, великій дальності та низькій затримці сигналу. Частота 2.4 ГГц є найпопулярнішим для радіокерування дронами. Цей приймач я обрав бо у нього низька затримка сигналу, він компактний і легко інтегрується в FPV-дрон і має гарну дальність зв'язку від 1 до 3 кілометрів з стандартними антенами і від 5 до 10 кілометрів при якісному налаштуванні і з покращеними антенами.

Камера на дроні буде Caddx Ratel Pro, це маленька аналогова камера яка має гарну якість зображення, що дає змогу пілотам бачити яскраву і насичену

картинку. Камера добре адаптується до різного освітлення. Має компактний і легкий корпус, що дозволяє встановлювати її навіть на невеликі FPV-дрони. Вона добре захищена від вібрацій і механічних навантажень, які виникають під час польоту або жорсткої посадки.

Налаштування дрона виконуються в програмі Betaflight Configurator. В ній налаштовуються бінди на пульті керування, перевіряється як реагує дрон на пульт і також проводилась калібровка акселерометра. Також в цій програмі перевіряється роботоспроможність компонентів дрона, наприклад як працюють двигуни.

Для програмного забезпечення польотного контролера «ГАЛИЧИНА F405» використовується прошивка Betaflight, яка є однією з найпоширеніших платформ керування FPV-дронами. Дане програмне забезпечення оптимізоване для роботи в режимі реального часу та забезпечує швидку обробку даних із сенсорів, стабілізацію польоту й керування виконавчими елементами квадрокоптера.

Архітектура Betaflight побудована за принципами операційної системи реального часу (RTOS). Основною особливістю такого підходу є гарантоване виконання критичних задач у визначені часові інтервали. У системі реалізовано багаторівневий цикл обробки даних, де окремі задачі мають власний пріоритет виконання. Найважливішими серед них є зчитування даних із гіроскопа, виконання PID-алгоритмів стабілізації, формування сигналів для ESC-регуляторів та обробка команд від радіоприймача.

Основою роботи Betaflight є високочастотний цикл опитування сенсорів — Gyro Loop Frequency. У цьому циклі польотний контролер постійно отримує дані з гіроскопа BMI270 через шину SPI. Частота опитування залежить від конфігурації системи та продуктивності процесора STM32F405. Найпоширенішими режимами є 3,2 кГц та 8 кГц. Це означає, що зчитування даних із гіроскопа відбувається 3200 або 8000 разів за секунду.

Для обчислення стабілізаційних команд використовується окремий цикл PID-регулятора — PID Loop Frequency. У межах цього циклу обчислюються помилки орієнтації та формуються коригувальні сигнали для двигунів. Частота PID-циклу зазвичай синхронізується з циклом гіроскопа та також може працювати на частотах 3,2 кГц або 8 кГц.

Програмна архітектура Betaflight складається з декількох основних модулів:

- модуль роботи із сенсорами (гіроскоп, акселерометр, барометр);
- модуль фільтрації сигналів;
- PID-регулятор;
- модуль керування двигунами та ESC;
- модуль обробки команд радіокерування;
- система OSD та телеметрії;
- модуль конфігурації через USB та UART.

Взаємодія між модулями виконується через систему планування задач, де критичні задачі стабілізації мають найвищий пріоритет. Це дозволяє забезпечити мінімальні затримки при керуванні FPV-дроном навіть при великому навантаженні на процесор.

Завдяки високій частоті виконання циклів, підтримці RTOS-підходу та оптимізації під ARM Cortex-M4, прошивка Betaflight забезпечує стабільний політ, швидку реакцію системи та високу точність керування FPV-дроном.

Пульт для управління обраний Radiomaster Pocket ELRS. Це компактний і зручний у використанні пульт, який спеціально розроблений для FPV-пілотів. Він працює з системою ELRS (ExpressLRS), що добре відома своєю стабільністю зв'язку, великою дальністю та дуже малою затримкою сигналу.

Основна ідея цього пульта полягає в тому, щоб забезпечити максимально точне та швидке керування дроном без затримок, що особливо важливо під час FPV-польотів. Він передає команди керування — газ, крен, тангаж і рискання —

по радіоканалу на частоті 2.4 GHz до приймача, встановленого на дроні. Після цього сигнал обробляється польотним контролером, який і керує роботою моторів. В кращих версіях пультів Radiomaster можна змінювати частоту радіопередавача, завдяки модульній системі.

Важлива частина FPV-дрона – це батарея. Вона виготовлена з літій-іонних (Li-ion) акумуляторів. Вони забезпечують меншу вагу при більшій ємності. Конфігурація наявної батареї – це 6s2p, а значить що це шість послідовно поєднаних акумуляторів, помножених на дві паралельні лінії. Ємність батареї складає 10000 мАг.

Також для безпеки використовується “Smoke Stopper”. Він під’єднується між батареєю та готовим FPV-дроном для перевірки. Якщо на комплектуючих дрона є коротке замикання, то цей пристрій подасть звуковий і візуальний сигнал про проблему. Якщо все добре, то дрон спокійно запуститься.

2 ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

2.1 Збирання карбонової рами

Робота розпочата зі збирання основи FPV-дрона – карбонової рами. На Рисунку 2.1 можна побачити модель і розмір рами. Вона прийшла у запаяному, герметичному пакеті.



Рисунок 2.1 – Запакована рама

В комплект входять: верхня і нижня кришки, чотири луча , стойки , гвинти, щоб зібрати цю раму. Весь комплект зображений на Рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Комплектуючі рами

Також важливим критерієм є зовнішній вигляд FPV-дрону, тому гарним рішенням є надрукувати на 3Д принтері тримач для антени приймача і антени відеопередавача. На Рисунку 2.3 показаний процес друкування запчастини, а на Рисунку 2.4 – вже готовий результат.



Рисунок 2.3 – Друкування тримача для антен



Рисунок 2.4 – Результат 3Д друку

Після огляду всіх запчастин, перевірки чи все наявно, переходимо до зборки. В першу чергу на нижню основу, встановлюються лучі і перемичка між ними, для посилення з'єднання. Нижня основа відрізняється форм фактором від верхньої, вона ширша за розмірами. Це зроблено щоб рама була міцніша і краще на собі тримала всі компоненти дрона.

Далі на раму треба встановити стойки, тримач для камери, гвинти для утримки стеку і надрукований на 3Д принтері підтримки для антен. Встановлення тримача зображено на Рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Встановлення 3Д друку

В самому кінці, після встановлення всіх компонентів рами, закручуємо верхню основу і клеїмо на неї прорезинену накладку – там буде знаходитись акумулятор. Поки готову раму можна відкласти, вона буде потрібна нам трохи пізніше. Готова рама зображена на Рисунку 2.6.

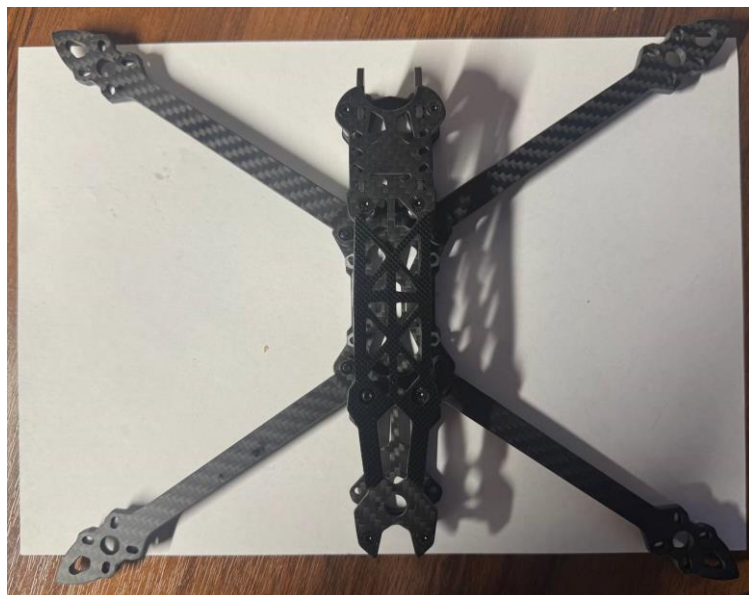


Рисунок 2.6 – Готова рама FPV-дрона

2.2 Пайка компонентів FPV-дрона

Після збірки рами дрона, можна приступати до пайки його компонентів, а саме до пайки польотного контролеру (FC) і регулятора обертів (ESC). Для цього потрібен буде припій з флюсом, флюс і паяльник. Але для початку треба підготувати стек і комплектуючі до пайки.

