

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Михайло БЕЗУГЛИЙ



«11» 06 2024 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньою програмою
«Комп'ютерно інтегровані системи та технології в приладобудуванні»
спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології»
на тему: Багатоцільовий безпілотний літальний апарат**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПБ-02

Нетребський Давид Ігорович



Керівник:

к.т.н., доцент

Філіппова Марина В'ячеславівна



Рецензент:





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

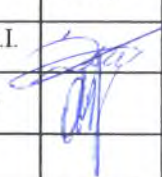
Студент



Київ – 2024

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4		Пояснювальна записка		
3	A1	ДП.ПБ-02.010.K1	Структурна схема	1	
4	A1	ДП.ПБ-02.010.K2	Функціональна схема	1	
5	A1	ДП.ПБ-02.010.K3	Електрична принципова схема	1	
6	A1	ДП.ПБ-02.010.K4	Структурна схема керування БПЛА	1	
7	A1	ДП.ПБ-02.010.K5	Креслення БПЛА	1	

				ПБ-02.1720.01.000.ПЗ		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробник	Нетребський Д.І.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Філіппова М.В.				1	60
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КТВП Гр. ПБ-02	
Н/контр.						

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультету

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Михайло БЕЗУГЛИЙ



«12» квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Нетребському Давиду Ігоровичу

1. Тема роботи «Багатоцільовий безпілотний літальний апарат», керівник роботи Філіппова Марина В'ячеславівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «27» травня 2024 р. №2102-с
2. Термін подання студентом проєкту «03» червня 2024 року.
3. Вихідні дані до проєкту: Рама: Вага: 476 грам, розмір: 650 мм (діагональ); Контролер польоту: Процесор: STM32H743VIT6, 480MHz. ОЗП: 1Mb. Пам'ять: 2Mb. UART порти: 7. PWM виходи: 13. Вхідна напруга: 6 ~ 36V, ВЕС: 5V 2V (макс. 3A); Плата розподілу живлення: Діапазон вхідної напруги: 8 ~ 60V (3 ~ 12S LiPo). Робочий струм: 4 x 70A (макс. 4 x 110A). Датчик струму: 440A. ВЕС: 5V. ВЕС струм: макс. 3A; Регулятори швидкості: Робочий струм: 40A. Піковий струм: 60A (10 сек). ВЕС: відсутня. Живлення: 2-6S Lipo; Безколекторні двигуни: Робоча напруга: 25,2 Вольт. Потужність: 700 Вт. Максимальний струм: 40A; Пропелери з вуглецевого волокна CW&CCW: Розмір: 18 x 5,5. Маса: 31г/шт; Камера FPV:

Датчик зображення: 1/2.8"2MP. Роздільна здатність: 1500TVL. Система сигналу: PAL / NTSC. Живлення: DC 5-24V.

4. Зміст пояснювальної записки: Анотація. Вступ. 1. Сучасні розробки у сфері безпілотних літальних апаратів. 1.2. Технології транспортування дронів 1.3. системи ретрнасляції зв'язку для БПЛА 1.4. Проблеми та виклики . 2. Розроблення БПЛА. 2.1. Розроблення структурної схеми БПЛА. 2.2. Конструкція БПЛА 2.3. Розроблення структурної схеми керування БПЛА. 2.4. Вибір елементів апаратного забезпечення БПЛА. 2,5. Розроблення функціональної та електричної принципової схем БПЛА. 3. Тестування та випробування БПЛА.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Класифікація БПЛА. 2. Структурна схема БПЛА. 3. Функціональна схема БПЛА. 4. Електрична принципова схема БПЛА. 5. Конструкція БПЛА. 6. Результати тестування та випробування БПЛА. ____

6. Дата видачі завдання «12» квітня 2024 р..

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Актуальність розроблення багатоцільового безпілотного літального апарату. Класифікація БПЛА	18.04.2024	
2	Розроблення структурної схеми БПЛА. Розроблення структурної схеми керування БПЛА	28.04.2024	
3	Вибір елементів апаратного забезпечення БПЛА. Розроблення функціональної та електричної принципової схем БПЛА	06.05.2024	
4	Тестування та випробування БПЛА	27.05.2024	
5	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2024	

Студент

Давид НЕТРЕБСЬКИЙ

Керівник

Марина ФІЛІППОВА

РЕФЕРАТ

Тема: Багатоцільовий безпілотний літальний апарат

Обсяг роботи: 71 сторінок, 3 розділи, 66 рисунків, 5 таблиць, 21 джерел.

Ключові слова: багатоцільовий безпілотний літальний апарат, квадрокоптер, транспортування дронів, ретрансляція зв'язку, FPV дрони, система управління, автономність.

Актуальність роботи: У сучасних умовах використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стрімко зростає, особливо у військовій та цивільній сферах. Багатоцільові БПЛА здатні виконувати широкий спектр завдань, включаючи транспортування менших FPV дронів та забезпечення стабільного зв'язку в складних умовах. Розробка такого апарату є актуальною для підвищення ефективності операцій та розширення можливостей використання дронів.

Мета роботи: Створення багатоцільового безпілотного літального апарату квадрокоптерного типу як платформи для ретранслятора та системи скиду FPV дронів. Фокус на розробці самого БПЛА, який дозволить реалізувати концепцію транспортування FPV дронів та ретрансляцію зв'язку. Сам ретранслятор та система скиду будуть приблизно описані, але не зображені.

Завдання дослідження:

1. Аналіз сучасних розробок у сфері безпілотних літальних апаратів та визначення їх класифікації.
2. Розроблення структурної схеми БПЛА та схеми його керування.
3. Вибір елементів апаратного забезпечення БПЛА та розроблення функціональної та електричної принципової схем.
4. Тестування та випробування розробленого БПЛА.
5. Оцінка ефективності та перспектив розвитку багатоцільових БПЛА.

Методи дослідження: У роботі використовувалися теоретичні та експериментальні методи дослідження, зокрема аналіз літературних джерел, комп'ютерне моделювання, експериментальне тестування та випробування розробленого БПЛА.

Основні результати:

1. Розроблено концепцію багатоцільового БПЛА з вибором та обґрунтуванням технічних параметрів.
2. Використання двох акумуляторів 6S2P на елементах Molicel забезпечує тривалий час польоту та достатню потужність для виконання завдань.
3. Багатоцільовий БПЛА використовує прошивку ArduPilot та керується за допомогою Mission Planner. PID-налаштування здійснюються за допомогою режиму AutoTune.
4. Проведені наземні та льотні випробування показали стабільну роботу всіх систем дрона, відповідність технічним вимогам, ефективність камер та системи ретрансляції зв'язку.
5. Використання багатоцільових БПЛА для транспортування менших FPV дронів та ретрансляції їх зв'язку демонструє високу ефективність у виконанні різних завдань.

ABSTRACT

Topic: Development of a multipurpose unmanned aerial vehicle of quadcopter type for transportation and relaying

Volume of work: 71 pages, 3 chapters, 30 figures, 5 tables, 21 sources.

Keywords: multi-purpose unmanned aerial vehicle, quadcopter, drone transportation, communication relay, FPV drones, control system, autonomy.

Purpose of study: In modern conditions, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) is growing rapidly, especially in the military and civilian spheres. Multi-purpose UAVs are capable of performing a wide range of tasks, including transporting smaller FPV drones and providing stable communication in difficult conditions. The development of such a vehicle is relevant to improve the efficiency of operations and expand the use of drones.

Objective: Creation of a multi-purpose quadcopter-type unmanned aerial vehicle as a platform for a repeater and a system for dropping FPV drones. The focus is on the development of the UAV itself, which will allow to implement the concept of transporting FPV drones and relaying communications. The repeater itself and the drop system will be roughly described, but not depicted.

Research objectives:

1. Analyze current developments in the field of unmanned aerial vehicles and determine their classification.
2. Development of a structural diagram of the UAV and its control scheme.
3. Selection of UAV hardware elements and development of functional and electrical schematic diagrams.
4. Testing and testing of the developed UAV.
5. Evaluation of the effectiveness and development prospects of multi-purpose UAVs.

Research methods: The theoretical and experimental research methods were used in the work, in particular, the analysis of literature sources, computer modeling, experimental testing and testing of the developed UAV.

Main results:

1. The concept of a multi-purpose UAV with the selection and justification of technical parameters was developed.
2. The use of two 6S2P batteries on Molicel cells provides a long flight time and sufficient power to perform tasks.
3. The multi-purpose UAV uses ArduPilot firmware and is controlled by Mission Planner. PID settings are made using the AutoTune mode.
4. Ground and flight tests have shown the stable operation of all drone systems, compliance with technical requirements, the effectiveness of cameras and the communication relay system.
5. The use of multi-purpose UAVs to transport smaller FPV drones and relay their communications demonstrates high efficiency in performing various tasks.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проєкту

на тему:

**«Багатоцільовий безпілотний літальний
апарат»**

Зміст

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОЦІЛЬОВОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ	12
1.1. Сучасні розробки у сфері безпілотних літальних апаратів	12
1.2. Технології транспортування дронів	23
1.3. Системи ретрансляції зв'язку для БПЛА та дронів	29
1.4. Проблеми та виклики	33
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ	34
2.1. Структурна схема БПЛА	34
2.2. Конструкція БПЛА	34
2.3. Структурна схема керування БПЛА	36
2.4. Вибір та обґрунтування технічних параметрів БПЛА	40
2.5. Інтеграція з меншими FPV дронами	48
2.6. Система ретрансляції зв'язку	49
2.7. Розроблення функціональної схеми БПЛА	50
2.8. Поетапний алгоритм складання ББПЛА	54
РОЗДІЛ 3. ТЕСТУВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ БПЛА	63
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	75
Додаток А. Креслення та схеми	76
Додаток Б. Програмний код	82
Додаток В. Інструкції з експлуатації БПЛА	84
Додаток Г. Результат тестів зв'язку	86

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають важливим інструментом як у військових, так і в цивільних операціях завдяки їх універсальності та здатності виконувати складні завдання. Розробка БПЛА, здатного транспортувати менші дрони та ретранслювати їх зв'язок, має величезний потенціал.

У військовій сфері такі БПЛА можуть забезпечити безпечну доставку FPV дронів до небезпечних зон, де вони можуть виконувати розвідувальні місії або інші завдання без ризику для життя оператора. Завдяки ретрансляції зв'язку можна підтримувати стабільну комунікацію навіть у складних умовах, де звичайні засоби зв'язку не працюють.

У цивільних застосуваннях ці БПЛА можуть використовуватися для моніторингу інфраструктури, сільського господарства, пошуково-рятувальних операцій та доставки вантажів у важкодоступні місця. Вони дозволяють оперативно реагувати на надзвичайні ситуації, забезпечуючи швидке доставлення обладнання або медикаментів.

Таким чином, транспортування менших дронів та ретрансляція їх зв'язку є перспективним напрямом, який може значно підвищити ефективність та безпеку виконання багатьох завдань у різних сферах діяльності.

РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОЦІЛЬОВОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

1.1. Сучасні розробки у сфері безпілотних літальних апаратів

Актуальність та значущість. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стрімко розвиваються та знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи військову, цивільну та комерційну. У військовій сфері БПЛА використовуються для розвідки, спостереження, цільової атаки, а також для забезпечення комунікацій та логістики. У цивільній сфері БПЛА використовуються у сільському господарстві, будівництві, нагляді за інфраструктурою, картографуванні та в багатьох інших галузях.

Класифікація БПЛА. БПЛА можна класифікувати за різними ознаками, такими як вага, дальність польоту, тип використання та інші параметри.

Класифікація БПЛА за даними Google наведена в таблиці 1.1. В таблиці 1.2 приведено класифікацію БПЛА Міністерства оборони США

Таблиця 1.1

Класифікація БПЛА за даними Google [1]

Клас	Категорія	Висота застосування
I (маса до 150 кг)	малі (15–150 кг)	до 1500 м
II (маса 150–600 кг)	тактичні	до 5500 м
III (маса понад 600 кг)	середньовисотні великої дальності (MALE — Medium-altitude long endurance)	до 14000 м
	висотні великої дальності (HALE — High-altitude long endurance)	до 20000 м

Таблиця 1.2.

Класифікація БПЛА за класифікацією Міністерства оборони США[2]:

Категорія	Розмір	Максимальна злітна вага (MGTW) (фунти)	Нормальна висота польоту (фути)	Швидкість (вузли)
Група 1	Малий	0-20	<1,200 AGL*	<100
Група 2	Середній	21-55	<3,500	<250
Група 3	Великий	<1,320	<18,000 MSL**	<250
Група 4	Більший	>1,320	<18,000 MSL	Будь-яка швидкість
Група 5	Найбільший	>1,320	>18,000	Будь-яка швидкість

* AGL = Відносно рівня землі ** MSL = Відносно рівня моря

Примітка: Якщо у БПЛА є хоча б одна характеристика наступного рівня, він класифікується в цьому рівні. Джерело: US DOT.

Дуже малі БПЛА

Дуже малі БПЛА (рис.1.1) включають апарати з розмірами від великих комах до 30-50 см завдовжки. БПЛА, схожі на комах, з махаючими або обертовими крилами, є популярним мікродизайном. Вони мають надзвичайно малі розміри, дуже легкі та можуть використовуватись для шпигунства і біологічної війни. Більші моделі мають традиційну конфігурацію літака. Вибір між махаючими або обертовими крилами залежить від бажаної маневровості. Дизайни з махаючими крилами дозволяють приземлення та посадку на малих поверхнях. Прикладами дуже малих БПЛА є ізраїльський IAI Malat Mosquito (з розмахом крил 35 см і тривалістю польоту 40 хвилин), американський Aurora Flight Sciences Skate (з розмахом крил 60 см і довжиною 33 см), австралійський Cyber Technology CyberQuad Mini (з розмірами 42x42 см) та їх остання модель CyberQuad Maxi.

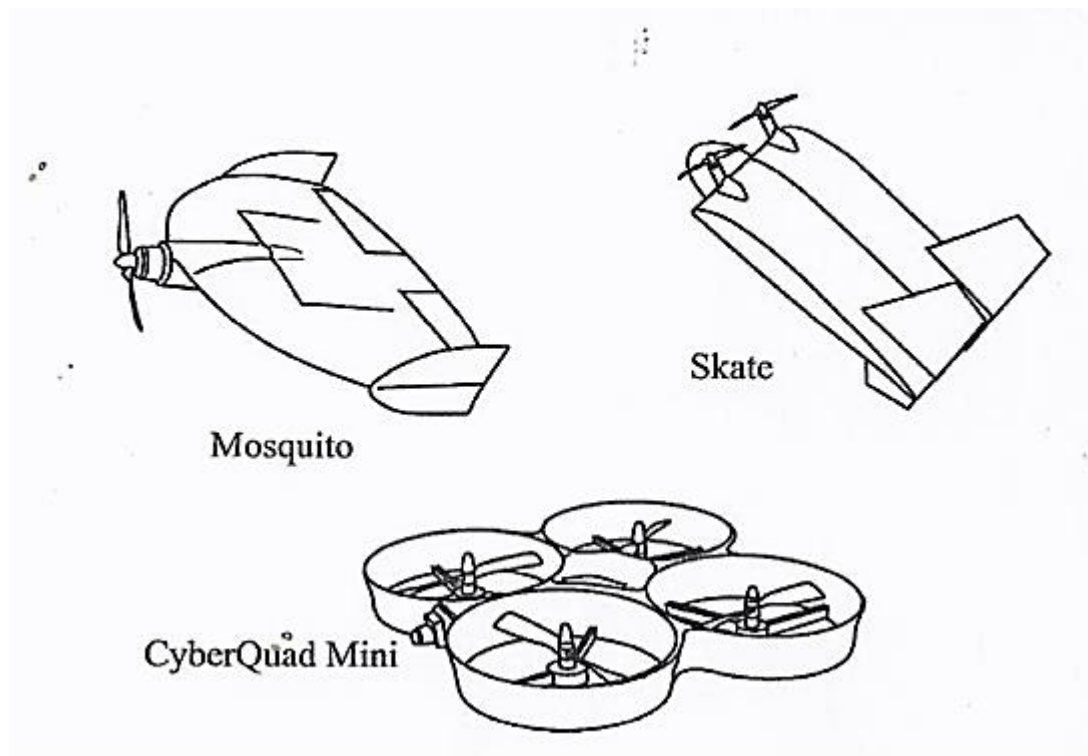


Рисунок 1.1 Приклади дуже малих БПЛА

Малі БПЛА

Клас малих БПЛА, також відомий як міні-БПЛА, включає апарати, що мають принаймні одну вимірювану розмірність понад 50 см, але не перевищують 2 метри. Багато моделей у цій категорії мають конструкцію з фіксованим крилом, і більшість з них запускаються вручну, шляхом кидання у повітря, як показано на рисунку 1.2. Прикладами малих БПЛА є:

- RQ-11 Raven, виробництва американської компанії AeroVironment, довжиною 1 метр і з розмахом крил 1,4 метри;
- Турецький Bayraktar (рисунок 1.5), вагою приблизно 5 кг і з дальністю зв'язку 20 км;
- Американський RQ-7 Shadow (рисунок 1.3);
- The AiRanger™ від American Aerospace (рисунок 1.4), який є перехідною моделлю між малими і середніми системами.

