ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ КАФЕДРА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему**: «Застосування безпілотних літальних апаратів для динамічного розширення покриття мобільних мереж»**

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
освітньо-професійної програми «Телекомунікаційні системи та мережі»

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

_____	Євген ПАЙКОВ
(підпис)	*Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач(ка) вищої освіти гр. ТСДМ-61
Євген ПАЙКОВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: Катерина ДОМРАЧЕВА к.т.н доцент
науковий ступінь вчене звання
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент:
науковий ступінь вчене звання
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТСМ

Віктор ЗАЇКА

_____

«____»_____20__р.

ЗАВДАННЯ НА

КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Пайков Євген Сергійович

(прізвище, імя'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Застосування безпілотних літальних апаратів для динамічного розширення покриття мобільних мереж»

керівник кваліфікаційної роботи Катерина ДОМРАЧЕВА, к. т. наук доцент

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 30 жовтня 2025 р. № 467

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «___»_____20__р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Технічні вимоги та стандарти мобільних мереж зв'язку (3GPP, LTE/5G); теоретичні положення поширення радіохвиль у каналах типу «повітря–земля»; принципи побудови та функціонування мобільних мереж; схемотехнічні рішення підсилення та ретрансляції радіосигналів; технічна документація на елементну базу безпілотних літальних апаратів; програмні та апаратні засоби керування БПЛА; середовище комп'ютерного моделювання та проєктування електронних схем.

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

1. Аналіз предметної області та сучасних підходів до використання безпілотних

літальних апаратів у телекомунікаційних системах.

2. Дослідження можливостей застосування БПЛА для динамічного розширення покриття мобільних мереж.

3. Обґрунтування схемотехнічного рішення безпілотного літального апарата для підсилення та ретрансляції мобільного сигналу.

4. Дослідження можливостей автоматизації керування та захищеності системи.

5. Оцінка перспектив розвитку та групової роботи безпілотних літальних апаратів у мобільних мережах.

5**.** Вихідні дані: Нормативні документи та рекомендації щодо експлуатації БПЛА; стандарти мобільного зв'язку 3GPP (LTE/5G); теорія поширення радіохвиль у повітряних каналах; схемотехнічні принципи підсилення та ретрансляції сигналів; технічні характеристики елементної бази БПЛА.

6. Дата видачі завдання: «___» _____ 202_ р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області застосування БПЛА у телекомунікаціях	01.10.2024 – 15.10.2024	Виконано
2	Дослідження можливостей використання БПЛА для динамічного розширення покриття мобільних мереж	16.10.2025 – 30.10.2025	Виконано
3	Розробка структурної та приницпової схеми системи мобільного зв'язку на базі БПЛА	01.11.2025 – 23.11.2025	Виконано
4	Вибір елементної бази та схемотехнічних рішень системи	24.11.2025 – 30.11.2025	Виконано
5	Проєктування друкованої плати та моделювання роботи системи	01.12.2025 – 06.12.2025	Виконано
6	Аналіз результатів, оцінка ефективності та перспектив розвитку системи	07.12.2025 – 10.12.2025	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка кваліфікаційної роботи до захисту	11.12.2025 – 18.12.2025	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ _Євген ПАЙКОВ__
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ __Катерина ДОМРАЧЕВА_
(підпис) *(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 23 рис., 3 табл., 20 джерел.

Мета роботи – розробка та обґрунтування застосування безпілотного літального апарата для динамічного розширення покриття мобільних мереж у зонах недостатнього або відсутнього зв'язку.

Об'єкт дослідження – системи мобільного зв'язку та телекомунікаційні мережі з використанням безпілотних літальних апаратів.

Предмет дослідження – принципи побудови, схемотехнічні та конструктивні рішення БПЛА, що використовується як тимчасовий мережевий елемент для підсилення та ретрансляції мобільного сигналу.