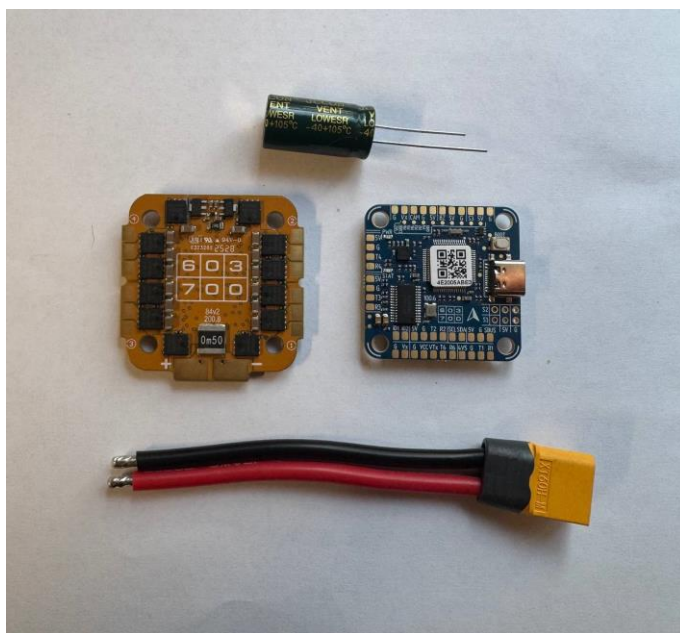


Рисунок 2.7 – Не підготовлений стек

На Рисунку 2.7 ми можна побачити не підготовлений стек. Потрібно вдягнути демпфера і спеціальні отвори на польотному контролеру і регуляторі обертів. Демпфера мають бути встановлені правильно, щоб між платами було достатньо простору для дротів моторів і також демпфера потрібні для зменшення вібрацій стеку. Вдягнути термозбіжну трубку на ніжки конденсатора, це потрібно для запобігання короткого замикання. Результат можна побачити на Рисунку 2.8.

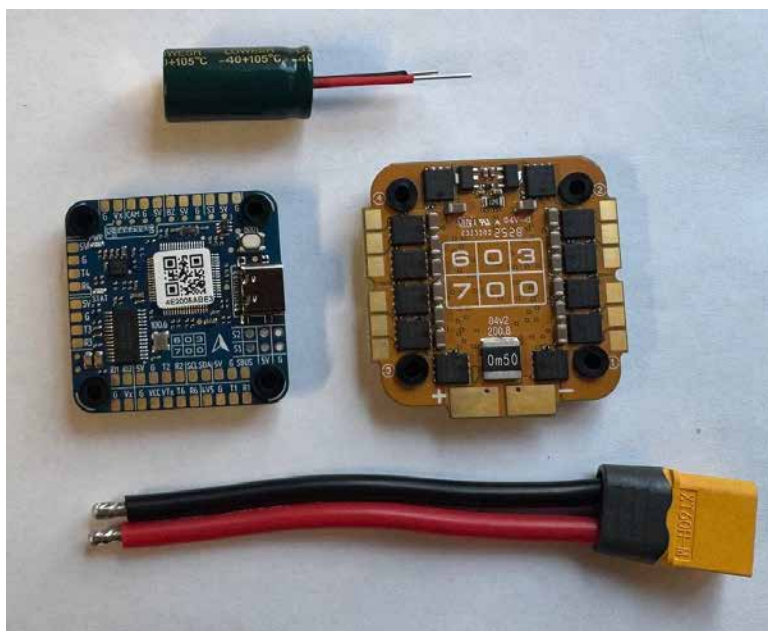


Рисунок 2.8 – Підготовлений стек

Першим на раму встановлюється регулятор обертів дрона, тому в першу чергу напаяємо його. Для зручності пайки краще встановити на раму мотори. Мотори зображені на Рисунку 2.9, їх ми встановлюємо на комплектні гвинти по краям лучів Рисунок 2.10.



Рисунок 2.9 – Мотори EMAX ECO II 2807 1500KV

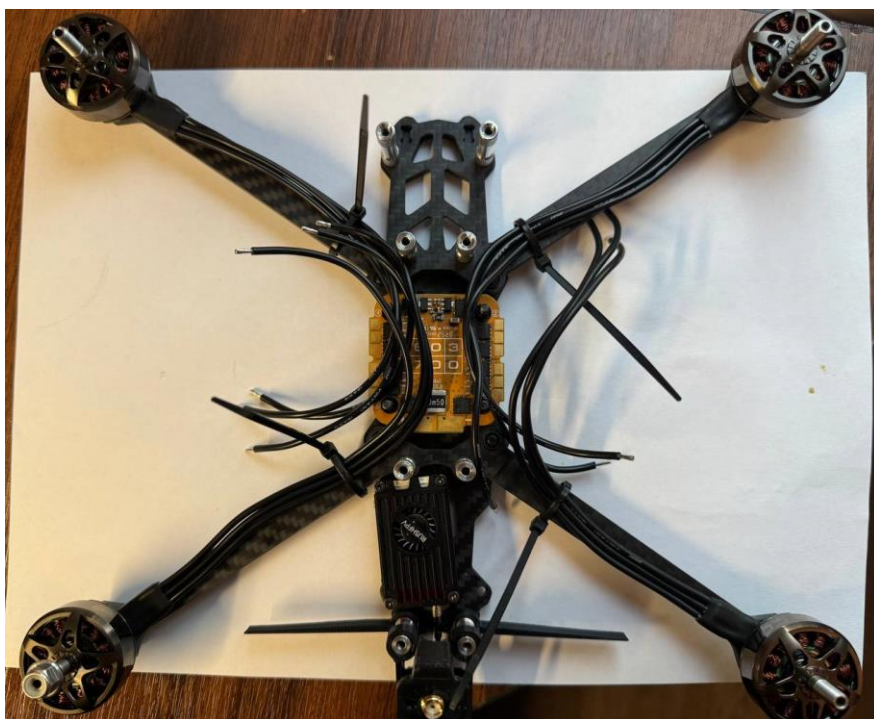


Рисунок 2.10 – Встановлені мотори на рамі

Для товарного вигляду і зручності монтажу моторів до регулятора обертів, закріплюємо дроти моторів нейлоновими стяжками.

Перед початком монтажних робіт, була зроблена схема пайки опираючись на поради сайту виробника. Схема зображена на Рисунку 2.11.

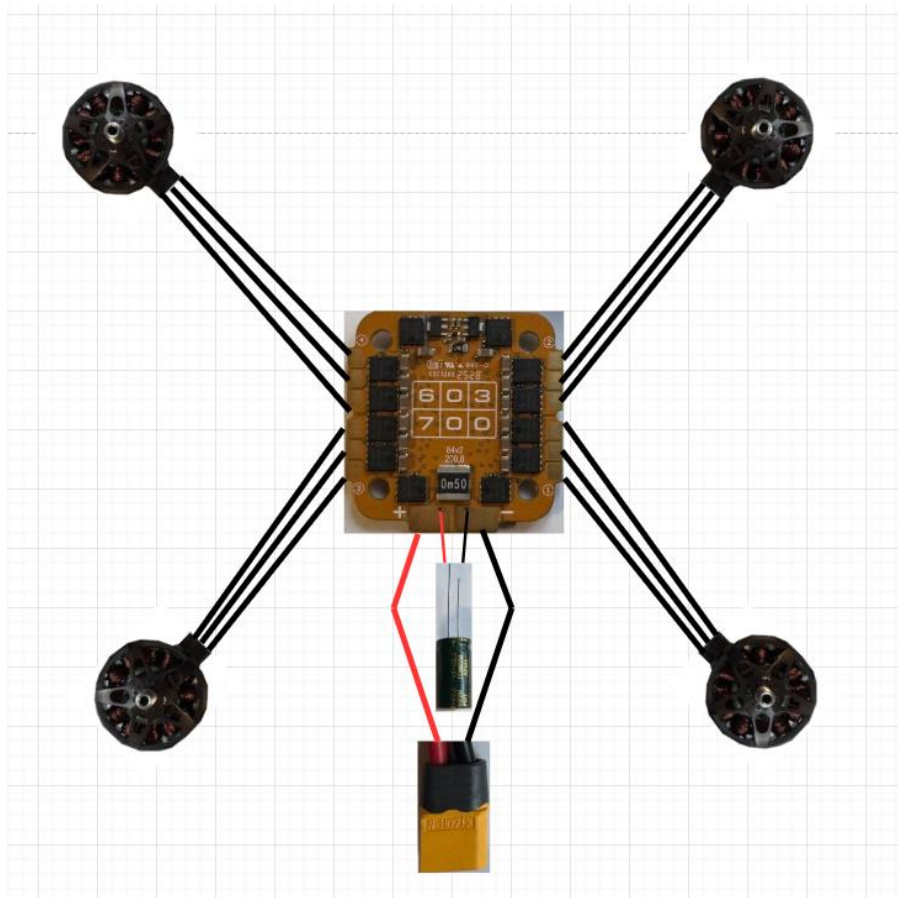


Рисунок 2.11 – Схема пайки регулятора обертів

Краще почати пайку з залудження площадок регулятора обертів, після чого припаяти силовий дріт і конденсатор на призначене місце Рисунок 2.12. Важливо звернути увагу на полярності конденсатора і дроту, це критично важливо. Якщо поплутати полярності дрон в кращому випадку не запуститься в гіршому – згорить.