Деякі БПЛА цього класу мають конструкцію з обертовими крилами.



Рисунок 1.2 Малий БПЛА з ручним запуском



Рисунок 1.3 RQ-7 Shadow армії США. RQ-7B, або Shadow 200, - це тип безпілотного літального апарату, яким керує VMU-3.



Рисунок 1.4 The AiRanger™

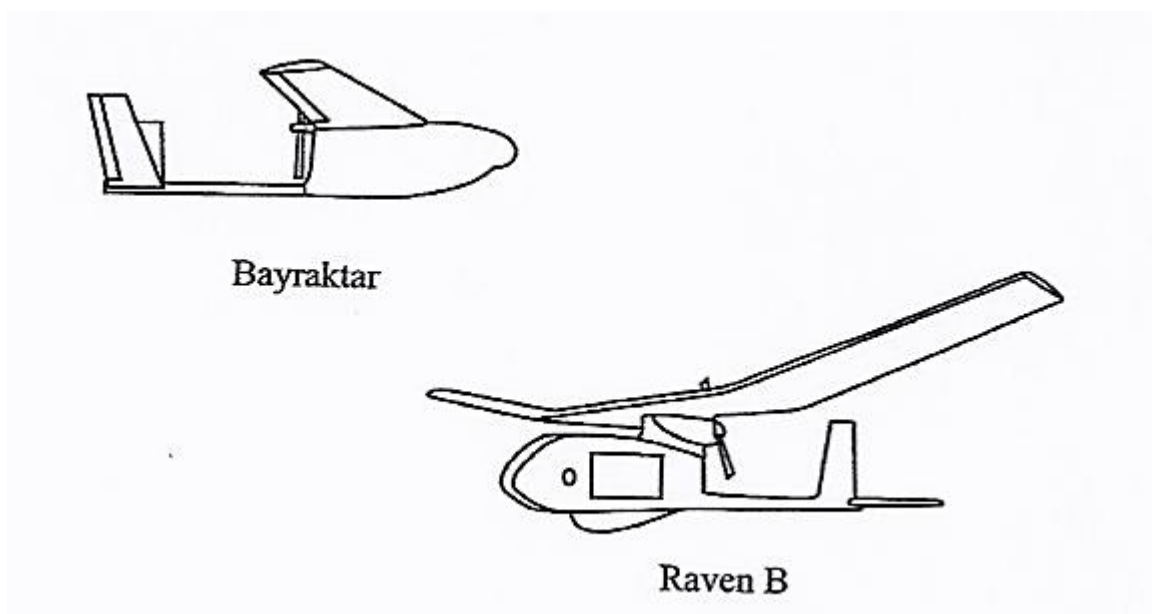


Рисунок 1.5 Приклади малих БПЛА

Середні БПЛА

Клас середніх БПЛА охоплює апарати, які занадто важкі, щоб їх могла переносити одна людина, але вони все ще менші за легкі літаки. Зазвичай їх

розмах крил становить приблизно 5-10 метрів, а вантажопідйомність варіюється від 100 до 200 кг. Прикладами середніх БПЛА з фіксованим крилом є ізраїльсько-американський Hunter та британський Watchkeeper (див. Рисунок 1.6 нижче). Інші моделі, які використовувалися раніше, включають американські Boeing Eagle Eye, RQ-2 Pioneer, BAE Systems Skyeye R4E та RQ-5A Hunter. Hunter має розмах крил 10,2 метра та довжину 6,9 метра, а його злітна вага становить близько 885 кг. Інший приклад перехідного БПЛА, що відповідає характеристикам як малих, так і середніх систем, — RS-20 від American Aerospace. Також існує багато середніх БПЛА з обертовими крилами.

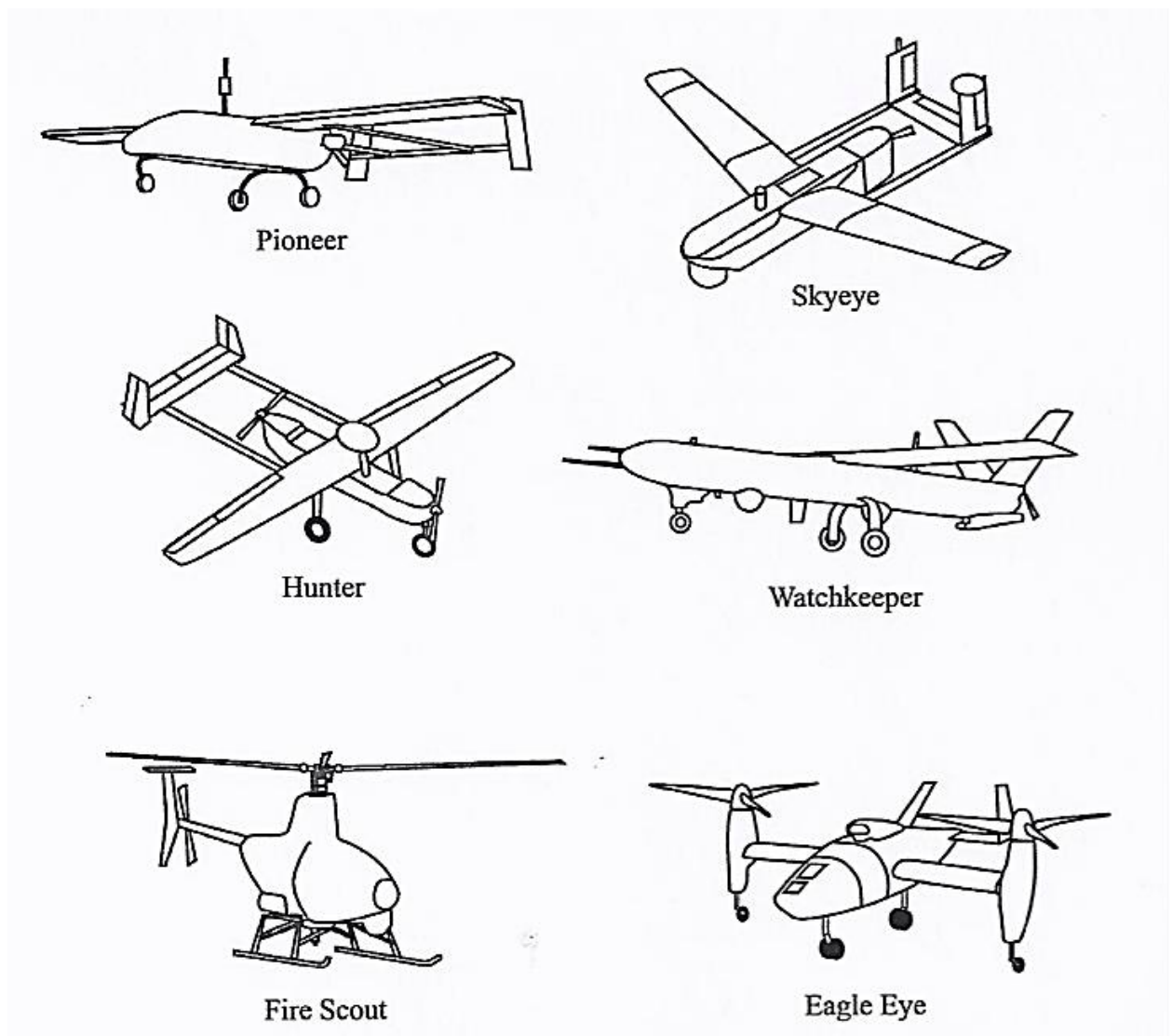


Рисунок 1.6 Приклади середніх БПЛА

Великі БПЛА

Клас великих БПЛА включає великі безпілотні літальні апарати, які переважно використовуються військовими для бойових операцій. Прикладами таких великих БПЛА є американські General Atomics Predator A і B, а також Northrop Grumman Global Hawk (рисунки 1.7 та 1.8).

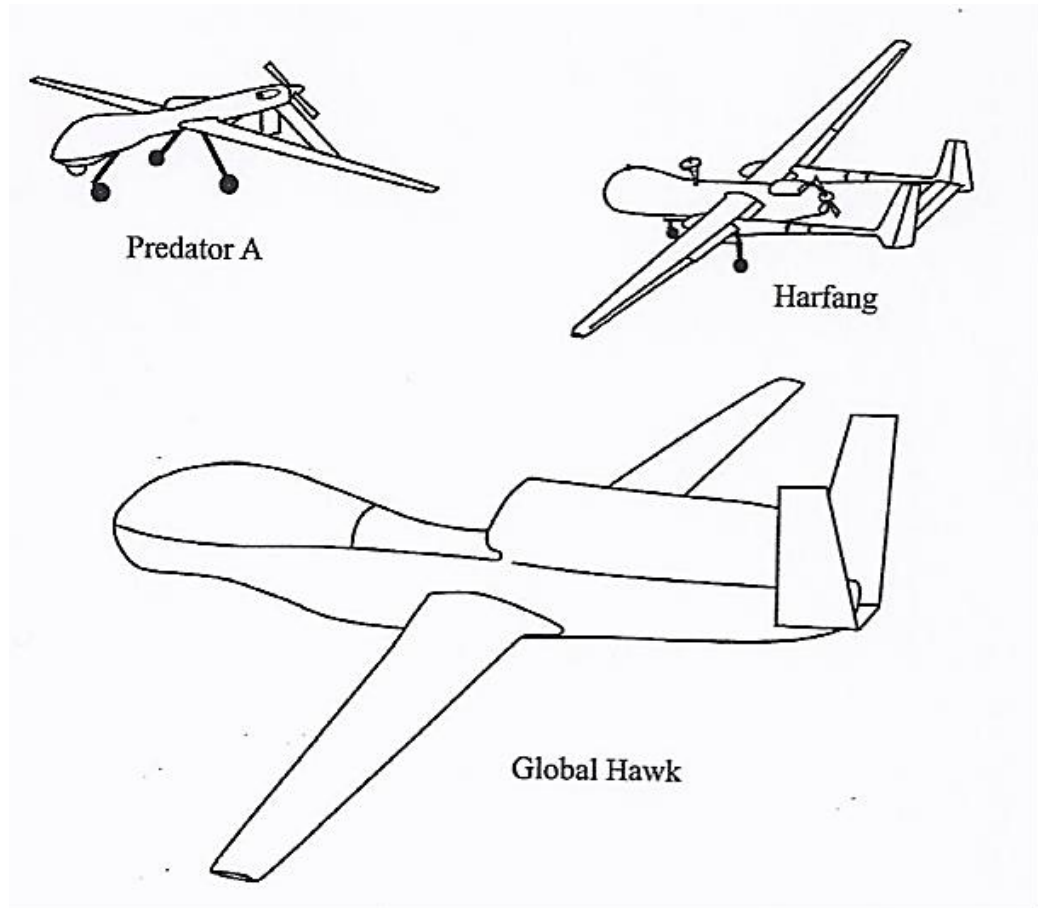


Рисунок 1.7 Приклади великих БПЛА



Класифікація БПЛА за дальністю та витривалістю

БПЛА малої дальності: До цього класу належать БПЛА з дальністю польоту до 5 км, часом витривалості від 20 до 45 хвилин і вартістю близько \$10 000 (за даними 2012 року). Прикладами таких БПЛА є Raven і Dragon Eye. Ці БПЛА дуже схожі на моделі літаків.

БПЛА ближнього радіусу дії: До цього класу належать БПЛА з дальністю польоту до 50 км і часом витривалості від 1 до 6 годин. Вони зазвичай використовуються для розвідки та спостереження.

БПЛА малого радіусу дії: До цього класу належать БПЛА з дальністю польоту 150 км і більше та часом автономної роботи від 8 до 12 годин. Як і БПЛА ближнього радіусу дії, вони в основному використовуються для розвідки та спостереження.

БПЛА середньої дальності: До цього класу належать БПЛА з високою швидкістю і робочим радіусом до 650 км. Вони використовуються для розвідки та спостереження, а також для збору метеорологічних даних.

Витривалі БПЛА: До цього класу належать БПЛА з тривалістю польоту до 36 годин і робочим радіусом до 3000 км. Ці БПЛА можуть працювати на висоті до 30 000 футів. Вони також використовуються для розвідки та спостереження.

T.REX ARMS в своїй серії повчальних відео [] пропонують класифікувати безпілотні літальні апарати (БПЛА) по чотирьом основними факторами (рис. 1.10): розмір/вартість та автономність/інтелект. Ці фактори дозволяють оцінити функціональні можливості та застосування різних моделей БПЛА в залежності від їхніх характеристик.

1. Розмір/вартість БПЛА

Розмір: Розмір БПЛА визначає його можливості з точки зору вантажопідйомності, тривалості польоту, а також типу завдань, які він може виконувати. Менші БПЛА, такі як TinyWhoop, зазвичай використовуються для коротких місій, де не потрібна велика вантажопідйомність або тривалий час

польоту. Водночас великі БПЛА, такі як GlobalHawk або Predator, можуть виконувати більш складні завдання, включаючи військові операції, моніторинг та розвідку на великих відстанях.

Вартість: Вартість БПЛА залежить від його розміру, технічних характеристик та функціональних можливостей. Менші та простіші БПЛА, такі як TinyWhoop або FPV Drone 7', мають нижчу вартість, тоді як великі та високотехнологічні апарати, такі як Predator або Thanatos, є значно дорожчими через їхні розширені можливості та складні системи управління.

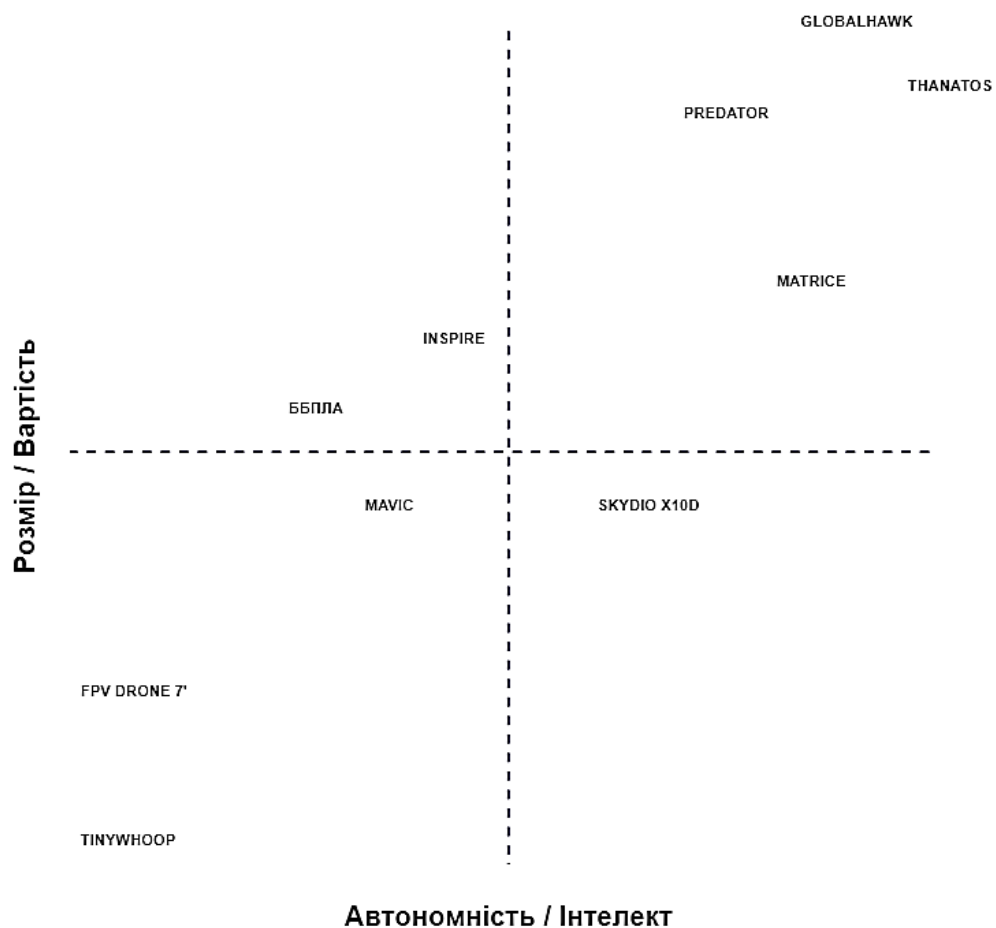


Рисунок 1.9 Графік розмежування БПЛА та дронів по чотирьом основним факторам

2. Автономність/інтелект

Автономність: Автономність визначає здатність БПЛА виконувати завдання без втручання оператора. Це включає можливість автоматичного

виконання маршрутів, самостійного ухвалення рішень та адаптації до змінних умов. БПЛА з високим рівнем автономності, такі як Skydio 2 або Matrice, можуть працювати більш ефективно та безпечно, зменшуючи навантаження на операторів.