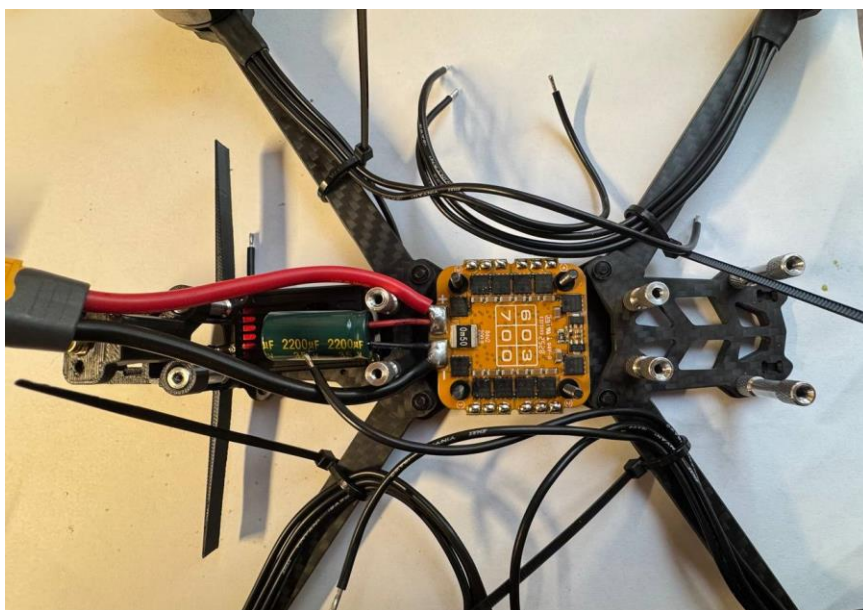


Рисунок 2.12 – Монтаж силового дроту і конденсатора

Можна приступати до монтажу дротів моторів до плати регулятора обертів, але спочатку їх треба підрізати і залудити, зображено на Рисунку 2.13. Це потрібно для гарного естетичного вигляду і щоб дроти не заважали при русі дрона. А залуджені дроти гарантують гарну та надійну пайку. Готовий регулятор обертів зображений на Рисунку 2.14.

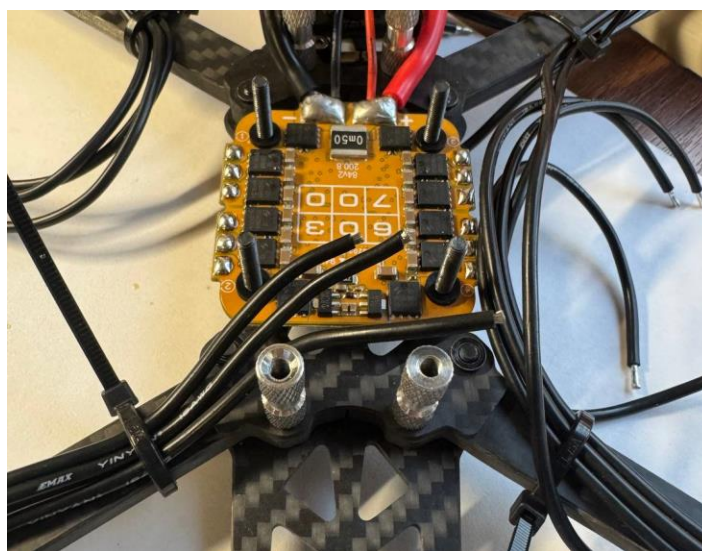


Рисунок 2.13 – Підрізка дротів моторів

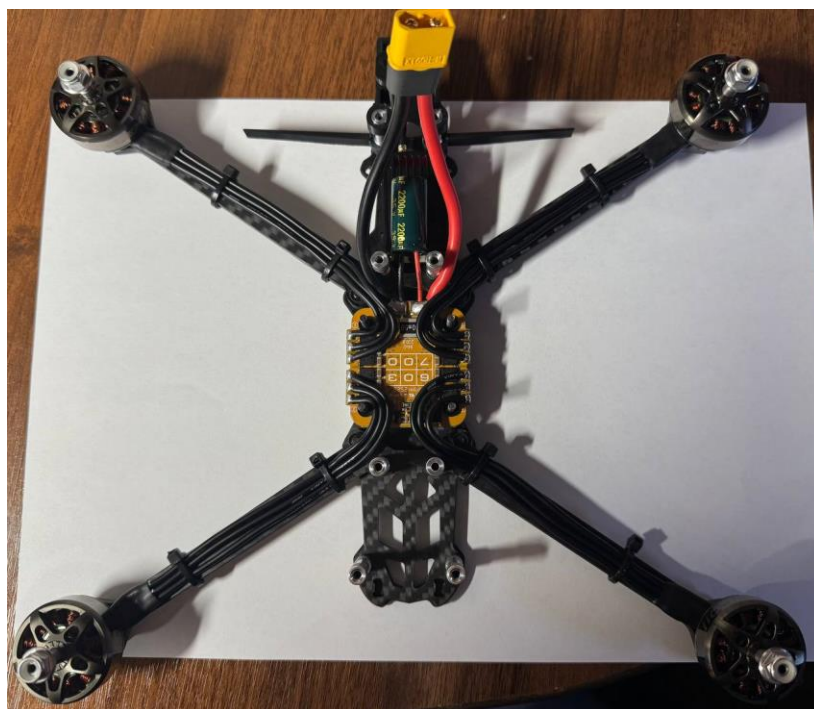


Рисунок 2.14 – Готовий регулятор обертів

Обов'язково після проведення монтажних робіт, плату треба почистити від залишків флюсу та припою спиртом. Це робиться для запобігання корозії та короткого замикання.

Наступним кроком треба напаяти польотний контролер. Схема напайки була взята з сайту виробника FC (див. Додаток А). За зразком схеми пайки виробника, була створена схема саме на цей дрон Рис. 2.15.

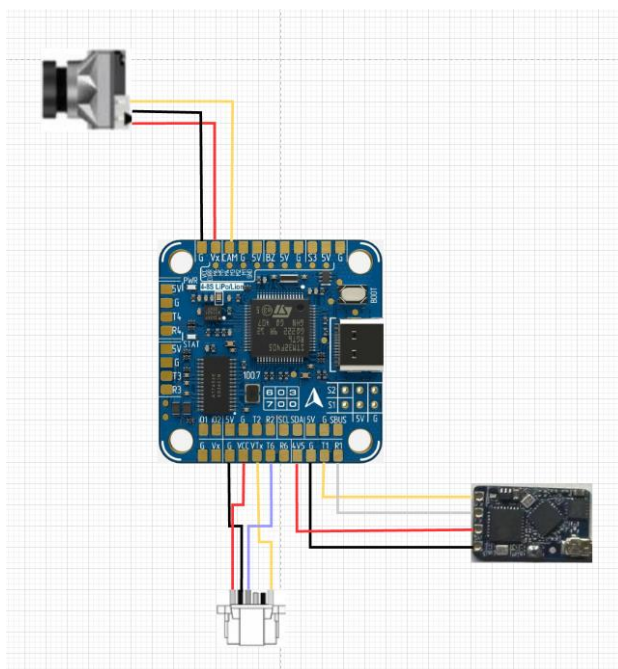


Рисунок 2.15 – Схема пайки FC

Потрібно підготувати польотний контролер і шлейфа до нього Рис. 2.16. А саме треба підготувати шлейф відеопередавача (Rush MaxSolo) та шлейф камери (CADDX) і напаяти радіоприймач (Bauck ELRS 2.4GHz).

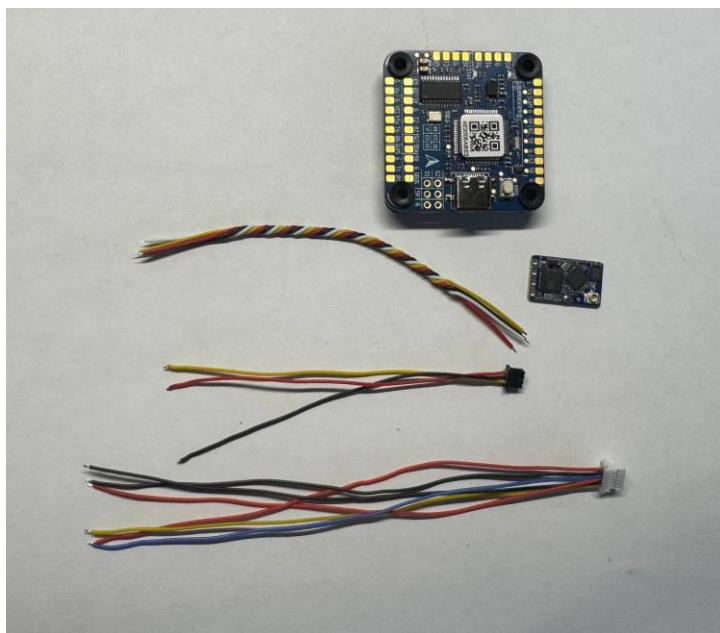


Рисунок 2.16 – FC та шлейфи до нього

Шлейфа і дроти радіоприймача підрізали за розмірами щоб охайно і компактно лягали на раму дрона. Після підготовки шлейфів, переходимо до напайки радіоприймача, дроти до нього були комплектні Рис. 2.17 і Рис. 2.18. Важливо дотримуватись схеми пайки, із-за переплутаних полярностей радіоприймач може не відповідати на команди пульта або навіть згоріти. Радіо приймач – це чутлива частина дрона, яка має бути добре напаяна і вимита від залишків флюсу і припою.



Рисунок 2.17 – Напаяний радіоприймач

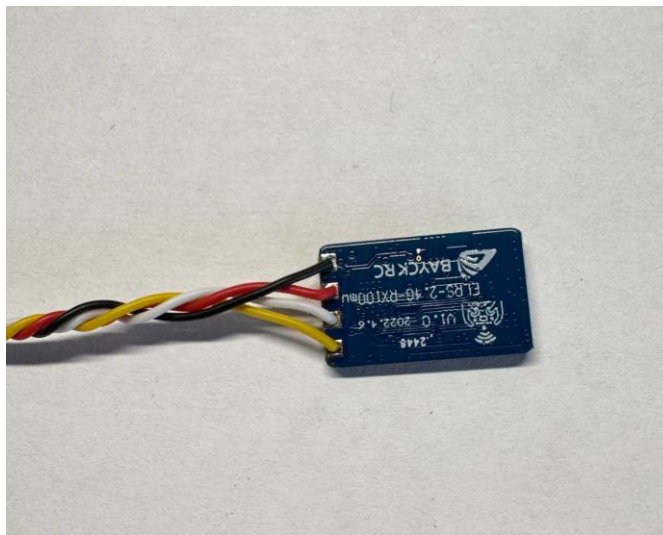


Рисунок 2.18 – Напаяний радіоприймач з іншої сторони

Останнім етапом є напайка самого польотного контролера. Для початку треба залудити всі потрібні площадки за схемою і перед пайкою попередньо залудити дроти шлейфі для гарної якості пропайки, щоб шлейфи на FC не відривалися

Рис. 2.19.

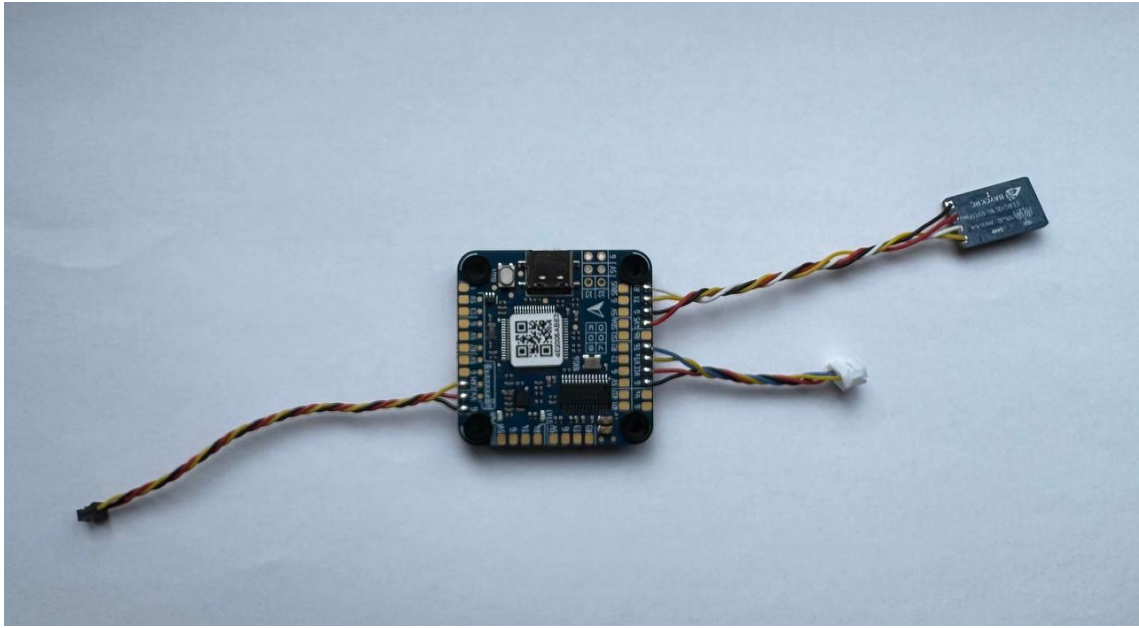


Рисунок 2.19 – Напаяний польотний контролер

2.3 Кінцева зборка

В цьому розділі описується кінцева збірка дрона. А саме встановлення ключових модулів і всіх напаяних напівфабрикатів. І доведення дрона до товарного вигляду.

Оскільки регулятор обертів напаявся на рамі дрона Рис. 2.14, зразу переходимо до встановлення відеопередавача і прокладання коаксіального кабеля до 3Д надрукованої підтримки для антен. Результат можна побачити на Рисунку 2.20.



Рисунок 2.20 – Встановлений відеопередавач

Далі можна спокійно встановлювати польотний контролер. Він встановлюється на спеціальні гвинти над регулятором обертів, а зверху прикручується нейлоновими гайками. Результат можна побачити на Рисунку 2.21.

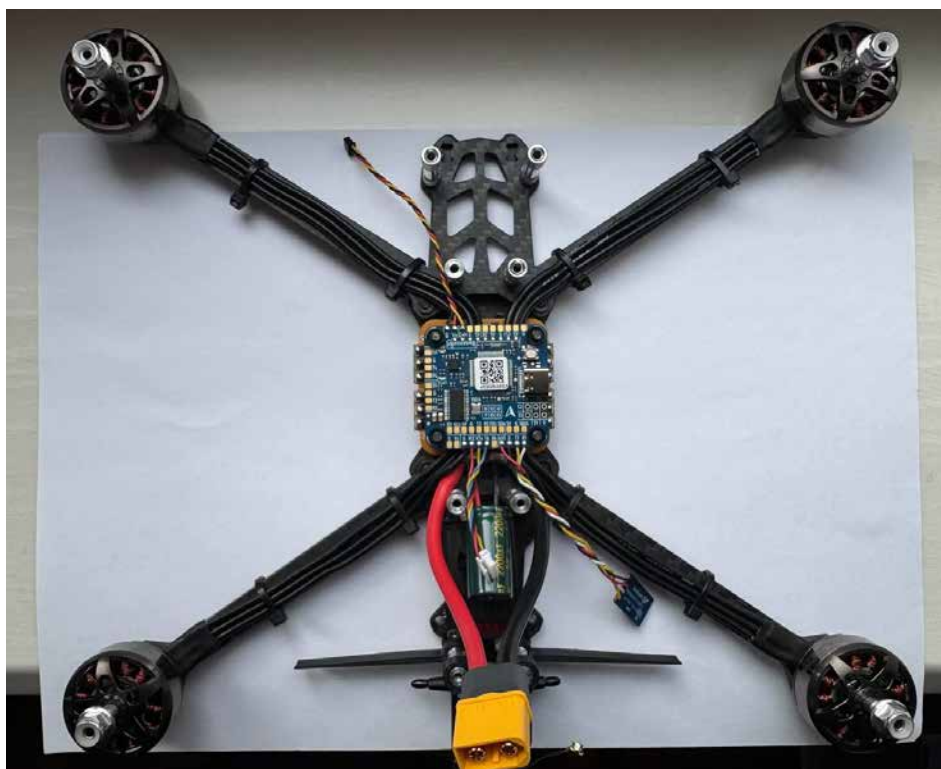


Рисунок 2.21 – Встановлений польотний контролер

Після встановлення відеопередавача, його потрібно підключити шлейфом, який був напаяний раніше Рис. 2.21.

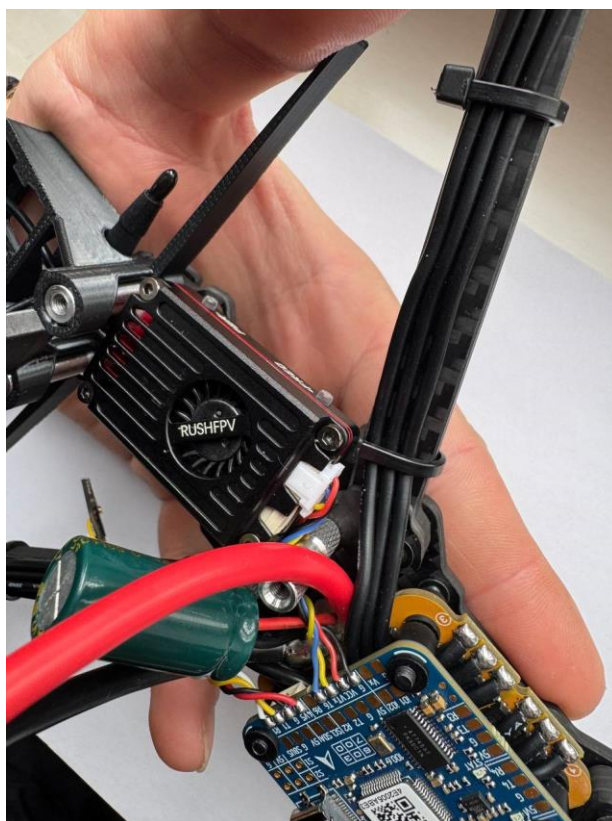


Рисунок 2.21 – Підключення відеопередавача

Наступним кроком переходимо до встановлення антени антений на радіоприймач, вона була комплектна. Обов'язково потрібно вдягнути термозбіжну трубку і нагріти її щоб вона зменшила свій розмір. Це потрібно щоб антена була добре закріплена в своєму роз'ємі і не відєдналась під час руху. Попередньо потрібно прокласти антену в підтримку для антен Рис. 2.22.