Інтелект: Інтелект БПЛА визначається рівнем використання штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для покращення функціональності та продуктивності. Це включає розпізнавання об'єктів, ухвалення рішень у реальному часі та оптимізацію маршрутів. Високий рівень інтелекту дозволяє БПЛА, таким як Skydio X10D або Thanatos, виконувати складні завдання з мінімальним втручанням людини.

Пояснення позицій на графіку

- TinyWhoop: Невеликий розмір, низька вартість, низький рівень автономності та інтелекту.
- FPV Drone 7': Середній розмір, невисока вартість, низький рівень автономності та інтелекту.
- Mavic: Середній розмір, середня вартість, середній рівень автономності та інтелекту.
- Aspire: Середній розмір, середня вартість, середній рівень автономності та інтелекту.
- ББПЛА: Середній розмір, середня вартість, середній рівень автономності та інтелекту (прототип багатоцільового БПЛА).
- **SKYDIO X10D**: Середній розмір, середня вартість, високий рівень автономності та інтелекту.
- Matrice: Великий розмір, висока вартість, високий рівень автономності та інтелекту.
- Predator: Дуже великий розмір, дуже висока вартість, середній рівень автономності та інтелекту.
- GlobalHawk: Дуже великий розмір, дуже висока вартість, високий рівень автономності та інтелекту.

- Thanatos: Дуже великий розмір, дуже висока вартість, найвищий рівень автономності та інтелекту.

Технологічні досягнення сучасних БПЛА

Автономні системи управління

Автономні системи управління є ключовими для сучасних БПЛА, дозволяючи їм виконувати складні маневри та місії без втручання оператора. Ці системи включають набір алгоритмів і сенсорів, які забезпечують стабільність польоту, навігацію та виконання завдань.

Основні компоненти:

1. Автопілот: Основний модуль, що контролює всі аспекти польоту, включаючи зліт, посадку, стабілізацію та виконання місій.
2. Сенсори: До них відносяться GPS, гіроскопи, акселерометри, магнітометри, барометри та інші сенсори, які забезпечують орієнтацію і стабільність дрона.
3. Навігаційні системи: Використовують GPS та інші супутникові навігаційні системи для точного визначення місцезнаходження та маршруту польоту.
4. Системи запобігання зіткненням: Використовують лазери, радары або камери для виявлення та обходу перешкод у реальному часі.

Приклад: Системи автономного управління дозволяють дрону слідкувати за заданим маршрутом, автоматично коригувати курс у разі виявлення перешкод, а також виконувати складні маневри, такі як обліт перешкод або точне приземлення на обмежену площу.

Системи обробки даних в реальному часі

Системи обробки даних в реальному часі дозволяють БПЛА збирати, аналізувати та передавати дані з різних сенсорів під час польоту. Це особливо важливо для виконання місій, що вимагають швидкого прийняття рішень.

Основні компоненти:

1. Процесори: Потужні обчислювальні блоки, які здатні швидко обробляти великі обсяги даних.

2. Сенсори: Камери, LiDAR, тепловізори, хімічні сенсори та інші пристрої для збору даних.
3. Телеметрійні модулі: Забезпечують передачу даних на наземні станції або інші дрони для подальшого аналізу або дій.
4. Аналіз даних: Включає алгоритми для обробки зображень, розпізнавання об'єктів, аналізу атмосферних умов та інших параметрів у реальному часі.

Приклад: Під час місії з моніторингу забруднення дрон може збирати дані про якість повітря, аналізувати їх у реальному часі та передавати результати на наземну станцію для подальших дій. Це дозволяє швидко реагувати на виявлені проблеми.

Технології штучного інтелекту та машинного навчання

Технології штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) використовуються для поліпшення автономності, розпізнавання об'єктів та прийняття рішень. Вони дозволяють дронам адаптуватися до нових умов, навчатися на основі отриманих даних та виконувати завдання більш ефективно.

Основні компоненти:

1. Алгоритми машинного навчання: Використовуються для аналізу даних, розпізнавання об'єктів, планування маршрутів та ухвалення рішень. Алгоритми можуть бути навчальними на великих обсягах даних для покращення точності та ефективності.
2. Нейронні мережі: Застосовуються для складних завдань, таких як розпізнавання образів, класифікація даних та прогнозування. Нейронні мережі можуть бути навчальними для розпізнавання певних об'єктів або умов.
3. Розпізнавання образів: Технології ШІ дозволяють дронам розпізнавати об'єкти, такі як будівлі, автомобілі, люди або інші дрони. Це використовується для навігації, уникнення зіткнень та виконання інших завдань.

4. Адаптивні системи управління: Використовують ШІ для адаптації поведінки дрона до змінних умов, таких як зміни погоди, виявлення нових перешкод або зміни у завданні.

Приклад: Дрон, обладнаний технологіями ШІ та МН, може виконувати складні завдання, такі як автоматичне розпізнавання та відстеження об'єктів, адаптація маршруту польоту залежно від змін умов або автоматичне ухвалення рішень у реальному часі. Наприклад, під час рятувальної операції дрон може використовувати ШІ для пошуку потерпілих у важкодоступних районах, автоматично аналізуючи зображення з камери.

Технологічні досягнення сучасних БПЛА дозволяють значно розширити їхні можливості та підвищити ефективність виконання завдань. Використання автономних систем управління, систем обробки даних в реальному часі та технологій штучного інтелекту і машинного навчання робить сучасні дрони надзвичайно потужними інструментами у різних сферах діяльності, включаючи військові, цивільні та гуманітарні операції.

1.2. Технології транспортування дронів

Концепції транспортування дронів. Однією з перспективних концепцій є використання більших БПЛА для транспортування менших БПЛА/дронів. Така система дозволяє оперативно доставляти дрони в зони, які важко досяжні або небезпечні для людини.

Технічні аспекти транспортування. Основні технічні аспекти транспортування дронів включають:

- Механізми захоплення та випуску дронів: спеціалізовані системи, які дозволяють безпечно прикріплювати та відпускати менші БПЛА/дрони.
- Стабілізація вантажу: системи, які забезпечують стабільність під час польоту, що важливо для точного випуску дронів.
- Аеродинамічні характеристики: конструкції, які мінімізують вплив вантажу на аеродинамічні властивості основного дрона.

Приклади транспортування дронів іншими дронами є досить інноваційними і використовуються у різних сферах, від військових до комерційних. Ось кілька прикладів:

Військові приклади

1. Gremlin Drone Program (DARPA) [3]:

- DARPA (Агентство перспективних дослідницьких проектів оборони США) розробляє програму Gremlin, де великі транспортні дрони запускають і відновлюють менші дрони під час польоту. Метою є зменшення ризику для людей і забезпечення швидкої розвідки та збору даних у важкодоступних зонах.



Рисунок 1.10 Десантуванням літального апарату Gremlin на C-130

2. X-61A Gremlins Air Vehicle [3]:

- Розроблений компанією Dynetics у співпраці з DARPA, цей дрон може бути запусканий з великого літака або іншого дрона та повернутий на материнський літак у повітрі. Він призначений для розвідки, спостереження та забезпечення зв'язку.



Рисунок 1.11 X-61A в польоті

3. Китайські концепти крилатої ракети, яка виступає в ролі носія для 80 БПЛА (імовірно камікадзе) [5]:

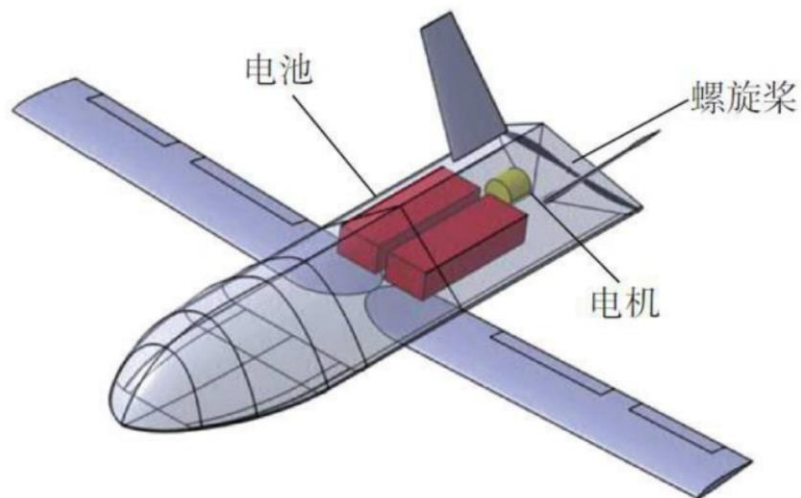


Рисунок 1.12 Схема рою БПЛА



Рисунок 1.13 Форма та внутрішнє розташування ракетного носія



Рисунок 1.14 Демонстрація БФ “Дикі шершні” БПЛА “ Королева диких шершнів ” [6]



Рисунок 1.15 Демонстрація командиром підрозділу «Птахи Мадяра» БПЛА “Дрономатка” призначеного для транспортування менших FPV дронів [7]

Комерційні та цивільні приклади

1. Zipline [8]:

- Zipline використовує дрони для доставки медичних товарів у важкодоступні райони. Хоча самі дрони Zipline не транспортуються іншими дронами, концепція їхнього використання вказує на можливість застосування більш великих дронів для транспортування медичних дронів у віддалені райони.



Рисунок 1.16 Нові дрони Zipline випускають приєднані міні-дрони для точної доставки пакунків

2. Google Project Wing [9]:

- Компанія Google (тепер частина Alphabet) розробила проект Wing, де дрони використовуються для доставки товарів. Ідея полягає в тому, що великі дрони можуть транспортувати кілька менших дронів до віддалених локацій, де вони потім можуть здійснювати доставку безпосередньо до клієнтів.



Рисунок 1.17 "Project Wing": Google представив нову систему доставки безпілотниками

Інноваційні концепти

1. Amazon Prime Air [10]:

- Amazon розробляє систему дронів для доставки товарів, де великі дрони можуть транспортувати менші дрони до зон доставки. Це

дозволить забезпечити доставку товарів у міські райони та важкодоступні місця.



Рисунок 1.18 Концепт Amazon Prime Air

2. Uber Elevate [11]:

- Uber працює над проектом Elevate, де використовуються великі дрони для транспортування пасажирів та товарів. Хоча прямого прикладу транспортування дронів іншими дронами поки що немає, концепція передбачає використання великих дронів для транспортування різних вантажів, включаючи потенційно менші дрони.

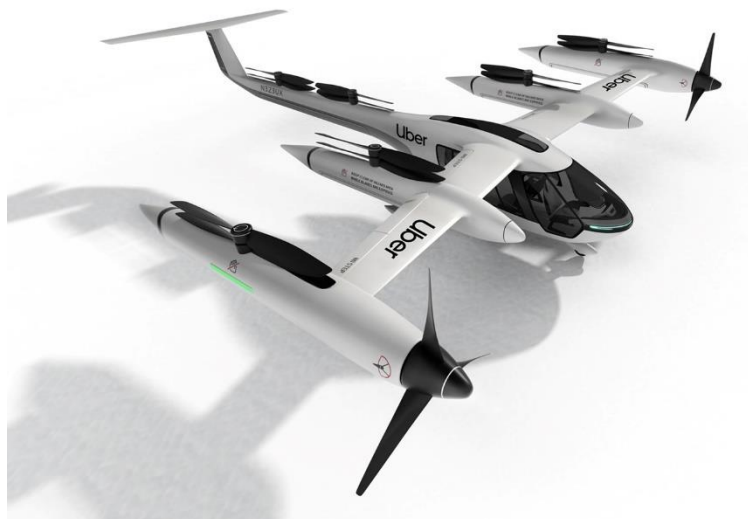


Рисунок 1.19 Концепт Uber Elevate

1.3. Системи ретрансляції зв'язку для БПЛА та дронів

До російсько-української війни ретранслятори для FPV дронів були в основному хобі-пристроями ентузіастів, які не мали великої популярності та потреби. Їхній потенціал зрозуміли в 2023 році, коли застосування FPV дронів стало масовим і для того, щоб покращити зв'язок, мати можливість залітати у важкодоступні місця та убезпечити екіпажі, почали активно розробляти та виготовляти ретранслятори FPV зв'язку. Їх можна розділити на дві категорії: наземного та повітряного базування. Часто можна сплутати ретранслятор та репітер. Ретранслятор приймає сигнал, обробляє його (часто змінює частоту), а потім передає далі. Репітер приймає і підсилює сигнал, передаючи його далі без змін частоти.

Приклади ретрансляторів наземного базування [12]:



Рисунок 1.20 Наземний ретранслятор на прийом відеосигналу на частоті 1.2 Ghz та передачу на частоті 5.8 Ghz



Рисунок 1.21 Наземний ретранслятор на прийом та передачу відеосигналу та сигналу управління для FPV дронів

Приклади ретрансляторів повітряного базування:



Рисунок 1.22 Ретранслятор для FPV дронів на DJI Mavic 3 українського виробництва [13]



Рисунок 1.23 Ретранслятор для FPV дронів на DJI Matrice 30T українського виробництва [13]



Рисунок 1.24 Ретранслятор для FPV дронів на DJI Matrice 300 українського виробництва [13]



Рисунок 1.25 Ретранслятор для FPV дронів на DJI Mavic 3 українського виробництва [13]



Рисунок 1.26 Комплекс БПЛА “Скіф”, призначений для ретрансляції радіо- та відеосигналу всіх видів безпілотних систем, українського виробництва [17]



Рисунок 1.27 Аеростат “Аеробавовна”, українського виробництва, призначений для ретрансляції зв’язку багатьох безпілотних систем [15]

Необхідність ретрансляції зв'язку. Одним з основних викликів для сучасних БПЛА є забезпечення стабільного зв'язку на великих відстанях або в умовах перешкод. Ретрансляція зв'язку дозволяє підвищити дальність та якість передачі даних між дронами та операторами.

1.4. Проблеми та виклики

Проблеми транспортування дронів. Основні проблеми транспортування дронів включають:

- Вага та балансування: необхідність забезпечення стабільності під час транспортування вантажу.
- Безпека: ризик пошкодження дронів під час транспортування або випуску.
- Енергоефективність: збільшення споживання енергії через додатковий вантаж.