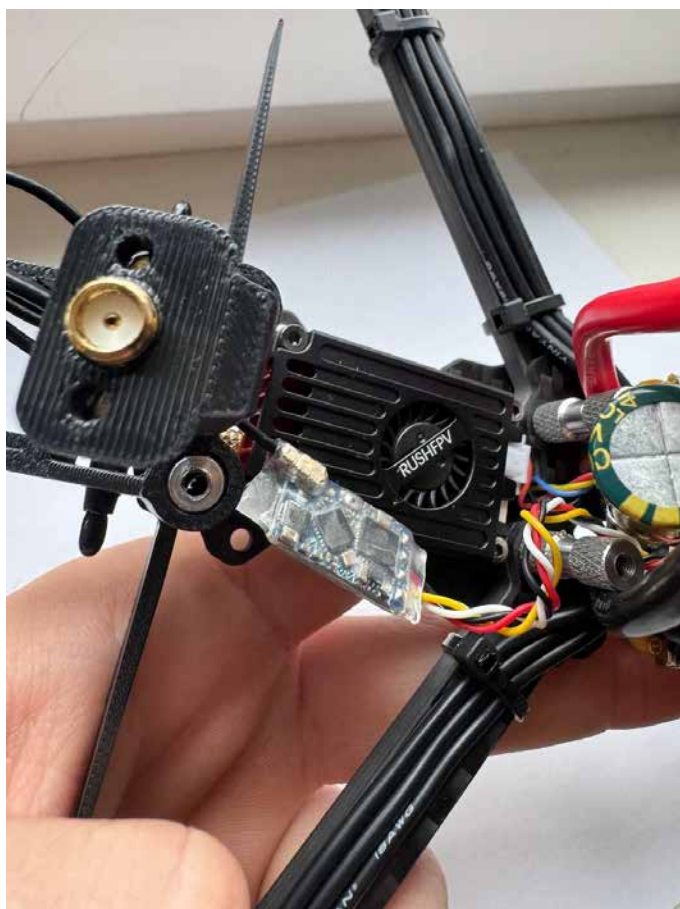


Рисунок 2.22 – Встановлений радіоприймач

Обов'язково потрібно закріпити стяжками радіоприймач і відеопередавач Рис. 2.23. Це потрібно для надійної фіксації і охайного вигляду.



Рисунок 2.23 – Встановлений радіоприймач

Далі треба встановити камеру на раму дрона, оскільки камера встановлюється на частини рами, два елементи які закручуються по бокам рами, її краще встановлювати в самому кінці. Перед цим треба підключити камеру до напаяного шлейфа. Після цього треба буде закрутити верхню основу. Результат можна побачити на Рисунку 2.24.

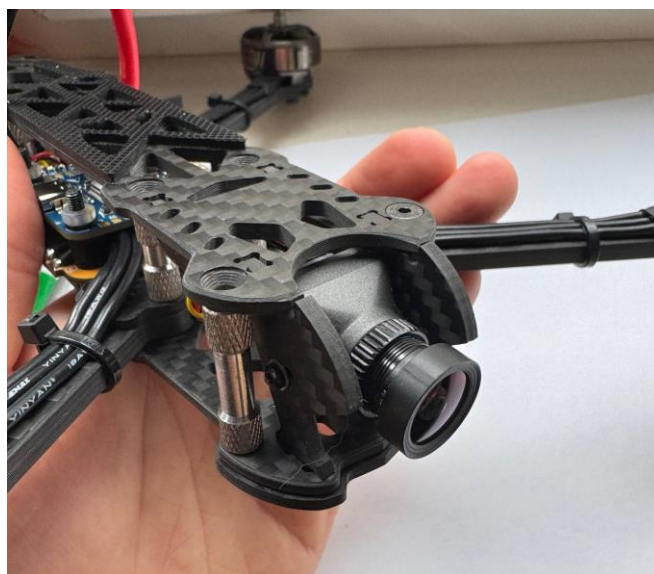


Рисунок 2.24 – Встановлена камера дрона

Тепер можна сказати, що FPV-дрон зібраний, але ще потрібно встановити верхню основу. Вона прикручується на відповідні отвори Рис. 2.25.

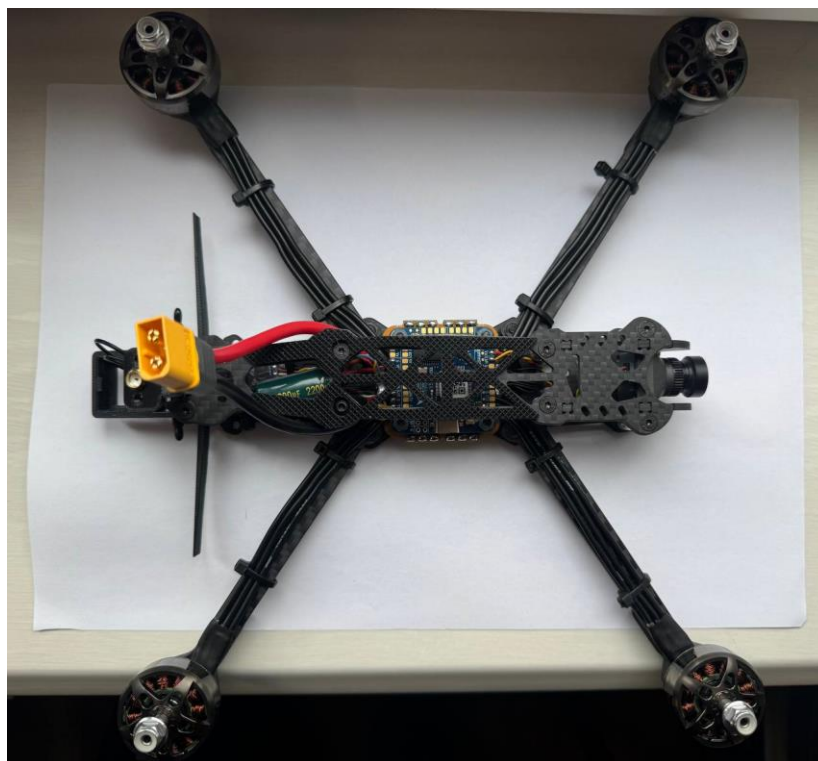


Рисунок 2.25 – Готовий FPV-дрон

2.4 Налаштування дрона

В цьому розділі буде перевірятись включення дрона, перевірка зв'язку, налаштування керування.

Для початку на дроні, потрібно встановити антену відеопередавача, вона встановлюється в спеціальний перехідник, результата зображено на рисунку 2.26



Рисунок 2.26 – Встановлена антена відеопередавача

Треба перевірити як дрон включається і чи все праює, для цього потрібно приєднати до нього батарею, але для першого запуску я купив спеціальний пристрій “Smoke Stopper”. Він під’єднується між батареєю та готовим FPV-дроном для перевірки Рис. 2.27. Якщо буде замикання він дасть сигнал, якщо ні – то дрон нормально запуститься.



Рисунок 2.27 – батарея з “Smoke Stopper”

Підключивши FPV-дрон до батареї, повинен бути відповідний звук, який видають двигуни, також буде чутно як працює відеопередавач і на радіоприймачі буде горіти індикатор Рис. 2.28.



Рисунок 2.28 – Підключена батарея до дронів

Також важливо правильно обрати зарядний пристрій для FPV акумулятора. Один з найкращих в своєму сегменті – це ToolkitRC M7. Версія M7 є найкращий баланс ціни, компактності та функцій. Є і менш дешеві і дорожчі, їх підбирають в залежності від потреб.

Пристрій потрібно правильно налаштувати, що він правильно заряджав і не псував батареї Рис. 2.29.



Рисунок 2.29 – Налаштування зарядного пристрою

Після підключення батарею до порту OutPut під роз'єм XT60 потрібно натиснути Старт Рис.2.30.



Рисунок 2.30 – Зарядження батареї пристроєм ToolkitRC M7

Тепер можна перевіряти і налаштовувати дрон в програмі BetaFlight Configurator. Для цього потрібно влючений дрон під'єднати по type-c до комп'ютеру. Але перед цим потрібно під'єднати пульт Radiomaster до дрону Рис. 2.31. Це потрібно робити через затискання на приймачі кнопки і потім на пульті знайти вкладку Bind. Якщо все правильно підключено, дрон під'єднається.



Рисунок 2.31 – Пульт RadioMater РОCKET

В першу чергу потрібно налаштувати напрямки руху моторів і перевірити чи вони коректно працюють на максимальних обертах. Якщо не перевірити напрямок руху моторів, дрон просто не полетить його буде носити в різні сторони що може нашкодити оточуючим. Процес налаштування зображено на Рисунку 2.32 та Рисунку 2.33