Виклики ретрансляції зв'язку. Основні виклики ретрансляції зв'язку включають:

- Інтерференція: можливість перешкод між сигналами.
- Затримка: можливі затримки в передачі даних через додаткові етапи ретрансляції.
- Надійність: забезпечення стабільного зв'язку в умовах змінних середовищ.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

2.1. Структурна схема БПЛА

Основною метою розробки багатоцільового безпілотної літального апарату (БПЛА) квадрокоптерного типу є створення універсальної платформи, здатної виконувати функції транспортування менших FPV дронів та ретрансляції їх зв'язку. Такий БПЛА має бути мобільним, надійним та здатним виконувати різні завдання у складних умовах експлуатації. На рисунку 2.1 показана структурна схема БПЛА, яка дає розуміння принципу взаємодії усіх систем між собою

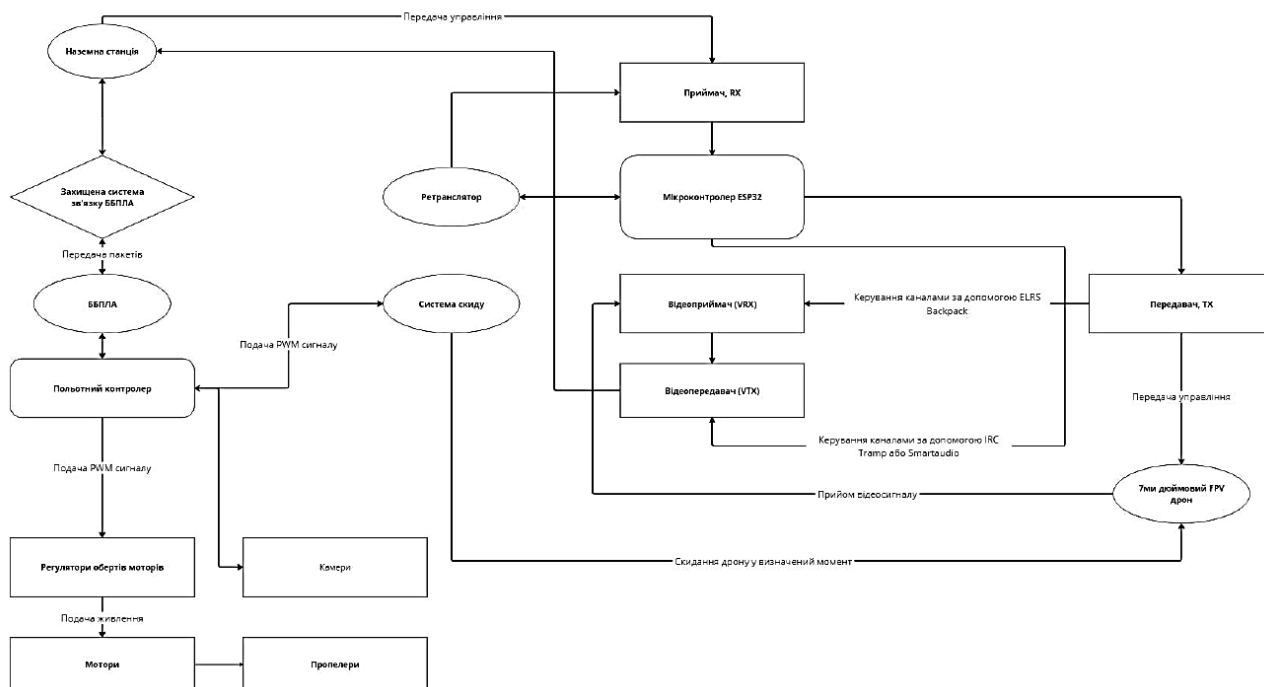


Рисунок 2.1. Структурна схема БПЛА

2.2. Конструкція БПЛА

В конструкції багатоцільового безпілотної літального апарату (БПЛА) показано основні компоненти та їхнє розташування (рис. 2.2), а саме:

- 1. Основна частина рами (1):** Центральний компонент, до якого кріпляться всі інші частини.

2. Промінь рами (2): Структурні елементи, що з'єднують мотори з основною рамою.

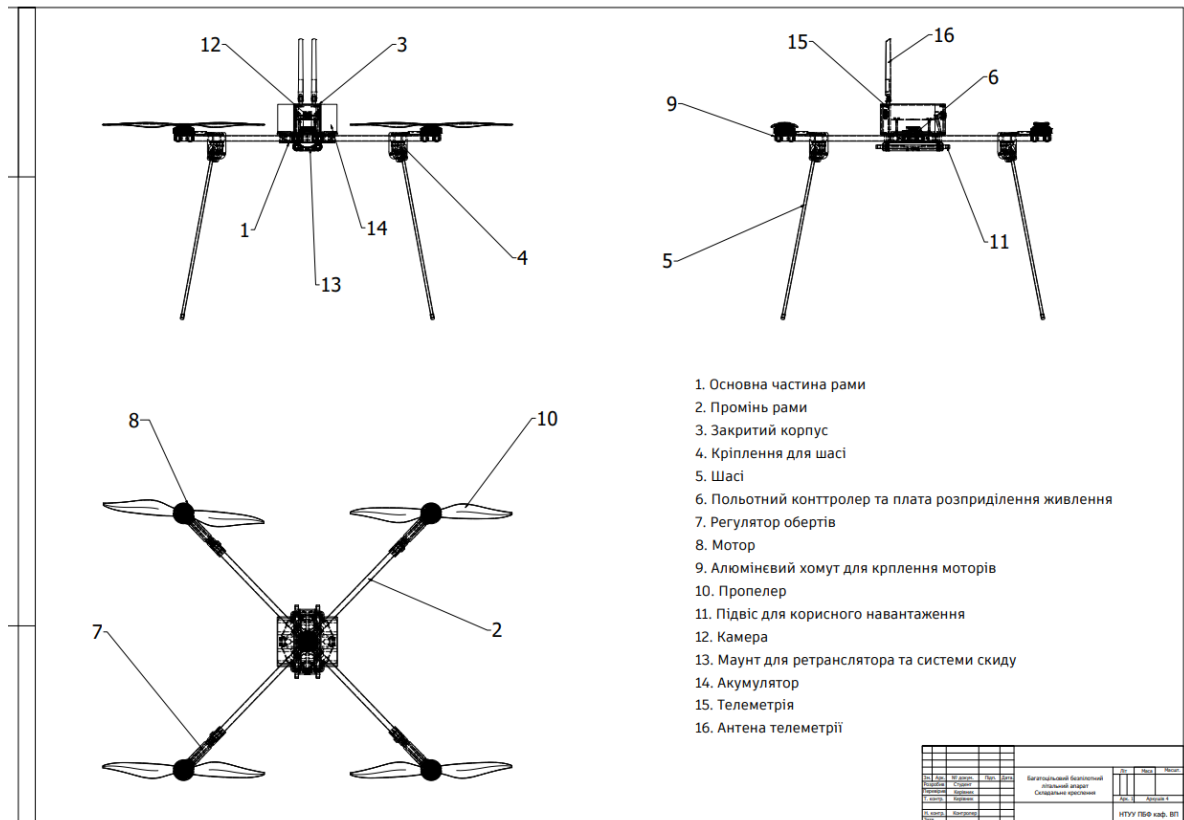


Рисунок 2.2 Конструкція БПЛА

- 3. Закритий корпус (3):** Захисна оболонка для електронних компонентів.
- 4. Кріплення для шасі (4):** Елементи для фіксації шасі.
- 5. Шасі (5):** Підтримуючі елементи для посадки і зльоту.
- 6. Польотний контролер та плата розподілення живлення (6):** Центральний блок управління.
- 7. Регулятор обертів (7):** Контролює швидкість обертання моторів.
- 8. Мотор (8):** Привід для пропелерів.
- 9. Алюмінієвий хомут для кріплення моторів (9):** Фіксація моторів на променях.
- 10.Пропелер (10):** Лопаті, що забезпечують підйомну силу.
- 11.Підвіс для корисного навантаження (11):** Механізм для кріплення вантажу.
- 12.Камера (12):** Оптичний сенсор для спостереження.

13. Маунт для ретранслятора та системи скиду (13): Кріплення для додаткових модулів.

14. Акумулятор (14): Джерело живлення.

15. Телеметрія (15): Система для передавання даних.

16. Антена телеметрії (16): Забезпечує зв'язок з наземною станцією.

Це креслення показує розташування всіх основних компонентів БПЛА, забезпечуючи чітке уявлення про конструкцію та взаємодію різних систем апарата.

2.3. Структурна схема керування БПЛА

Структурна схема керування безпілотного літального апарату (БПЛА) демонструє взаємодію різних компонентів, необхідних для стабільного та контрольованого польоту. Розглянемо кожен компонент та його роль у системі:

1. GPS (Глобальна система позиціонування)

- Використовується для визначення географічних координат БПЛА та його швидкості відносно землі.
- Дані з GPS передаються в блок розрахунку положення.

2. Магнітометр

- Визначає напрямок відносно магнітного поля Землі.
- Використовується для орієнтації БПЛА у просторі.

3. Гіроскоп

- Вимірює кутову швидкість обертання БПЛА навколо трьох осей (roll, pitch, yaw).
- Дані з гіроскопа передаються в блок розрахунку положення для стабілізації.

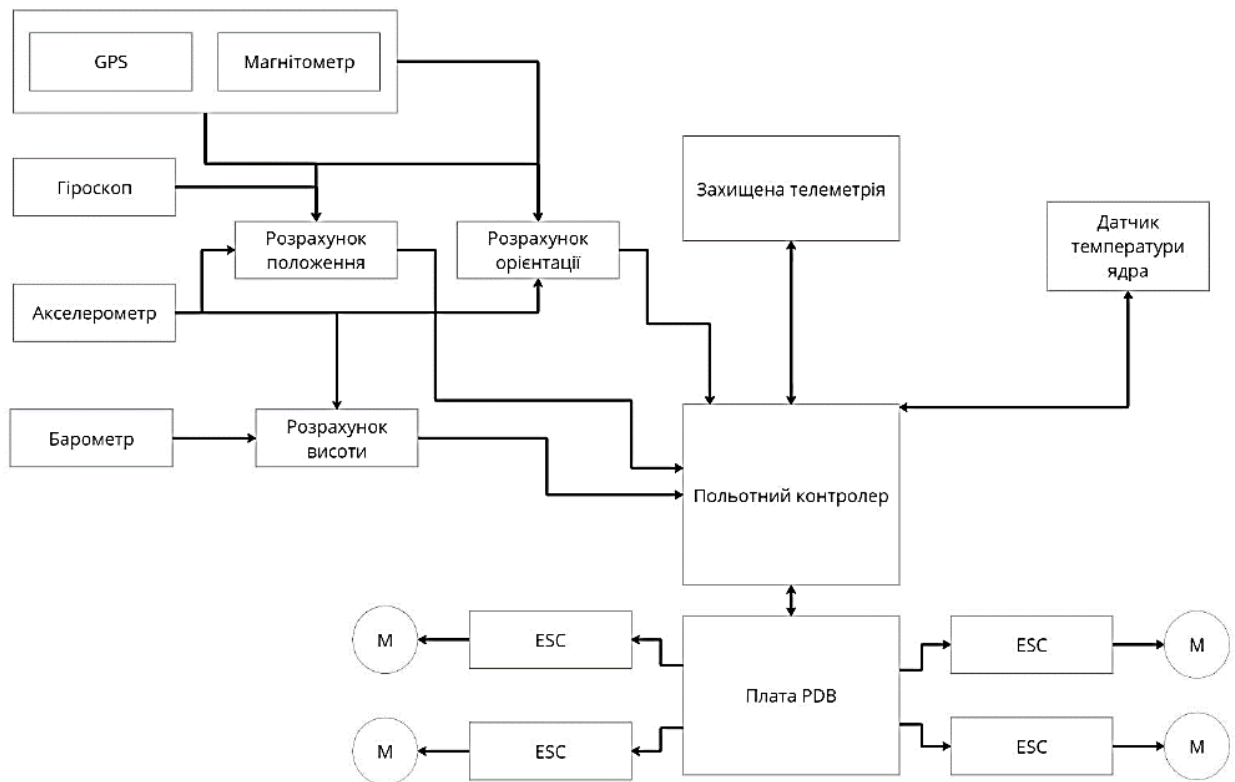


Рисунок 2.3 Структурна схема керування БПЛА

4. Акселерометр

- Вимірює прискорення вздовж трьох осей.
- Дані з акселерометра також передаються в блок розрахунку положення та висоти для стабілізації та визначення положення у просторі.

5. Барометр

- Вимірює атмосферний тиск для визначення висоти.
- Дані з барометра передаються в блок розрахунку висоти.

6. Розрахунок положення

- Використовує дані з гіроскопа та акселерометра для визначення поточного положення БПЛА у просторі.

7. Розрахунок орієнтації

- Використовує дані з магнітометра та гіроскопа для визначення орієнтації БПЛА відносно магнітного поля Землі.

8. Розрахунок висоти

- Використовує дані з барометра та акселерометра для визначення висоти польоту БПЛА.

9. Захищена телеметрія

- Передає дані про стан БПЛА до оператора в реальному часі.
- Забезпечує зворотний зв'язок для контролю та управління польотом.

10. Датчик температури ядра

- Вимірює температуру основних компонентів БПЛА, щоб запобігти перегріву та можливим несправностям.

11. Польотний контролер

- Центральний блок керування, який обробляє дані з усіх сенсорів та виконує розрахунки для стабілізації, орієнтації та висоти.
- Управляє електронними регуляторами швидкості (ESC), які, в свою чергу, керують моторами.

12. ESC (Електронні регулятори швидкості)

- Контролюють швидкість обертання моторів на основі команд від польотного контролера.
- Забезпечують плавне та точне управління рухом БПЛА.

13. Мотори

- Забезпечують підйомну силу та рух БПЛА.
- Кількість та розташування моторів можуть варіюватися в залежності від конструкції БПЛА.

14. Плата PDB (Power Distribution Board)

- Розподіляє електроживлення до всіх компонентів БПЛА.
- Забезпечує стабільне живлення для моторів, ESC та польотного контролера.

Керування БПЛА реалізоване на прошивці Ardupilot та програмному забезпеченні для даної прошивки Mission Planner (рис. 2.3) [1].

Використання прошивки ArduPilot та ПЗ Mission Planner має багато переваг. ArduPilot — це безкоштовне та відкрите програмне забезпечення, яке дозволяє модифікувати його під свої потреби. Воно підтримує різні типи

безпілотників, забезпечує широкі можливості налаштування, включаючи PID-регулятори, і має розширені функції безпеки, такі як автоматичне повернення додому та аварійні процедури. Активне співтовариство користувачів надає багато ресурсів для вирішення технічних проблем.



Рисунок 2.4 Інтерфейс Mission Planner

Mission Planner, у свою чергу, має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє легко планувати і контролювати місії. Він забезпечує реальний час моніторингу з відображенням стану дрона, його положення, швидкості, висоти та інших параметрів. Крім того, Mission Planner дозволяє налаштовувати параметри дрона, включаючи PID, калібрування сенсорів та інші функції. Можливість аналізу даних польоту після його завершення допомагає виявити та виправити потенційні проблеми.

Таким чином, використання ArduPilot та Mission Planner забезпечує гнучкість, безпеку, зручність налаштування та моніторингу для твого багатоцільового БПЛА, що значно підвищує ефективність та надійність його експлуатації.

2.4. Вибір та обґрунтування технічних параметрів БПЛА

Основні вимоги до системи. Розробка багатоцільового БПЛА передбачає виконання наступних вимог:

- Висока вантажопідйомність для транспортування менших дронів.
- Стабільність та точність польоту.
- Здатність працювати в умовах перешкод для зв'язку.
- Можливість автономної роботи та дистанційного управління.
- Міцність та легкість конструкції.

Рама. В основі конструкції багатоцільового БПЛА закладено карбонову раму tarot Iron Man 650, яка була модернізована для підвищення міцності та зменшення ваги. Довжина променів, на яких кріпляться мотори, збільшена до 50 см для покращення стабільності.



Рисунок 2.5 Карбонова рама Tarot Iron man 650

Таблиця 2.1

Технічні характеристики карбонової рами Tarot Iron man 650

№	Найменування параметра	Значення
1	Діагональ	650 мм
2	Вага	450 г

Мотори. Вибір моторів Tarot 5008 340KV зумовлений їх високою потужністю та ефективністю (рис. 2.6). Ці двигуни забезпечують необхідну тягу для транспортування додаткового вантажу.



Рисунок 2.6 Мотор Tarot 5008 KV 340

Таблиця 2.2

Технічні характеристики мотор Tarot 5008 KV 340

№	Найменування параметра	Значення
1	Пропелери	17-18 "
2	Діаметр ротора	58.50 мм
3	Товщина ротора	8.0 мм
4	Кількість слотів	12N
5	Кількість полюсів	14P
6	Швидкість обертання	340RPM/Volt 25.2V
7	Струм холостого ходу	1.1 Ампер
8	Зовнішній діаметр валу шестерні	4.0 мм
9	Довжина двигуна	38.5 мм
10	Діаметр вала двигуна	42.0 мм
11	Вага двигуна	168 г

Пропелери. Пропелери карбонові 18 дюймів Tarot (рис. 2.7). Призначені для моторів Tarot 5008 KV 340.



Рисунок 2.7 Пропелери карбонові 18 дюймів Tarot

Таблиця 2.3

Технічні характеристики 18-ти дюймових пропелерів Tarot

№	Найменування параметра	Значення
1	Вага	36.6 г/шт
2	Діаметр отвору	4 мм (основний), 3 мм (бічний)
3	Відстань між отворами	12 мм

Акумулятори. Використовуються два акумулятори 6S2P на елементах Molicel (рис.2.8). Така конфігурація забезпечує тривалий час польоту та достатню потужність для виконання завдань.



Рисунок 2.8 Акумулятор 6S2P на елементах Molicel

Таблиця 2.4

Технічні характеристики акумулятора 6S2P на елементах Molicel

№	Найменування параметра	Значення
1	Токівіддавач	до 90А
2	Ємність	8400 мА·г
3	Тип акумулятора	Li-Ion
4	Кількість циклів заряду без втрати ємності	500
6	Довжина	130 мм
7	Висота	72 мм
8	Ширина	43 мм
9	Вага	0.85 кг

Політний контролер. Основним контролером польоту обрано Matek H743-SLIM V3 (рис.2.9). Це обумовлено тим, що в ньому розташований процесор STM32H743VIT6, який є швидшим за трендові польотні контролери з процесорами STM32F405.