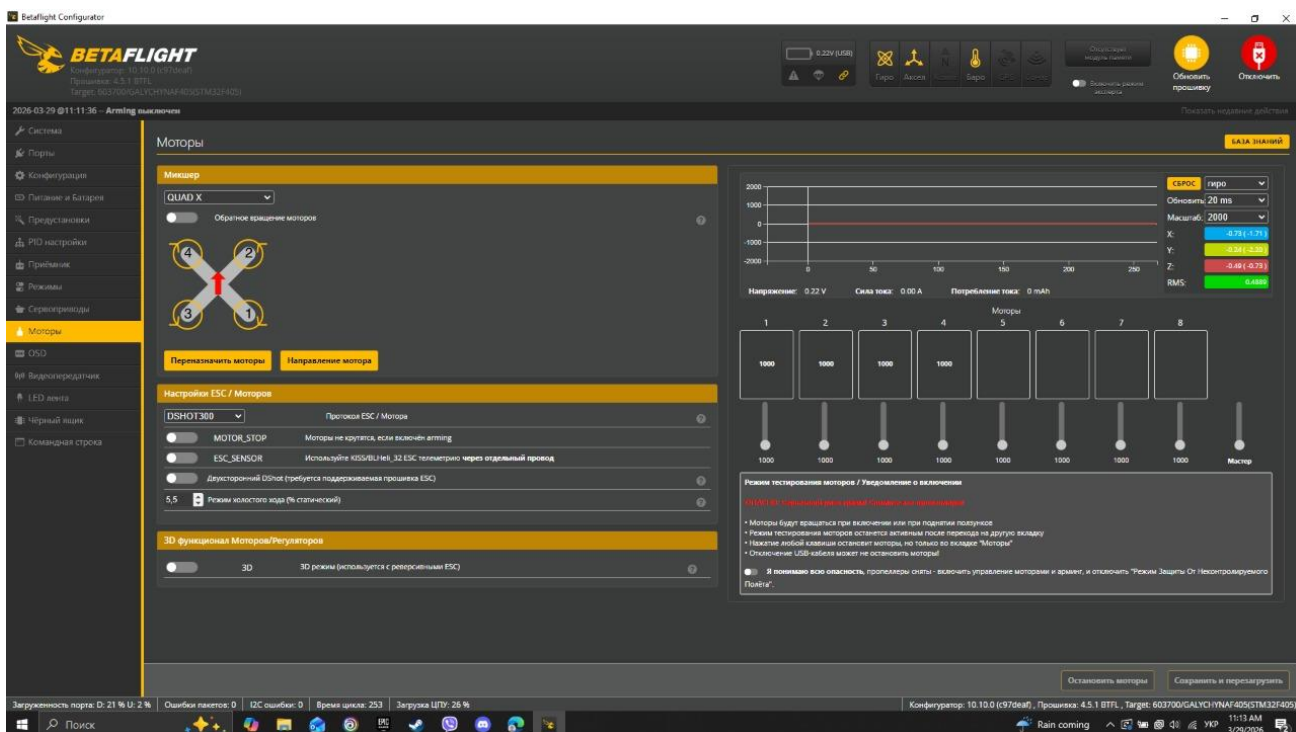


Рисунок 2.32 – Налаштування двигунів дрона



Рисунок 2.33 – Перевірка напрямку обертання моторів

Далі обов’язково потрібно в керування налаштувати Арм дрона і налаштувати переключення режимів керування. Щоб можна було на клавіші пульта переключати Angle режими – режим з стабілізацією і Аcro режим – режим де керування повністю залежить від пілота Рис. 2.35.

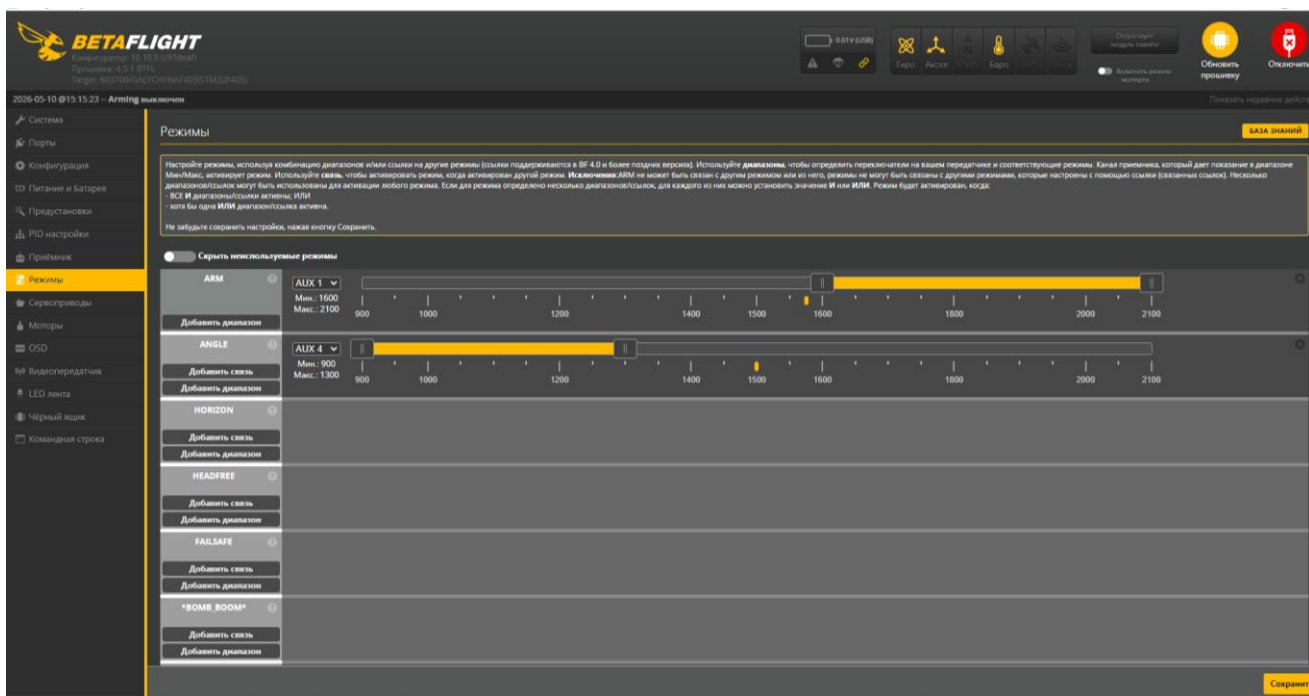


Рисунок 2.35– Налаштування керування дроном

Також важливим налаштування є налаштування OSD-екрану , його можна налаштувати в Betaflight Configuratorі. Завдяки цим налаштування можна вивести системні значення на окуляри або монітор. На Рисунку 2.36 зображене налаштування OSD-екрану з відображенням режиму керування (Аcro або Angle), показує висоту польоту і напругу і розхід батареї, також відображає значення швидкості яке подається від пульта. Результат, який відображається на моніторі зображено на Рисунку 2.37.

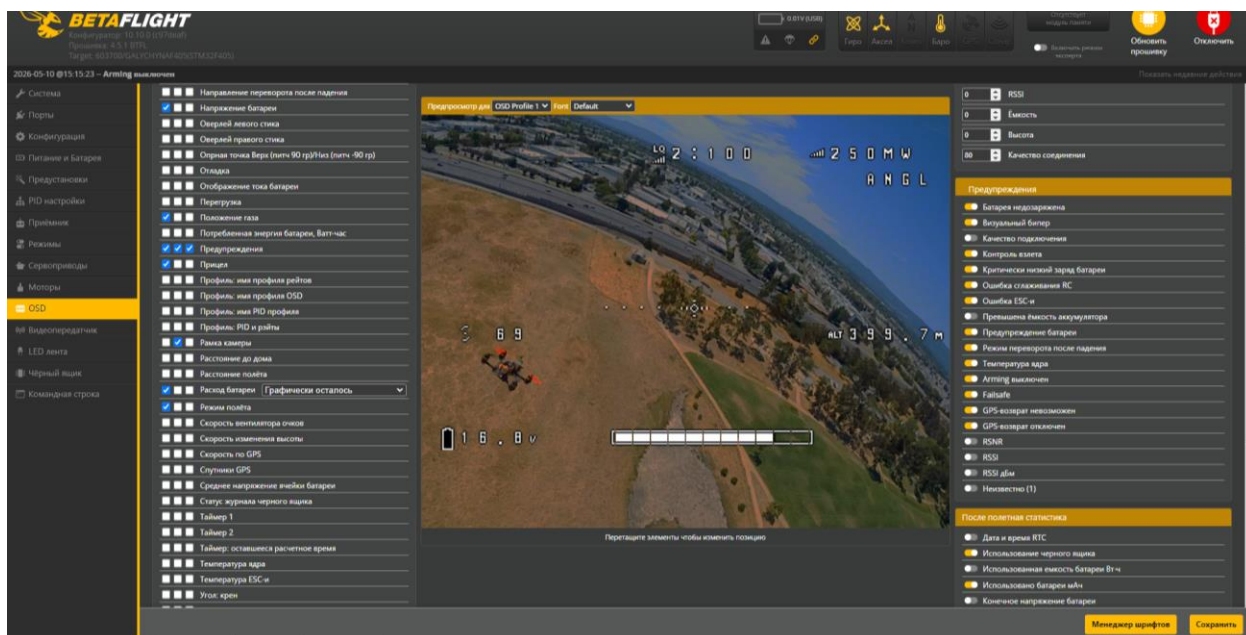


Рисунок 2.36 – Налаштування OSD-екрану



Рисунок 2.37 – Результат налаштування OSD-екрану

Далі потрібно встановити пропелери на FPV-дрон. Пропелери (пропи) на FPV-дрон потрібно ставити правильно, бо навіть повністю справний дрон не злетить або перевернеться при неправильному встановленні.

Кожен FPV-дрон має 4 мотори, і два з них обертаються за годинниковою стрілкою (CW), а два — проти годинникової стрілки (CCW). Саме тому пропелери також бувають двох типів — праві та ліві. Їх не можна ставити навмання, бо кожен проп створений для конкретного напрямку обертання

Рис.2.38.



Рисунок 2.38 – Дрон з пропелерами

3 ТЕСТУВАННЯ ПРАЦЕСДАТНОСТІ ПРОЄКТУ

В цьому розділі розглянеться тестування і перевірка FPV-дрона на роботоспроможність, перевірка налаштувань і також невеликі тести польоту і дальності зв'язку.