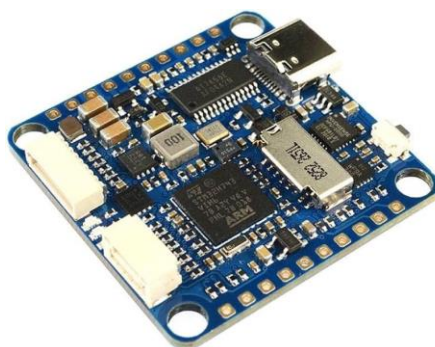


Рисунок 2.9 Польотний контролер Matek H743-SLIM V3

Таблиця 2.5

Технічні характеристики польотного контролера Matek H743-SLIM V3

№	Найменування параметра	Значення
1	Процесор	STM32H743VIT6, 480MHz, 1Mb ОЗП, пам'ять 2Mb
2	Акселерометр / гіроскоп	MPU6000 (SPI1) і ICM42605 (SPI4)
3	Барометр	Infineon DPS310 (I2C2)
4	OSD	AT7456E (SPI2)
5	Blackbox	слот для карт MicroSD (SDIO)
6	UART порти	7 (1,2,3,4,6,7,8) із вбудованою інверсією
7	PWM виходи	13
8	I2C порти	2
9	CAN порт	1
10	Вихід SPI3 breakout	1
11	Інтерфейс	USB Type-C
12	Вхідна напруга	6 ~ 36V (2 ~ 8S LiPo)
13	Ширина	36мм
14	Довжина	36мм
15	Висота	5мм
16	Вага	7г

ESC. Для управління моторами використовуються регулятори обертів Hobbywing XRotor 40A ESC OPTO (рис.2.10).



Рисунок 2.10 Регулятор обертів Hobbywing XRotor 40A ESC OPTO

Таблиця 2.6

Технічні характеристики регулятора обертів Hobbywing XRotor 40A ESC OPTO

№	Найменування параметра	Значення
1	Робоча сила струму	40А
2	Пікова сила струму	60А (10 сек)
3	ВЕС	Відсутній
4	Живлення	2-6S Lipo (SPI2)
5	Ширина	68мм
6	Довжина	25мм
7	Висота	8.7мм
8	Вага	26г

Плата розподілу живлення. Використовується PDB плата Matek FCHUB-12S V2 (рис.2.11).

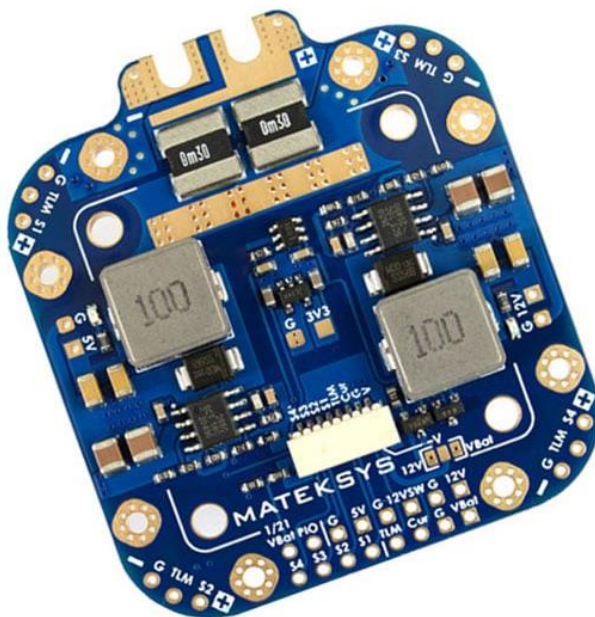


Рисунок 2.11 Плата розподілу живлення Matek FCHUB-12S V2

Таблиця 2.6

Технічні характеристики плати розподілу живлення Matek FCHUB-12S V2

№	Найменування параметра	Значення
1	Робоча сила струму	40А
2	Пікова сила струму	60А (10 сек)
3	ВЕС	Відсутній
4	Живлення	2-6S Lipo (SPI2)
5	Ширина	68мм
6	Довжина	25мм
7	Висота	8.7мм
8	Вага	26г

Курсова камера. Була обрана нічна камера RunCam Night Eagle 3. Ця камера видає зображення хорошої якості як вдень так і вночі, завдяки своїм режимам роботи (рис. 2.12), технічні характеристик наведено в таблиці 2.7.



Рисунок 2.12 FPV камера RunCam Night Eagle 3



Рисунок 2.13 GPS модуль з магнітометром M9N

Додаткові компоненти ББПЛА

До додаткових компонентів системи відносяться:

- Телеметрія: захищений зв'язок/телеметрія з протоколом ППРЧ, який працює в діапазоні 8-11 GGz.
- Цифрова камера: OpenIPC для спостереження за процесом скидання дронів та орієнтування на місцевості.
- Мікроконтролер для ретранслятора: ESP-32 з веб-інтерфейсом для налаштувань ретранслятора на відстані.
- Механізм скиду: електромеханічний привід для скиду менших FPV дронів.

Таблиця 2.7

Технічні характеристики камери RunCam Night Eagle 3

№	Найменування параметра	Значення
1	Матриця	1/2.8" 2MP CMOS
2	Горизонтальна роздільна здатність	1000TVL
3	Різьба лінзи	M12
4	Кут огляду	16:9: FOV D:125° H:107° V:56° 4:3: FOV D:97° H:75° V:56°
5	Формат зображення	4:3/16:9
6	Відношення сигнал/шум	> 50dB
7	Чутливість	11390 mV/Lux-sec
8	Напруга	5-24V
9	Робочий струм	90mA при 12V 250mA при 5V
10	Матеріал корпусу	ABS
11	Ширина	19мм
12	Довжина	25мм
13	Висота	19мм
14	Вага	8.5г

Таблиця 2.8

Технічні характеристики GPS модуля з магнітометром M9N

№	Найменування параметра	Значення
1	Приймач GNSS	Ublox M9N
2	Компас	IST8310
3	Протокол виводу	UBX, NMEA
4	Точність	1,5 м CEP
5	Швидкість передачі за замовчуванням	115200
6	Вхідна напруга	5V
7	Тип порту	JST-GH-10P
8	Антенa	Керамічна накладена антенa
9	Енергоспоживання	Менше 200mA при 5V
10	Вага	32г
11	Ширина	50 мм
12	Довжина	14.4мм
13	Висота	10 мм

2.5. Інтеграція з меншими FPV дронами

Стандартні шасі рами не дають можливості чіпляти менші FPV дрони під БПЛА, це обумовлено тим, що пропелери дронів доторкаються до шасі, що означає непрацездатність такої системи. Альтернативні шасі (рис. 2.14), які складаються з двох друкованих деталей та карбонової трубки довжиною 50 см, кріпляться на промені дрона. Таке рішення дає можливість чіпляння менших FPV дронів під БПЛА. Додатково реалізована можливість складати їх у похідне положення та розкладати перед польотом.



Рисунок 2.14 Альтернативне шасі для БПЛА

Механізм скиду. Для безпечного випуску дронів буде використовуватись електромеханічна система скиду, на основі сервопривода на 20кг, пластикових деталей, надрукованих на 3D принтері та алюмінієвого корпусу (рис.2.15). Він забезпечує контрольований випуск дронів у визначений момент.



Рисунок 2.15 Система скиду, яка витримує навантаження 3кг

2.6. Система ретрансляції зв'язку

Схема, показана на рисунку 2.16, передбачає прийом та передачу сигналу управління та відеосигналу. Радіомодуль прийому управління (RX) приймає від пульта з модулем передачі управління (TX) сигнал. Після чого він передає його на TX ретранслятора, а той в свою чергу передає сигнал управління на дрон. Відеосигнал йде в іншу сторону, радіомодуль прийому відеосигналу (VRX) приймає відеосигнал з дрона та передає аналогове відео на радіомодуль передачі відео (VTX), який в свою чергу передає відео на окуляри пілота. Як ми бачимо ретранслятор живиться від джерела живлення 12-25V. Для живлення більшості модулів використовуються стабілізатори напруги від 5V до 12V, це обумовлено тим, що RX та VRX для живлення необхідно 5V, для TX необхідно 5-12V, а для VTX діапазон напруги лежить в межах 7-25V, тому його можна живити напряму з джерела живлення.

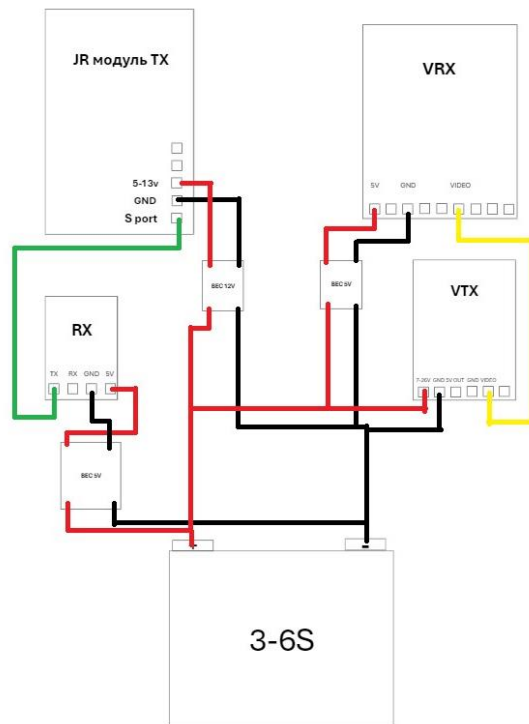


Рисунок 2.16 Схема FPV ретранслятору

Для кервання ретранслятором використовується мікроконтролер ESP-32, який створює wifi точку доступу та підтримує веб-інтерфейс для налаштувань. Це рішення забезпечує простоту налаштування та безпеку.

На ретрансляторі встановлюється відеоприймач 5.8 GHz та відеопередавач 1.2-1.3 GHz, що забезпечує стабільну передачу відеосигналу.

Для передачі команд управління використовується передавач 915Mhz 2000mW та приймач 915MHz. Вони мають можливість зміни прошивки під кастомну частоту.

2.7. Розроблення функціональної схеми БПЛА

Функціональна схема (рис. 2.17) призначена систематизувати та візуалізувати основних процесів та етапів, які пов'язані з експлуатацією багатоцільового безпілотного літального апарату (БЛА). Вона допомагає зрозуміти, як відбувається взаємодія між різними компонентами та етапами роботи дрона, від його розгортання до післяпольотної перевірки. Нижче наведено основні причини розробки функціональної схеми:

1. Визначення основних етапів операцій:

- Схема дозволяє чітко визначити послідовність операцій, необхідних для успішного виконання місії. Це включає передпольотну перевірку, фіксацію FPV дрону, зліт, прибуття на визначене місце, скидання FPV дрону, коригування азимуту для ретранслятора, повернення на базу, приземлення та післяпольотну перевірку.

2. Ідентифікація критичних точок та нештатних ситуацій:

- Функціональна схема допомагає ідентифікувати критичні точки в процесі операцій, де можуть виникнути нештатні ситуації. Це дозволяє передбачити та підготувати відповідні заходи для зниження ризиків та забезпечення безпеки.

3. Оптимізація робочих процесів:

- Схема дає можливість аналізувати кожний етап роботи дрона та оптимізувати процеси для підвищення ефективності та зниження витрат часу та ресурсів. Вона також допомагає виявити можливі слабкі місця в операційній послідовності та вдосконалити їх.

4. Навчання персоналу:

- Використання функціональної схеми спрощує навчання персоналу, оскільки наочне представлення операцій полегшує розуміння процесів та необхідних дій на кожному етапі. Це сприяє підвищенню кваліфікації та готовності операторів.

5. Документування та стандартизація:

- Схема служить важливим документом, який стандартизує процедури та процеси експлуатації ББЛА. Це сприяє дотриманню високих стандартів якості та безпеки при роботі з безпілотними апаратами.

6. Планування та координація місій:

- Функціональна схема допомагає в плануванні та координації місій, забезпечуючи чітке розуміння кожного етапу операції. Це полегшує взаємодію між різними підрозділами та забезпечує злагоджену роботу команди.

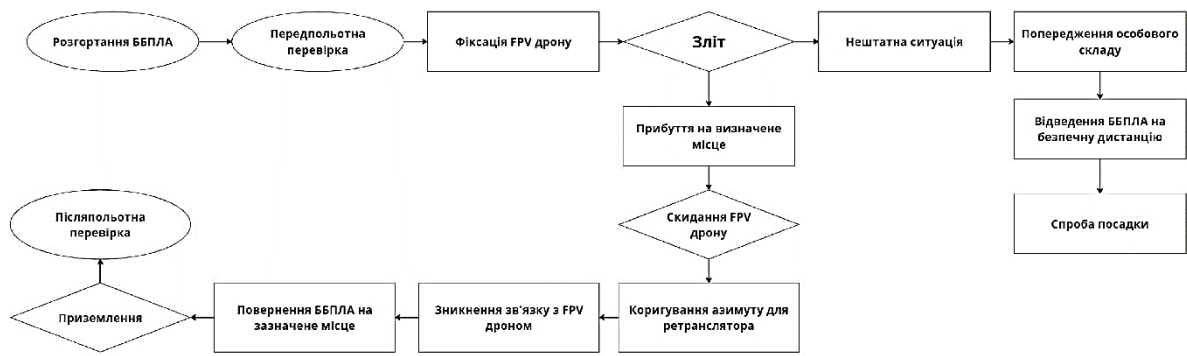


Рисунок 2.17 Функціональна схема БПЛА

Розглянемо кожний елемент схеми та детальні кроки для виконання функцій:

1. Розгортання ББЛА:

- Перевірка стану всіх компонентів дрона (моторів, пропелерів, електроніки).
- Переконавшись, що всі кріплення надійно зафіксовані.
- Встановлення акумуляторів та перевірка їхнього заряду.
- Підключення та калібрування датчиків (GPS, барометр, камери).

2. Передпольотна перевірка:

- Виконання тестового запуску двигунів на малій потужності.
- Перевірка роботи системи управління та зв'язку.
- Переконавшись, що всі датчики та камери працюють належним чином.
- Встановлення оптимальних налаштувань для польоту (висота, швидкість, маршрут).

3. Фіксація FPV дрону:

- Закріплення FPV дрону на основному ББЛА за допомогою фіксаторів.
- Перевірка надійності кріплення та відсутності вібрацій.
- Переконавшись, що система скидання працює коректно.

4. Зліт:

- Виконання команди на зліт після завершення всіх перевірок.

- Моніторинг показників дрону під час підйому (стабільність, відсутність сторонніх звуків, показники датчиків).

5. Прибуття на визначене місце:

- Підтримання зв'язку з оператором для коригування курсу.
- Виконання польоту за заздалегідь встановленим маршрутом до точки скидання FPV дрону.

6. Скидання FPV дрону:

- Переконавшись, що ББЛА знаходиться на потрібній висоті та в потрібному місці.
- Виконання команди на скидання FPV дрону.
- Моніторинг процесу скидання через камери та датчики.

7. Коригування азимуту для ретранслятора:

- Після скидання FPV дрону коригування положення основного ББЛА для забезпечення стабільного зв'язку.
- Налаштування ретранслятора для оптимальної роботи на заданій частоті.

8. Зникнення зв'язку з FPV дроном:

- Моніторинг зв'язку з FPV дроном під час виконання його місії.
- У разі втрати зв'язку з FPV дроном виконання заходів щодо відновлення зв'язку або повернення на базу.

9. Повернення ББЛА на визначене місце:

- Виконання команди на повернення за заздалегідь визначеним маршрутом.
- Моніторинг стану дрону під час повернення (заряд акумулятора, стан моторів).

10. Приземлення:

- Виконання команди на безпечне приземлення.
- Моніторинг показників під час приземлення для уникнення аварійних ситуацій.

11. Післяпольотна перевірка:

- Перевірка стану всіх компонентів дрону після приземлення.
- Огляд дрону на наявність пошкоджень.
- Перевірка заряду акумуляторів та стану електроніки.
- Внесення даних про політ у журнал для подальшого аналізу.

12. Нештатна ситуація:

- У разі виникнення непередбачуваних обставин негайне виконання команд для збереження безпеки особового складу.
- Виконання аварійного відведення ББЛА на безпечну дистанцію.
- Спроба аварійного приземлення.

2.8. Поетапний алгоритм складання ББЛА

Послідовність підготовки основних елементів БПЛА до складання та їх результати складання показано на рис. 2.18-2.34.