3.1 Правила безпеки

Для початку обов'язково треба розглянути правила безпеки з дроном, щоб не нашкодити собі і оточуючим, через особливості конструкції та наявність швидкообертючих пропелерів такі пристрої потребують особливо уважного ставлення та суворого дотримання правил безпеки.

Перед кожним польотом оператор повинен обов'язково перевірити технічний стан дрона, переконатися у правильному встановленні та надійному закріпленні пропелерів Рис.3.1.



Рисунок 3.1 – Підписані пропелери дрона

Перевірити заряд акумулятора, справність пульта керування, відеопередавача, приймача та антен.

Одним із найважливіших аспектів безпеки є правильне поводження з LiPo-акумуляторами, які використовуються у більшості FPV-дронів. Такі батареї потребують заряджання лише спеціальними зарядними пристроями з балансуванням, не допускають перезаряду, глибокого розряду чи механічних пошкоджень, а також повинні зберігатися у спеціальних захисних пакетах Рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Батарея в захисному пакеті

Недотримання цих правил може призвести до перегріву, займання або виходу батареї з ладу.

Не менш важливим є правильний вибір місця для польотів. Безпечніше за все запускати FPV-дрон на відкритих територіях, подалі від людей, транспорту, будівель, дерев, ліній електропередач та інших потенційних перешкод Рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Запуск дрона на відкритій території

Заборонено здійснювати польоти поблизу аеропортів, стратегічних або військових об'єктів, а також у місцях із підвищеним ризиком для оточуючих.

Погодні умови також відіграють важливу роль, оскільки сильний вітер, дощ або туман можуть суттєво ускладнити керування дроном і підвищити ризик аварії.

Під час запуску оператор повинен дотримуватись особистої безпеки, перебувати на безпечній відстані від дрона, уникати контакту з пропелерами та бути максимально зосередженим. У процесі польоту необхідно постійно контролювати рівень заряду акумулятора, якість відеосигналу, дальність польоту та технічний стан апарата. Втрата сигналу або низький заряд батареї можуть призвести до падіння дрона, тому пілот повинен бути готовим до екстреного завершення польоту.

Після посадки слід обов'язково від'єднати акумулятор, перевірити температуру моторів і батареї, оглянути корпус на наявність пошкоджень та провести очищення від пилу чи бруду.

Крім технічних правил, важливо пам'ятати і про юридичну відповідальність. Використання FPV-дронів повинно відповідати чинному законодавству, не порушувати приватність інших людей та не створювати загрозу для суспільства.

Отже, безпечне поводження з FPV-дроном базується на відповідальності оператора, уважному технічному контролі, правильному використанні акумуляторів, дотриманні правил польотів та повазі до оточуючих. Лише грамотний підхід до експлуатації дрона дозволяє повністю реалізувати його можливості без ризику для людей, техніки та навколишнього середовища.

3.2 Перевірка відеосигналу і радіосигналу

Перевірка проводилась в домашніх і польових умовах. Почнемо з того що у відеопередавача RushMax Solo є 4 режими роботи :

- 25 mW (зелений LED) — короткі дистанції
- 500 mW (синій LED) — середня дальність
- 1000 mW (червоний LED) — велика дальність
- MAX / до 2500 mW (фіолетовий LED) — максимальна дальність, потребує хорошого охолодження.

Тестування проводилось в режимі 1000 mW.

В домашніх умовах дрона знаходився в одній кімнаті, відеоприймач в іншій. Між ними було 1 бетонна і декілька стін з цегли. Якість відео була чудова, спостерігались певні шуми, але їх можна позбутися поставивши кращу антену на приймач.

В польових умовах дрон знаходився на відстані 100-120 метрів від приймача, шумів зовсім не було і якість відео була чудова.

Перевірка радіосигналу теж проводилась в домашніх і польових умовах. Але дрона Армився і керувався чудова, не зважаючи на стіни в домашніх умовах та на відстань 100-120 метрів в польових умовах.

3.3 Перевірка польоту, та перший політ в польових умовах

В домашніх умовах не було ніяких перешкод. Дрон спокійно був піднятий на висоту 0.5 метра і опущений, на далі треба було проводити перевірку в польових умовах бо в обмеженому просторі це небезпечно.

В польових умовах тестування польоту проводилось на відкритій ділянці поля. Із перешкод для керування був не рівний рельєф – це додає складності при взльоті і сильний вітер який додавав складності під час самого польоту. Польот здійснювався в режимі керування Angle, який стабілізував дрон, але із-за вітру доводилось додатково вирівнювати його Рис.3.4.



Рисунок 3.4 – Дрон в польоті

Був виконан розворот на 360 градусів в польоті, дрон показав себе чудово. Проблем в повороті не виявлено.

Також була перевірена екстренна посадка дрона, використовуючи функцію DISARM – яка повністю вимикає обертання моторів Рис.3.5.



Рисунок 3.5 – Дрон після використання DISARM

Після першого польоту були виявлені певні недоліки в конструкції дрона, які були одразу усунуті. Недоліки :

- Силовий дріт знаходився близько до пропелерів
- Тримач для антен був не міцний

На силовому дроті, пропелером була пошкоджена ізоляція. Не сильно, жили дроту не було видно, але це потребувало вирішення. Місце пошкодження було посилено ізострічкою, а сам силовий дріт було стягнуто нейловою стяжкою Рис.3.6.

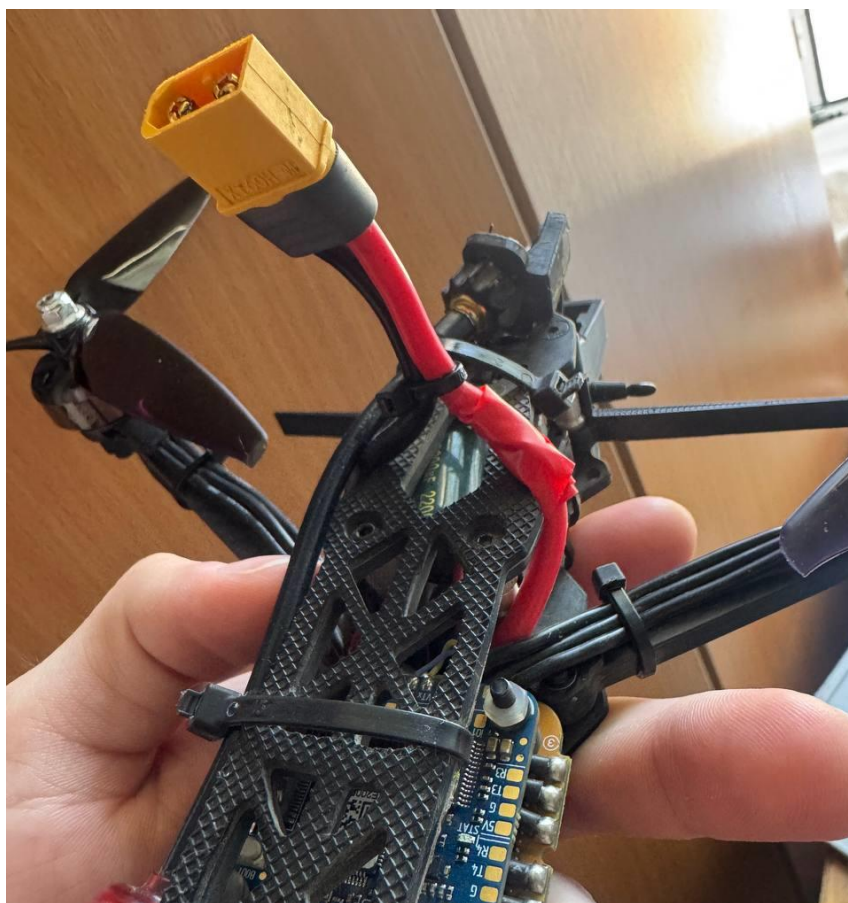


Рисунок 3.6 – Виправлення силового дроту

Також проблема показала себе на надрукованому 3Д принтером тримачі для антен. Після посадки дрона, тримач зламався. Оскільки це сталось в польових умовах, для швидкого ремонту були використані нейлонові стяжки Рис.3.7.