Рисунок 2.18 Підготовлений регулятор обертів



Рисунок 2.19 Підготовлений регулятор обертів з іншої сторони



Рисунок 2.20 З'єднання силових кабелів, сигнальної проводки та конденсатору до регулятора обертів



Рисунок 2.21 Підготовлення місця для конденсатора за 20 см від регулятора обертів

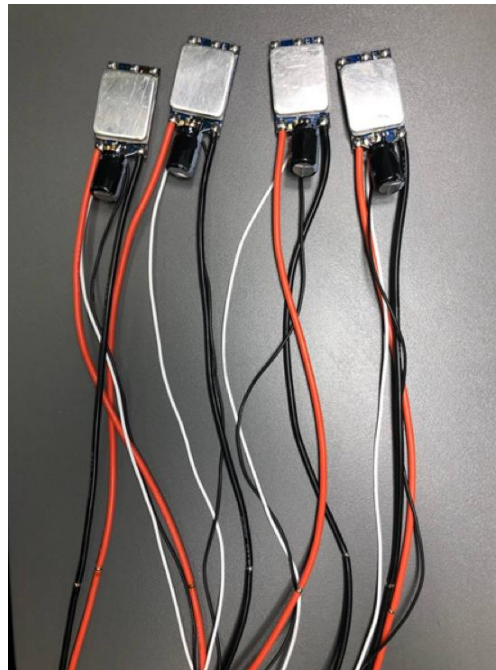


Рисунок 2.22 Чотири підготовлені регулятори обертів



Рисунок 2.23 Змиття залишків пайки на регуляторах в ультразвуковій ванночці



Рисунок 2.24 З'єднання мотору з регулятором обертів



Рисунок 2.25 Встановлення додаткових конденсаторів по всій довжині кабелю



Рисунок 2.26 Закриття місць паяння термоусадкою



Рисунок 2.27 Насадження плітки в приблизному місці згибу



Рисунок 2.28 Ізоляція місця пайки силіконом



Рисунок 2.29 Встановлення номерів кожному мотору та регулятору



Рисунок 2.30 Порівняння рами БПЛА та 7-ми дюймового дрону



Рисунок 2.31 Демонстрація можливості складання рами БПЛА

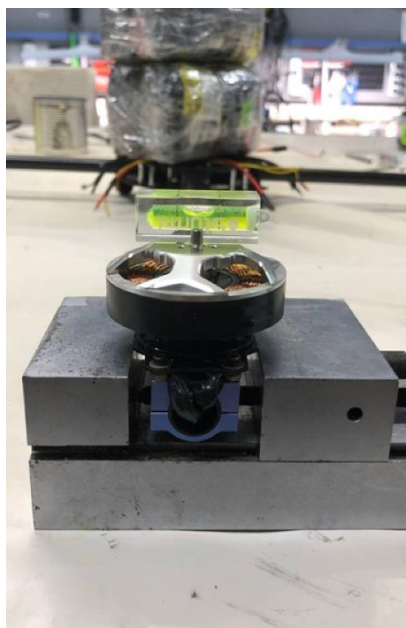


Рисунок 2.32 Фіксація моторів за допомогою рівня та затискача



Рисунок 2.33 Закриття моторів від пилу та металевих мікрочастинок зіп пакетами



Рисунок 2.34 Демонстрація ББПЛА без закритого корпусу та з стандартними шасі

РОЗДІЛ 3. ТЕСТУВАННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ БПЛА

Для випробовувань було створено декілька експериментальних установок.

Експериментальна установка №1

Експериментальна установка для тестування тяги, споживання та індуктивних імпульсів гвинтомоторної групи (рис.3.1). У ній використовуються наступні компоненти: осцилограф, тягомір, сервотестер, вентилятор, затискачі, платформа для фіксування тягоміру.

Алгоритм випробування наступний: фіксуємо платформу з тягоміром затискачами, фіксуємо мотор на тягомірі, фіксуємо пропелер на моторі. Силові кабелі та сигнальний провід мають бути припаяні до плати розподілення живлення.

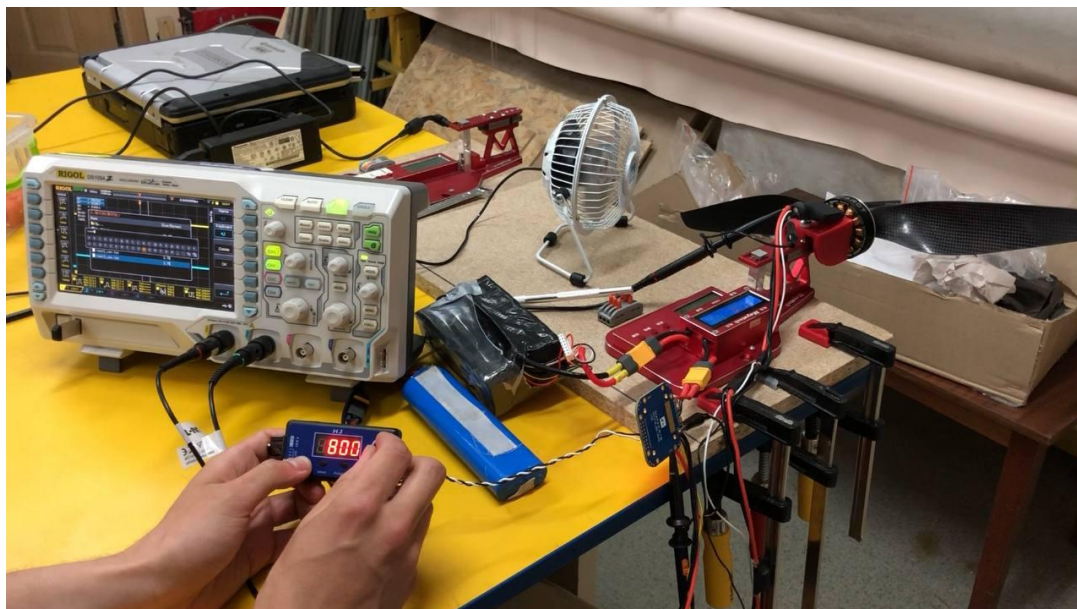


Рисунок 3.1 Експериментальна установка №1

Аналіз даних тесту індуктивних імпульсів

На основі даних з осцилограми (рис.3.2) та файлу конфігурації:

1. Осцилограма:

- Жовта лінія: Напруга на кінці кабелю, який під'єднується до ESC.
- Синя лінія: Напруга на початку кабелю.

2. Конфігурація осцилографа:

- Канал CH1 (жовтий):
- Шкала: 2 В/поділ

- Позиція: -19.16 В
- Режим: DC
- Канал CH2 (синій):
 - Шкала: 2 В/поділка
 - Позиція: -6.44 В
 - Режим: DC
- Горизонтальна шкала: 500 мкс/поділка
- Частота вибірки: 500 МГц
- Глибина пам'яті: 3 млн точок

Аналіз сигналів:

1. Напруга на початку кабелю (синя лінія):
 - Максимальна напруга: 23.6 В
 - Мінімальна напруга: 22.6 В
 - Пульсація: 1 В
2. Напруга на кінці кабелю (жовта лінія):
 - Максимальна напруга: 24.5 В
 - Мінімальна напруга: 22.3 В
 - Пульсація: 2.16 В

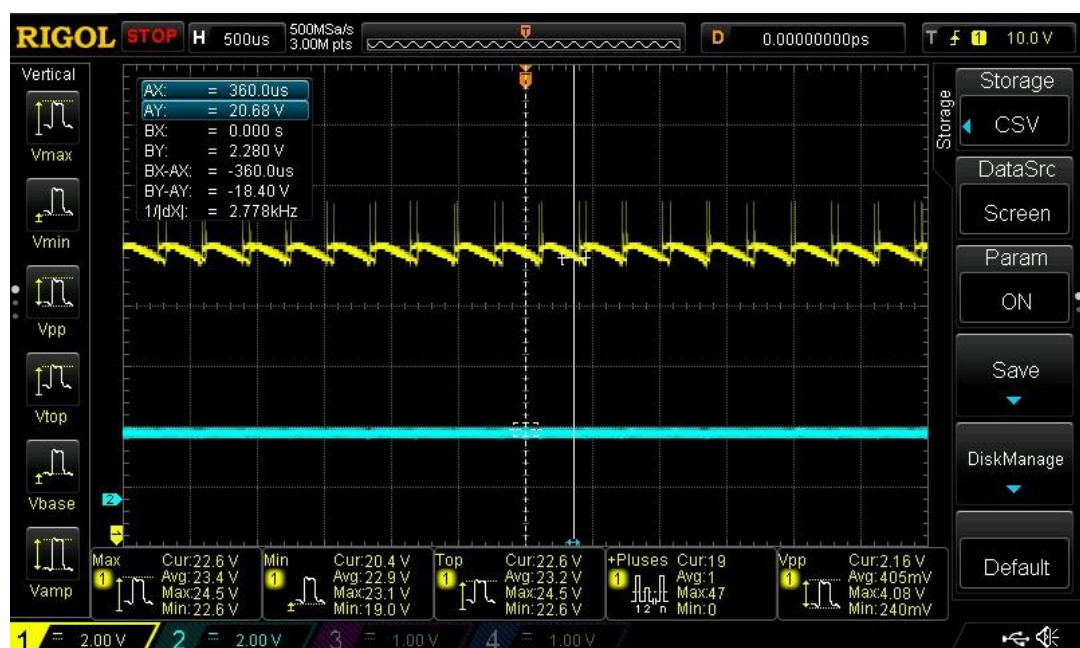


Рисунок 3.2 Осцилограма при тестуванні індуктивних імпульсів моторів

Висновки:

1. Зниження пульсацій:

- Конденсатори встановлені по довжині кабелю та на регуляторі оберітів ефективно зменшують пульсації напруги. Згідно з осцилограмою, пульсації на кінці кабелю складають 2.16 В, що є прийнятним показником для забезпечення стабільного живлення ESC та мотора.

2. Рівень напруги:

- Напруга на обох кінцях кабелю (початок та кінець) залишається в межах норми для системи з живленням 6S (номінальна напруга близько 22.2 В, максимальна близько 25.2 В). Виміряна напруга коливається в межах 22.6-24.5 В.

3. Порівняння значень:

- Різниця в амплітуді напруги між початком і кінцем кабелю свідчить про ефективну роботу встановлених конденсаторів. Пульсації зменшуються, забезпечуючи стабільне живлення для ESC.

4. Складні умови:

- На осцилограмі зображено поведінку системи при максимальній швидкості обертів мотора. Це найкритичніший режим роботи, де вплив пульсацій може бути найбільшим. Результат показує, що навіть при такому режимі роботи пульсації залишаються в межах норми.

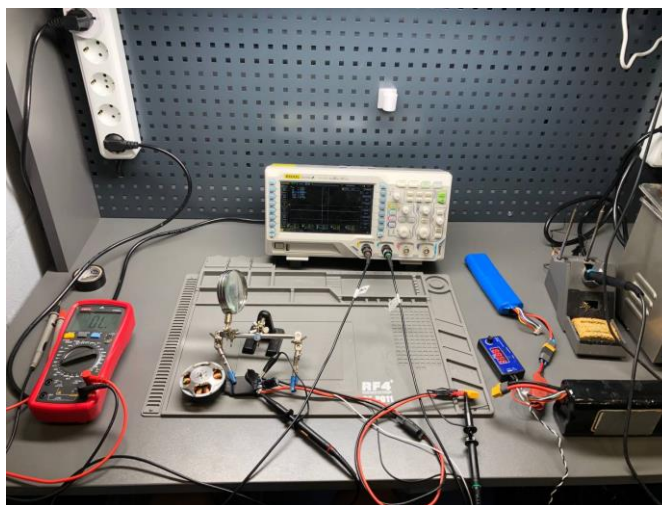


Рисунок 3.3 Тестування індуктивних імпульсів мотору без пропелера

Експериментальна установка №2

Експериментальна установка для тестування зв'язку FPV дрона та ретранслятора в лабораторних умовах. У ній використовуються наступні компоненти: FPV дрон, передавач ретранслятора, екранований ящик, коаксіальний кабель (довжиною 30м), антенюатор на 30dB, регулюючий антенюатор, вимірювач потужності RF.

Алгоритм випробування наступний: заміряємо справжню потужність передавача, який буде в ретрансляторі, через коаксіальний кабель за допомогою вимірювача потужності RF (рис.3.3, 3.5). У таких випробуваннях потужності обов'язково потрібно робити все через антенюатор (рис.3.4), він виступає в ролі резистора, який не дає спалити вимірювач потужності RF. Під час тестів, було виявлено, що коаксіальний кабель своєю довжиною створює затухання від 30.05dB до 34.9dB, в залежності від частоти передавача, цього якраз достатньо щоб не використовувати окремий антенюатор на 30dB. Після виміру потужності передавача, підключаємо коаксіальний кабель до приймача дрона, а з іншої сторони кабелю підключаємо передавач. Обираємо потужність і починаємо поступово накручувати штучне затухання антенюатором. Телеметрія на пульті показує значення RSSI (показник рівня сигналу, що приймається) в dB.



Рисунок 3.3 Під'єднаний коаксіальний кабель до приймача FPV дрона в екранованому ящику



Рисунок 3.4 Змінний антенюатор для створення штучного затухання радіозв'язку



Рисунок 3.5 Вимірювач потужності RF

Результат тестів зв'язку наведено в додатку Г.

PID-налаштування

PID (Proportional-Integral-Derivative) регулятор - це алгоритм керування, який використовується для забезпечення стабільного польоту безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Він складається з трьох основних складових:

1. **Пропорційна складова (P):** Визначає пропорційну реакцію на поточну помилку. Вона є основною складовою, яка допомагає швидко реагувати на зміни. Якщо дрон відхиляється від заданого положення, пропорційний регулятор намагається повернути його назад з силою, пропорційною величині відхилення.

2. **Інтегральна складова (I):** Враховує накопичену помилку за певний проміжок часу. Вона допомагає усунути постійне зміщення або зсув, що не може бути виправлений тільки пропорційною складовою.
3. **Диференційна складова (D):** Враховує швидкість зміни помилки. Вона допомагає передбачити майбутнє відхилення і запобігти його, забезпечуючи більш плавне та передбачуване керування.

PID-налаштування (рис. 3.6) є критично важливими для стабільного та контрольованого польоту БПЛА з кількох причин:

1. **Стабільність:** Правильне налаштування PID допомагає забезпечити стабільний політ безпілота, запобігаючи коливанням та неконтрольованим рухам. Це особливо важливо для виконання точних маневрів та збереження позиції в просторі.
2. **Реакція на зовнішні фактори:** PID-регулятор допомагає безпілотнику швидко і адекватно реагувати на зовнішні впливи, такі як вітер або інші несподівані перешкоди. Без належного налаштування дрон може втратити керування під впливом цих факторів.
3. **Енергоефективність:** Оптимально налаштований PID-регулятор знижує споживання енергії, оскільки дрон менше часу витрачає на корекцію свого положення. Це дозволяє збільшити час польоту та ефективність використання акумулятора.
4. **Точність управління:** PID-регулятор забезпечує точніше керування безпілотником, що важливо для завдань, де потрібна висока точність, таких як аерозйомка, доставки вантажів або наукові дослідження.
5. **Комфорт управління:** Для оператора важливо, щоб безпілотник був передбачуваним і легким в управлінні. Правильне налаштування PID зменшує затримки та коливання, роблячи політ більш передбачуваним та комфортним.

Для того щоб зробити PID-налаштування в Mission Planner у вкладці Extended Tuning є режим AUTOTUNE, який за допомогою режиму польоту ALTHOLD протягом 20 хв сам автоматично все налаштовує.



Рисунок 3.6 PID-налаштування БПЛА

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті розроблено багатоцільовий безпілотний літальний апарат (БПЛА) квадрокоптерного типу, який здатний транспортувати менші FPV дрони та ретранслювати їх зв'язок. Основні результати дипломного проєкту:

1. Розроблено концепцію багатоцільового БПЛА, яка включає вибір та обґрунтування технічних параметрів, розробку конструкції основного дрона, транспортувальної системи для менших дронів та системи ретрансляції зв'язку. Використання двох акумуляторів 6S2P на елементах Molicel замість одного 6S4P забезпечує тривалий час польоту та достатню потужність для виконання завдань.
2. Багатоцільовий БПЛА використовує прошивку ArduPilot та керується за допомогою Mission Planner. PID-налаштування здійснюються за допомогою режиму AutoTune. Ретранслятор на основі ESP32 забезпечує стабільний зв'язок та зручність налаштування через веб-інтерфейс.
3. На БПЛА встановлено дві камери: курсова нічна камера Runcam Night Eagle та цифрова камера OpenIPC. Це дозволяє здійснювати візуальне спостереження за процесом скидання менших дронів та коригувати позицію на місцевості. В умовах постійного використання ворожою стороною РЕБ, орієнтація, коригування азимуту та фіксування висоти будуть виконуватись за допомогою камер, барометру та досвіду оператора.
4. Проведені наземні та льотні випробування показали, що всі системи БПЛА працюють стабільно та відповідають технічним вимогам. Тестування камер та системи ретрансляції зв'язку підтвердило їх ефективність у різних умовах експлуатації.
5. Оцінка ефективності. Використання багатоцільових БПЛА для транспортування менших FPV дронів та ретрансляції їх зв'язку демонструє високу ефективність у виконанні різних завдань. Це дозволяє оперативно доставляти дрони до місць, які важкодоступні або небезпечні для людей, забезпечуючи стабільний зв'язок навіть у складних умовах.