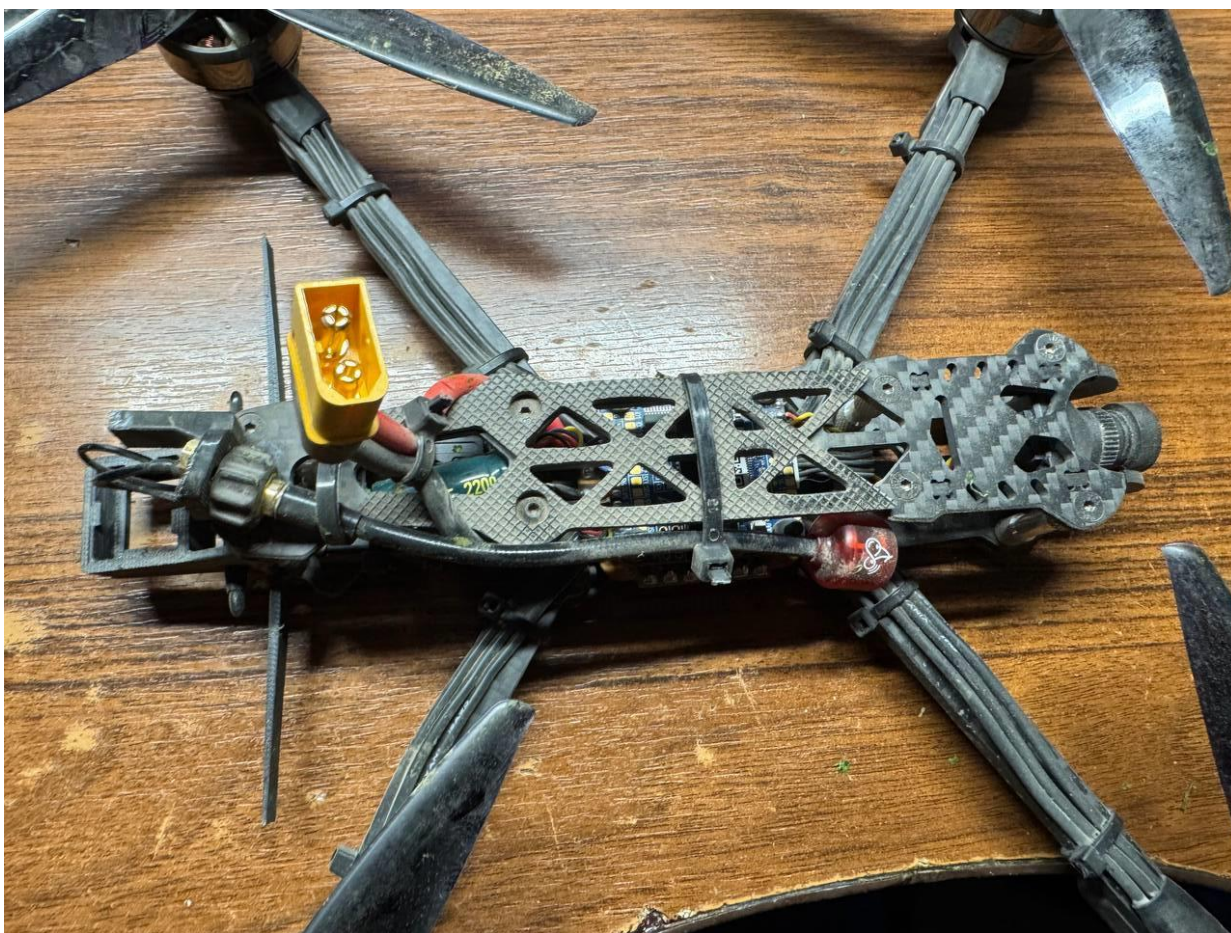


Рисунок 3.7 – Тимчасовий ремонт

В подальшому тримач для антен з 3Д друку пластиком буде замінений на 3Д друк з резини.

Після польотів, дрон був дуже брудний і пильний. Для подальшого використання він був очищений, мотори і стек були продуті від пилу. Пропелери протерті від залишків бруду і трави.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи поставлена мета була повністю досягнута — вдалося розробити, самостійно зібрати, налаштувати та перевірити працездатність мікропроцесорної системи керування FPV-дроном із використанням сучасних комплектуючих і програмного забезпечення.

Під час роботи було детально проаналізовано сферу FPV-дронів, їх призначення, особливості конструкції, принципи роботи та сучасний розвиток цієї технології. На основі технічного завдання обрано найбільш доцільний варіант конструкції — семидюймовий FPV-дрон, а також підібрано всі необхідні компоненти з урахуванням їх характеристик, сумісності між собою, вартості та зручності практичного використання.

Практична частина охоплювала весь процес створення дрона — від збирання рами до повного монтажу та пайки електроніки. Було встановлено й підключено основні елементи системи: польотний контролер, регулятор обертів, камеру, відеопередавач, радіоприймач та інші компоненти. Після завершення збірки виконано програмне налаштування в середовищі Betaflight Configurator, де проведено перевірку роботи систем, калібрування та налаштування режимів керування. Основна увага приділялась якості збірки, правильності підключення та безпечному запуску.

Під час тестування було підтверджено, що всі основні системи працюють коректно: живлення подається стабільно, двигуни функціонують правильно, керування з пульта працює без збоїв, а відеосигнал передається належним чином. Це підтвердило, що створений FPV-дрон відповідає поставленим вимогам і є повністю працездатним.

Практичне значення виконаної роботи полягає в тому, що створена система може стати основою для подальшого вдосконалення: встановлення додаткових модулів, покращення автономності, інтеграції систем штучного інтелекту, комп'ютерного зору або інших сучасних технологій залежно від поставлених задач.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безпілотні літальні апарати (бпла) як загроза безпеці критичної та військової інфраструктури. URL: <https://sidcon.com.ua/tpost/dm08sox491-bezplotn-ltaln-aporati-bpla-yak-zagroza>.
2. Бпла в системі розвідки та вогневого ураження: сучасний стан і перспективи. *Grail of Science*. URL: <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/article/view/2925>.
3. Дрони України: розвиток, можливості та роль у сучасній війні. *BlueBird Tech*. URL: https://www.blue-bird.tech/news/droni-ukrayini-rozvitok-zastosuvannya-ta-rol-u-suchasnij-vijni/?srsltid=AfmBOoqtnJv5yiEWBTvm0qMNCsRcmHlaVIPearmOhVSx_cXNCNqX7c.
4. Купити перехоплювач - БПЛА для ЗСУ | Brave1 Market. URL: <https://market-brave1.delta.mil.gov.ua/perekhopliuvach/>.
5. Купріянова В. С., Матюшенко І. Ю. Стан та перспективи розвитку безпілотних літальних апаратів в Україні. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2015. № 50. URL: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i50.53251> (дата звернення: 23.05.2026).
6. Нейромережа, розпізнавання цілей та мікрокомп'ютер. *Військовий портал Defense Express*. URL: https://defence-ua.com/news/nejromerezha_rozpiznavannja_tsilej_ta_mikrokompjuter_spravzhnij_mashinnij_zir_na_ukrajinskih_fpv_dronah-15106.html.
7. Розвідка, перехоплення цілей і керування вогнем: які безпілотники задіяно у війні в Україні. URL: <https://fakty.com.ua/ua/svit/20230227-osnovne-pryznachennja-rozvidka-najpopulyarnishi-modeli-bezpilotnykiv-v-ukrayini-ta-rosiyi/>.
8. Розумні дрони України: роль штучного інтелекту та машинного зору на фронті. *VGI-9*. URL: <https://vgi.com.ua/rozumni-drony-ukrayiny-rol-mashynnogo-zoru-i-shi-na-fronti/>.
9. Стан і перспективи розвитку безпілотних авіаційних систем “Deep Strike” сил оборони України / П. Стешенко та ін. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2025. № 21(28). С. 139–144. URL: <https://doi.org/10.54858/dndia.2025-21-18> (дата звернення: 23.05.2026).
10. Український III-модуль для FPV. URL: <https://tech.liga.net/ua/technology/article/ukrainskyy-shi-modul-dlia-fpv-koshtuie-do-100-ta-pratsiuie-v-zonakh-reb-analiz-le-monde#:~:text=Система%20TFL->

- 1%20Від%20The%20Fourth%20Law%20дозволяє,без%20зв'язку%20–%20вона%20%.
11. Шлях від ідеї до робочої III-моделі для FPV-дронів.
URL: <https://dou.ua/forums/topic/56514/#:~:text=Людина%20втомлюється,%20III%20–%20ні.%20Оператор%20дрона,ч%20%В>.
 12. Що відомо про українські дрони-перехоплювачі.
URL: <https://www.slovoidilo.ua/2026/03/12/infografika/suspilstvo/yaki-karakterystyky-mayut-ukrayinski-drony-perexoplyuvachi-yakymy-zaczikavyvsya-svit>.
 13. Що таке БПЛА і чим вони відрізняються.
URL: <https://www.peoplesproject.com/sho-take-bpla/>.
 14. Що таке FPV дрони: принцип роботи та основні сфери застосування.
URL: https://flasharmy.com.ua/novosti/scho-take-fpv?utm_source=google&utm_campaign=p.max_FIBERFORM&utm_medium=tovar&utm_gclid=CjwKCAjwTlFPBhAzEiwAv9RTJqaTBO79kYDQhPv3J1Ydsti9f8nGm_z1-5bYQDYaCwon3PjYa7F9lRoCPbgQAvD_BwE&utm_gad_source=1&utm_gbraid=0AAAAA_JTl40An0lGpBQxfPRoG-zUkbKim.
 15. A brief history of drones. URL: https://www.iwm.org.uk/history/contemporary-conflict/a-brief-history-of-drones?utm_source=chatgpt.com.
 16. Contributors to Wikimedia projects. First-person view (remote control) - Wikipedia.
URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/First-person_view_\(remote_control\)?utm_source=chatgpt.com](https://en.wikipedia.org/wiki/First-person_view_(remote_control)?utm_source=chatgpt.com).
 17. FPV University. Betaflight full setup guide | From flash to flight, 2021. *YouTube*.
URL: https://www.youtube.com/watch?v=_iRGE2eZ8Pg.
 18. Glossary - ExpressLRS. URL: <https://www.expresslrs.org/info/glossary/>.
 19. Naval history. *U.S. Naval Institute*. URL: <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine>.
 20. RouterOS - RouterOS - MikroTik Documentation.
URL: <https://help.mikrotik.com/docs/>.

ДОДАТОК А

Схема напайки польотного контролера, яка розміщена на сайті виробника