6. Подальший розвиток багатоцільових БПЛА включає розширення функціональних можливостей, підвищення рівня автономності за допомогою систем штучного інтелекту, покращення систем зв'язку та інтеграцію з іншими платформами. Це дозволить значно підвищити ефективність та надійність виконання завдань у різних сферах.
7. Впровадження розробленого багатоцільового БПЛА може значно підвищити ефективність використання дронів у військових та цивільних операціях, особливо в умовах сучасних бойових дій. Розроблена система може бути використана для забезпечення розвідувальних, рятувальних та інших місій, де важливо мати стабільний зв'язок та можливість транспортування менших дронів.

У підсумку, розробка багатоцільового БПЛА відповідає сучасним вимогам та має великий потенціал для застосування у різних сферах діяльності, забезпечуючи високу ефективність та надійність виконання завдань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Правил технічної експлуатації безпілотних авіаційних комплексів I класу державної авіації України URL: https://www.mil.gov.ua/content/regulatory_acts/2017/project_new.pdf (дата звернення: 20.04.2024)
2. Classification of the Unmanned Aerial Systems URL: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5#:~:text=UAVs%20can%20also%20be%20classified,Short%2Drange%20UAVs> (дата звернення: 20.04.2024)
3. Gremlin Drone Program (DARPA) URL: <https://www.darpa.mil/program/gremlins> (дата звернення: 20.04.2024).
4. Sabour MH, Jafary P, Nematian S. Applications and classifications of unmanned aerial vehicles: A literature review with focus on multi-rotors. The Aeronautical Journal. 2023;127(1309):466-490. doi:10.1017/aer.2022.75 (дата звернення: 20.04.2024)
5. Kanat, Öztürk. (2023). The Significance of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Strategic Contexts. 5. 75-87. (дата звернення: 20.04.2024)
6. Китайські концепти крилатої ракети, яка виступає в ролі носія для 80 БПЛА (імовірно камікадзе) URL: https://t.me/vanguard_spacepro(дата звернення: 20.04.2024)
7. БФ ДИКІ ШЕРШНІ URL: <https://dykishershni.com/> (дата звернення: 20.04.2024)
8. "Птахи Мадяра" URL: https://t.me/robert_magyar (дата звернення: 20.04.2024)
9. Zipline Logistics & Drone Delivery URL: <https://www.flyzipline.com/#> (дата звернення: 20.04.2024)
10. Wing drone delivery URL: <https://wing.com/> (дата звернення: 20.04.2024)
11. Amazon Prime Air URL: <https://www.amazon.jobs/content/en/teams/transportation-shipping-logistics/air> (дата звернення: 20.04.2024)
12. Aerial ridesharing at scale URL: <https://www.uber.com/at/de/elevate/vision/>

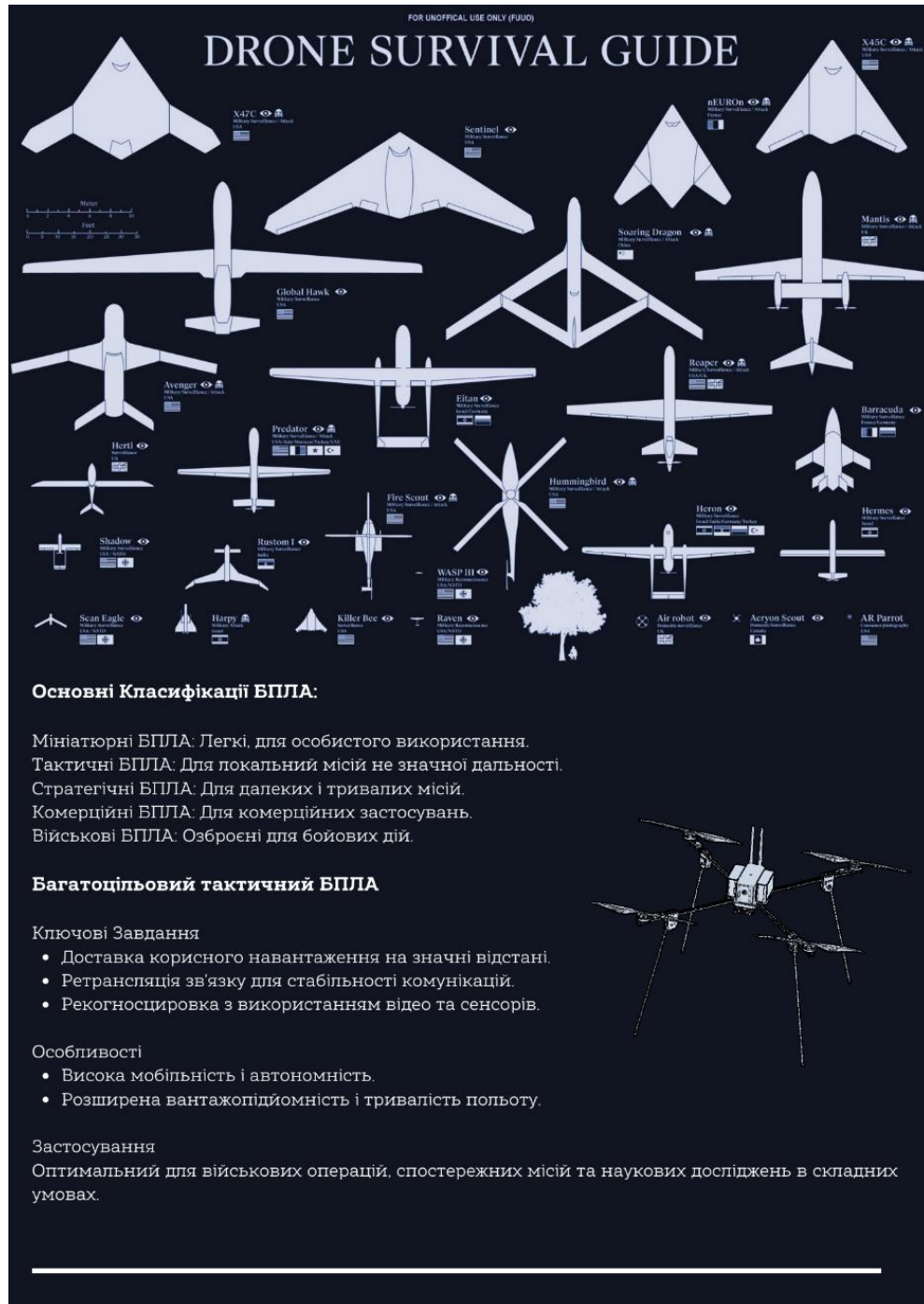
13. НАЗЕМНА СТАНЦІЯ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ FPV BATTLEBORN URL: <https://battleborn.com.ua/nazemna-stanciya-dlya-fpv-retranslyator/> (дата звернення: 20.04.2024)
14. Інтернет-крамниця Dron URL: <https://dron-shop.com.ua/ru-ru/fpv/retranslyator/>
15. СКІФ РЕТРАНСЛЯТОР – CDET https://cdet.com.ua/?page_id=1819 (дата звернення: 20.04.2024)
16. Сучасні Аеростати URL: <https://www.aerobavovna.com/ua/home> (дата звернення: 20.04.2024)
17. Бакалаврський дипломний проєкт: Організація виконання та захисту, вимоги до структури, змісту та оформлення: навчальний посібник [Електронний ресурс]: навчальний посібник призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Комп’ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : В. С. Антонюк, Н. І. Бурау, Ю. В. Киричук, М. В. Філіппова. – Електронні текстові дані (1 файл: 500.69 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 45 с.
18. Виробнича практика. Організація, проходження та захист звіту [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп’ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Безуглий, Н. І. Бурау, Ю. В. Киричук, М. В. Філіппова. – Електронні текстові дані (1 файл: 704 Кбайта). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 40 с.
19. ДСТУ ISO 128-1:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 1. Показник понять стандартів ISO серії 128 (ISO 128- 1:2003, IDT).
20. ДСТУ 3321; 2003 Національний стандарт України. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.(надано чинності від 2004-10-01 на заміну ДСТУ 3321-96).

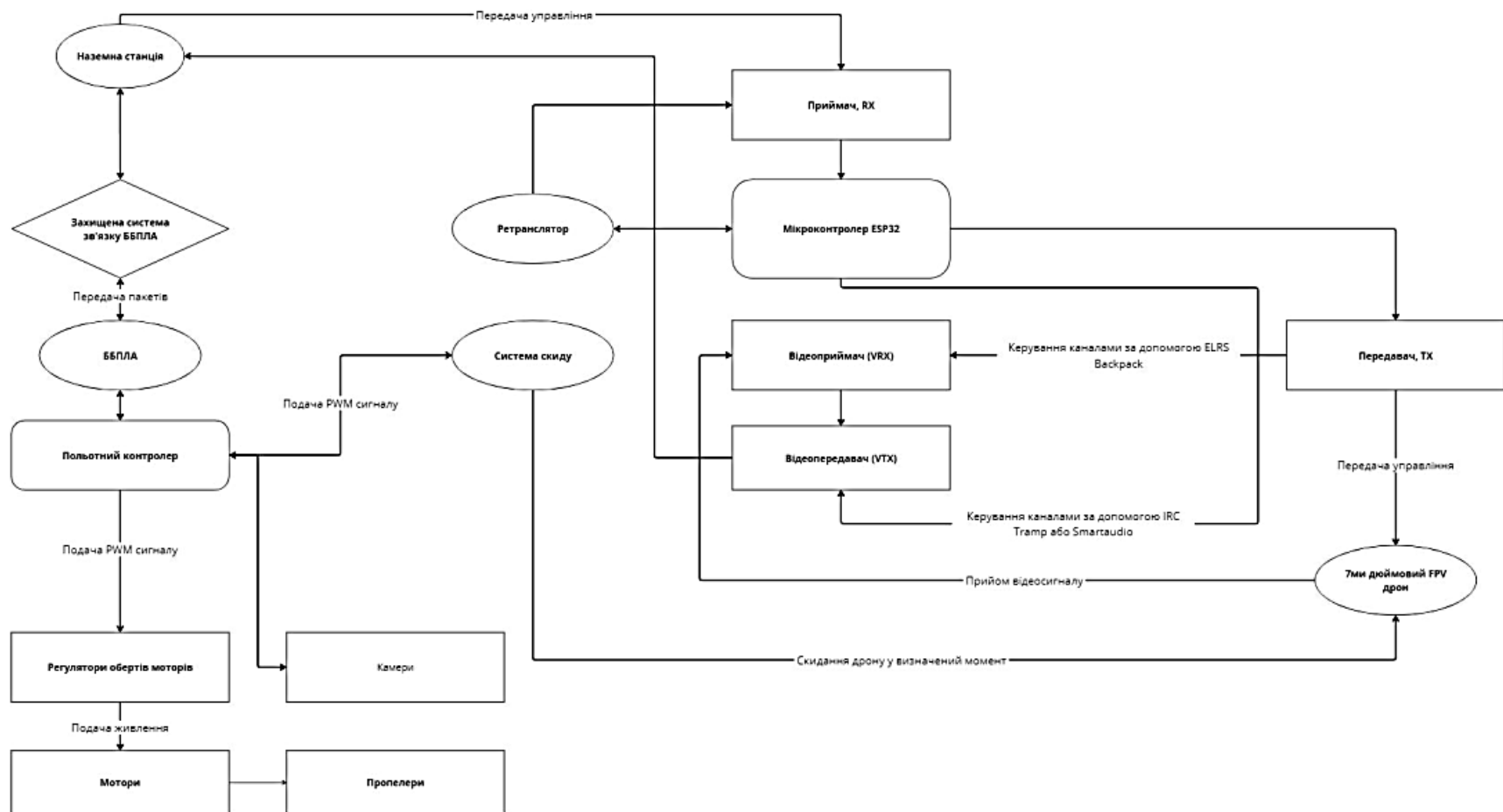
21. Системи автоматизованого проектування. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. К. С. Барандич, О. О. Подолян, М. М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,13 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.
22. Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення : монографія / В. Я. Канченко, Р. В. Карнаушенко, О. О. Ключников, О. П. Мариношенко, М. Л. Чепур ; НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. – Чорнобиль (Київ. обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2015. - 180 с.
23. Бойові малорозмірні безпілотні літальні апарати з реактивною тягою: монографія / під ред. Академіка НАН України, д.т.н., проф. А.А. Халатова. – Дніпро: Ліра, 2023. – 144 с.
24. Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos Handbook of Unmanned Aerial Vehicles Springer (2015) <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1>
25. Rupperecht, Jonathan. Drones : Their Many Civilian Uses and the U.S. Laws Surrounding Them. Version 2.03. United States: [The author], 2015. Print.

ДОДАТКИ

Додаток А. Креслення та схеми

Додаток А.1. Класифікація БПЛА

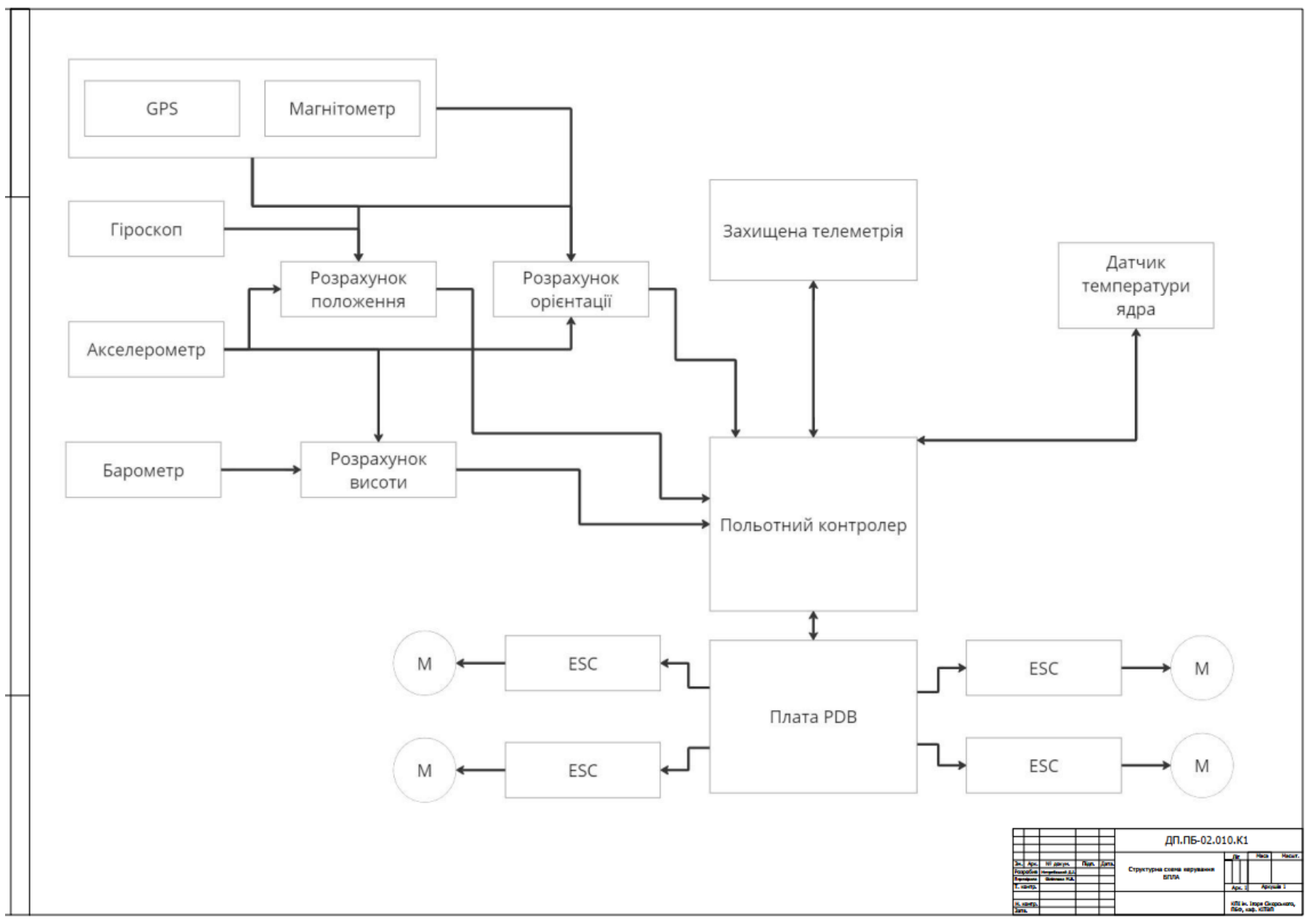


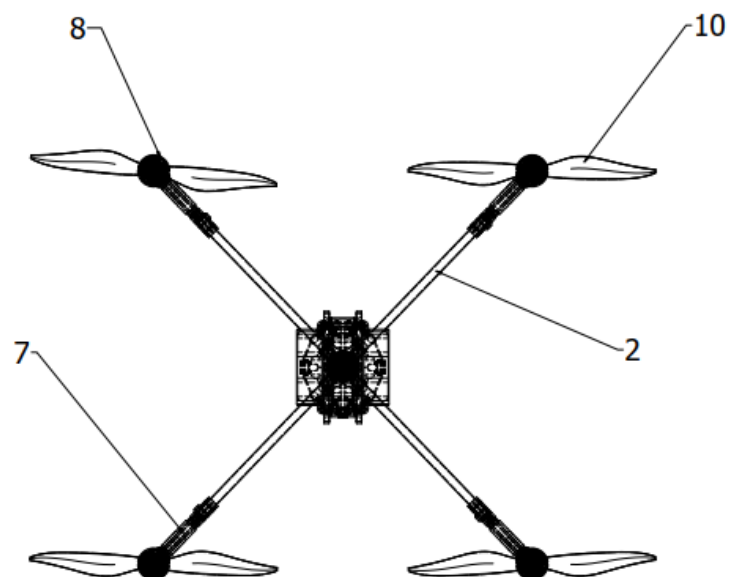
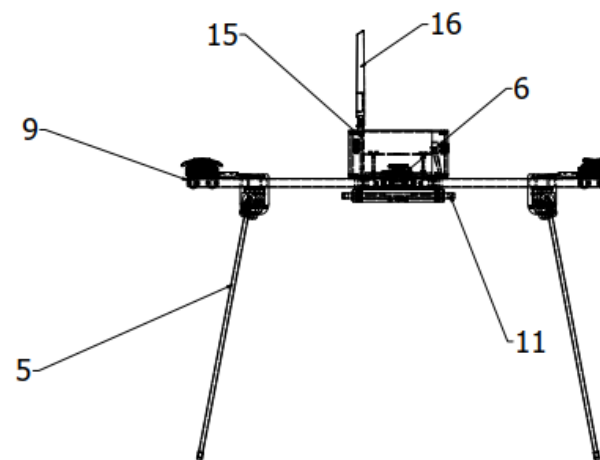
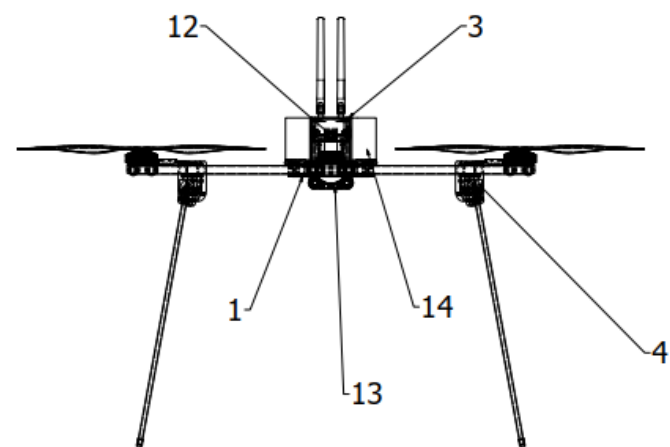


ДП.ПБ-02.010.К1									
Зм. №	Др.	Ві. №	Підп.	Дат.	Структурна схема БПЛА				
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості



ДП.ПБ-02.010.К2									
Зм.	Апр.	10	Верх.	Підп.	Дат.	Функціональна схема БПЛА			
Розробив	Інженер А.3					Апр.	1	Апрілія	1
В. керів.	Інженер А.3					ІЗД Ін. Інформ. Систем, РІС, ІСР			
В. розр.	Інженер А.3					РІС, ІСР			
Дат.	10.04.2023								





1. Основна частина рами
2. Промінь рами
3. Закритий корпус
4. Кріплення для шасі
5. Шасі
6. Польотний контролер та плата розподілення живлення
7. Регулятор обертів
8. Мотор
9. Алюмінієвий хомут для кріплення моторів
10. Пропелер
11. Підвіс для корисного навантаження
12. Камера
13. Маунт для ретранслятора та системи скиду
14. Акумулятор
15. Телеметрія
16. Антена телеметрії

					ДП.ПБ-02.010.ПБ		
Зм.	Арх.	Віс.	Лист.	Дата	Безопосередочний безпосередній апарат Складальне креслення	Віс.	Лист.
Зм.	Арх.	Віс.	Лист.	Дата		Віс.	Лист.
Зм.	Арх.	Віс.	Лист.	Дата		Віс.	Лист.
Зм.	Арх.	Віс.	Лист.	Дата	Секретаріат військової авіації Складальне креслення	Віс.	Лист.
Зм.	Арх.	Віс.	Лист.	Дата		Віс.	Лист.
Зм.	Арх.	Віс.	Лист.	Дата		Віс.	Лист.
					ДП.ПБ-02.010.ПБ		

Додаток Б. Програмний код

Додаток Б.1. Конфігураційний файл ArduPilot

- Опис: Файл містить налаштування для польотного контролера Matek H743-SLIM, включаючи налаштування режимів польоту, PID-регуляторів та параметрів автопілоту.

cpp

// Фрагмент конфігураційного файлу ArduPilot

```
{  
  "SYSID_THISMAV": 1,  
  "GPS_TYPE": 1,  
  "ARMING_CHECK": 0,  
  "FENCE_ENABLE": 0,  
  "STABILIZE_MODE": {  
    "P": 4.5,  
    "I": 0.1,  
    "D": 0.01  
  }  
  ...  
}
```

Додаток Б.2. Скрипт налаштування ESP32 для ретранслятора

- Опис: Скрипт налаштування wifi точки доступу на мікроконтролері ESP32.

cpp

Копіювати код

// Скрипт налаштування ESP32

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include <WebServer.h>
```

```
const char* ssid = "DroneAP";
```

```
const char* password = "password123";
```

```
WebServer server(80);
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(115200);
```

```
    WiFi.softAP(ssid, password);
```

```
    server.on("/", handleRoot);
```

```
    server.begin();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    server.handleClient();
```

```
}
```

```
void handleRoot() {
```

```
    server.send(200, "text/html", "<h1>ESP32 Drone Retanslator</h1>");
```

```
}
```

Додаток В. Інструкції з експлуатації БПЛА

Додаток В.1. Інструкція з запуску та управління багатоцільовим БПЛА

- Опис: Покрокова інструкція з підготовки до польоту, запуску та управління багатоцільовим БПЛА.
1. Підготовка до польоту:
 - Перевірте стан акумуляторів та підключіть їх до роз'ємів XT60.
 - Увімкніть дрон та перевірте роботу всіх систем за допомогою Mission Planner.
 - Виконайте калібрування сенсорів та перевірте налаштування автопілоту.
 2. Запуск:
 - Встановіть дрон на рівну поверхню.
 - Використовуйте Mission Planner для вибору режиму польоту.
 - Виконайте передпольотну перевірку та переконайтеся, що всі системи працюють коректно.
 3. Управління:
 - Використовуйте радіопередавач або інтерфейс Mission Planner для керування дроном.
 - Для корекції позиції використовуйте камери Runcam Night Eagle та OpenIPC.
 - В разі необхідності здійснюйте скидання менших дронів за допомогою механізму скиду.

Додаток В.2. Інструкція з налаштування ретранслятора ESP32

- Опис: Інструкція з налаштування та використання ретранслятора на основі ESP32.

1. Підключення:

- Увімкніть ESP32 та підключіться до створеної wifi точки доступу.
- Відкрийте веб-браузер та введіть IP-адресу ESP32.

2. Налаштування:

- У веб-інтерфейсі налаштуйте параметри зв'язку.
- Перевірте рівень сигналу та стан живлення.

3. Моніторинг:

- Використовуйте веб-інтерфейс для моніторингу стану ретранслятора.
- В разі необхідності вносьте корективи в налаштування.

Цей розділ містить додаткові матеріали, які можуть бути корисними для детального розуміння конструкції та експлуатації багатоцільового БПЛА.

Додаток Г. Результат тестів зв'язку

Frequency	735 MHz	915 MHz	960 MHz
Cable Loss, dB	34.9	30.05	30.85
Max operational total attenuation	106.9 dB	103.05 dB	113.85 dB
Min operational RX-observed RSSI	-124 dB	-125 dB	-124 dB
Max possible distance, km			
Link Budget, dB	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!

TX power config		20 dBm / 100 mW																									
Actual TX power, dBm / mW		19.5 / 89.12													18.5 / 70.79												
Значения атт-ра, dB	Загальна атт-я, dB	RSSI, dBm	RQly, %	RSNR, dB	TRSS, dB	TQly, %	TSNR, dB	Actual TX power, dBm / mW		Значение атт-ра, dB	Загальна атт-я, dB	RSSI, dBm	RQly, %	RSNR, dB	TRSS, dB	TQly, %	TSNR, dB	Actual TX power, dBm / mW		Значения атт-ра, dB	Общая атт-я, dB	RSSI, dBm	RQly, %	RSNR, dB	TRSS, dB	TQly, %	TSNR, dB
0	34.9	-72	100	6	-66	100	7	19.5 / 89.12	18.5 / 70.79	0	30.05	-68	100	0	-56	100	6	16.6 / 45.70	16.6 / 45.70	0	30.85	-93	100	7	-82	100	6
10	44.9	-81	100	7	-73	100	7			10	40.05	-76	100	6	-62	100	7			10	40.85	-110	100	3	-100	100	4
20	54.9	-89	100	7	-81	100	7			20	50.05	-84	100	7	-70	100	7			20	50.85	-109	100	5	-97	100	4
30	64.9	-97	100	6	-90	100	6			30	60.05	-93	100	6	-80	100	7			30	60.85	-115	100	0	-104	100	-2
37	71.9	-	-	-	-	-	-			37	67.05	-	-	-	-	-	-			37	67.85	-122	94	-5	-110	92	-4
38	72.9	-	-	-	-	-	-			38	68.05	-	-	-	-	-	-			38	68.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
40	74.9	-106	100	6	-99	100	5			40	70.05	-101	100	5	-87	100	7			40	70.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
50	84.9	-113	100	3	-104	100	0			50	80.05	-110	100	4	-95	100	6			50	80.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
60	94.9	-120	100	-2	-114	96	-8			60	90.05	-117	100	-2	-102	100	0			60	90.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
65	99.9	-	-	-	-	-	-			65	95.05	-125	91	10	-111	100	-9			65	95.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
66	100.9	-124	96	-6	-119	60	-8			66	96.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff			66	96.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
67	101.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff			67	97.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff			67	97.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff

23.97 dBm / 250 mW	23 / 199.52	0	34.9	-70	100	2	-66	84	7	23.3 / 213.79	0	30.05	-64	100	1	-55	100	7	21.3 / 134.89	0	30.85	-94	100	7	-82	100	6
		10	44.9	-78	100	5	-74	96	6		10	40.05	-83	100	7	-72	100	7		10	40.85	-108	100	5	-98	100	2
26.98 dBm / 500 mW	25.5 / 354.81	20	54.9	-86	100	5	-80	92	7	26.3 / 426.57	20	50.05	-81	100	7	-70	100	6	24.5 / 281.83	20	50.85	-106	100	6	-96	100	5
		30	64.9	-94	100	7	-89	96	6		30	60.05	-89	100	7	-78	100	6		30	60.85	-112	100	2	-104	100	2
		40	74.9	-102	100	6	-96	96	6		40	70.05	-97	100	7	-86	100	6		40	70.85	-116	100	0	-106	100	-5
		50	84.9	-109	100	4	-103	96	2		50	80.05	-106	100	6	-94	100	4		50	80.85	-119	97	-3	-116	88	-6
		60	94.9	-116	100	0	-115	92	-5		60	90.05	-112	100	2	-102	100	0		60	90.85	-124	81	-6	-113	48	-7
		63	97.9	-	-	-	-	-	-		63	93.05	-	-	-	-	-	-		63	93.85	-118	82	-9	-107	92	-11
		64	98.9	-	-	-	-	-	-		64	94.05	-	-	-	-	-	-		64	94.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
		67	101.9	-	-	-	-	-	-		67	97.05	-122	100	-5	-112	100	-6		67	97.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
		68	102.9	-	-	-	-	-	-		68	98.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		68	98.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
		70	104.9	-122	100	-3	-118	72	-10		70	100.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		70	100.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
		72	106.9	-124	100	-5	-118	40	-11		72	102.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		72	102.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
		73	107.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		73	103.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		73	103.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
		0	34.9	-71	100	2	-70	88	6		0	30.05	-60	100	2	-55	100	6		0	30.85	-90	100	2	-83	100	7
		10	44.9	-86	100	3	-82	76	7		10	40.05	-81	100	7	-72	100	6		10	40.85	-95	100	7	-88	100	7
		20	54.9	-85	100	4	-82	76	6		20	50.05	-79	100	7	-70	100	5		20	50.85	-102	100	6	-95	100	6
		30	64.9	-92	100	3	-90	90	6		30	60.05	-87	100	7	-78	100	6		30	60.85	-108	100	4	-101	100	5
		40	74.9	-100	100	5	-96	92	6		40	70.05	-95	100	7	-86	100	6		40	70.85	-113	100	3	-106	100	0
		50	84.9	-109	99	5	-105	80	0		50	80.05	-103	100	3	-94	100	5		50	80.85	-117	96	-2	-114	92	-5
		60	94.9	-115	100	1	-115	100	-7		60	90.05	-112	100	-3	-102	100	0		60	90.85	-117	92	0	-112	76	-4
		67	101.9	-122	100	-3	-118	68	-10		67	97.05	-	-	-	-	-	-		67	97.85	-	-	-	-	-	-

30 dBm / 1000 mW		68	102.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		68	98.05	-	-	-	-	-		68	98.85	-	-	-	-	-	-
		70	104.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		70	100.05	-120	100	-3	-112	100		70	100.85	-118	96	-2	-114	76	-6
		73	107.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		73	103.05	-124	80	-7	-115	48		73	103.85	-	-	-	-	-	-
		74	108.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		74	104.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		74	104.85	-	-	-	-	-	-
		77	111.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		77	107.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		77	107.85	-118	75	-4	-114	52	-5
		78	112.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		78	108.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		78	108.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff
	28.5 / 707.94	0	34.9	-65	100	2	-63	84	7	28.6 / 724.43	0	30.05	-58	100	3	-55	100	27.3 / 537.03	0	30.85	-94	100	4	-92	92	7
		10	44.9	-73	100	6	-72	100	7		10	40.05	-69	100	0	-62	96		10	40.85	-101	100	2	-98	96	6
		20	54.9	-81	100	6	-81	96	6		20	50.05	-77	100	6	-70	92		20	50.85	-102	100	6	-95	96	7
		30	64.9	-90	100	6	-90	100	7		30	60.05	-85	100	8	-78	100		30	60.85	-105	100	3	-101	96	2
		40	74.9	-98	100	6	-99	100	6		40	70.05	-93	100	7	-86	100		40	70.85	-114	100	0	-110	88	-7
		50	84.9	-106	110	6	-104	100	1		50	80.05	-101	100	6	-94	100		50	80.85	-118	97	-3	-114	68	-7
		60	94.9	-111	110	3	-115	100	-7		60	90.05	-109	100	5	-102	100		60	90.85	-117	99	-4	-118	44	-9
		69	103.9	-120	110	-3	-120	40	-12		69	99.05	-	-	-	-	-		69	99.85	-	-	-	-	-	-
		70	104.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		70	100.05	-117	100	-1	-113	92		70	100.85	-116	98	-2	-112	92	-10
		73	107.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		73	103.05	-121	100	-4	-115	72		73	103.85	-	-	-	-	-	-
		74	108.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		74	104.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		74	104.85	-	-	-	-	-	-
		80	114.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		80	110.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		80	110.85	-118	100	-3	-113	92	-11
		83	117.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		83	113.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		83	113.85	-122	89	-5	-119	52	-10
		84	118.9	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		84	114.05	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff		84	114.85	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff	cutoff