Короткий зміст роботи - у кваліфікаційній роботі досліджено сучасні напрями застосування БПЛА у телекомунікаційній сфері та проаналізовано доцільність їх використання для динамічного розширення покриття мобільних мереж. Проведено огляд існуючих рішень і нормативно-правової бази використання БПЛА в Україні та за кордоном.

Розглянуто особливості радіоканалу типу «повітря–земля», визначено переваги повітряних платформ порівняно з наземними елементами мобільної мережі. Обґрунтовано вибір функціональної структури системи та розроблено структурну і принципову електричну схеми квадрокоптера з вбудованим модулем підсилення сигналу.

Виконано вибір елементної бази, розглянуто роботу польотного контролера, телеметричних модулів, силової установки та репітера. Запропоновані конструктивні рішення дозволяють забезпечити автономну роботу БПЛА, стабільне утримання позиції та ефективне підсилення мобільного сигналу в умовах відсутності або пошкодження наземної інфраструктури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, БПЛА, МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ДИНАМІЧНЕ РОЗШИРЕННЯ ПОКРИТТЯ, РЕПІТЕР, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ, РАДІОКАНАЛ «ПОВІТРЯ–ЗЕМЛЯ».

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 70 pages, 23 pictures, 3 table, 20 sources.

The purpose of the work – development and justification of the use of an unmanned aerial vehicle for dynamically expanding mobile network coverage in areas with insufficient or no communication.

Object of research – mobile communication systems and telecommunications networks using unmanned aerial vehicles.

Subject of research – principles of construction, circuit design and design solutions of an unmanned aerial vehicle used as a temporary network element for amplifying and relaying a mobile signal.

Summary of the work: the qualification work investigated modern directions of application of unmanned aerial vehicles in the telecommunications sector and analyzed the feasibility of their use for the dynamic expansion of mobile network coverage. A review of existing solutions and the regulatory framework for the use of UAVs in Ukraine and abroad was conducted.

The features of the air-to-ground radio channel were considered, the advantages of air platforms compared to ground-based elements of the mobile network were determined. The choice of the functional structure of the system was justified and the structural and principle electrical diagram of a quadcopter with a built-in signal amplification module was developed.

The element base was selected, the operation of the flight controller, telemetry modules, power plant and repeater was considered. The proposed design solutions allow for autonomous operation of the UAV, stable position maintenance and effective amplification of the mobile signal in the absence or damage of ground infrastructure.

KEYWORDS: UNMANNED AERIAL VEHICLE, UAV, MOBILE COMMUNICATIONS, DYNAMIC COVERAGE EXPANSION, REPEATER, TELECOMMUNICATIONS NETWORKS, AIR-GROUND RADIO CHANNEL, QUADROCOPTER.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут Телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступня магістра

Направляється здобувач Пайков Є. С. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

Освітньо- професійної програми Телекомунікаційні системи та мережі

на тему: « Застосування безпілотних літальних апаратів для динамічного розширення покриття мобільних мереж».

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав Кравченко
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Пайков Євген Сергійович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою, в тому числі рекомендаціями МСЕ. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувача Пайкова Євгена Сергійовича на оцінку "відмінно"та присвоїти йому кваліфікацію «магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Керівник роботи _____ Катерина ДОМРАЧЕВА
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

" " _____ 2025 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Пайков Є.С. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри Телекомунікаційних систем та мереж _____ Віктор ЗАЇКА
(назва) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2025 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну роботу
на здобуття освітнього ступеня магістра.

здобувача вищої освіти Пайкова Євген Сергійовича
на тему: **«**Застосування безпілотних літальних апаратів для динамічного розширення покриття мобільних мереж**»**

Актуальність. Тема дипломної роботи є актуальною з огляду на сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних систем та зростаючу потребу у швидкому й гнучкому розширенні мобільного покриття, зокрема в умовах надзвичайних ситуацій, віддалених або важкодоступних територій. Використання безпілотних літальних апаратів як елементів мобільної мережі відповідає сучасним напрямкам розвитку телекомунікацій та радіотехніки і має значущість. Тому тема роботи є актуальною.

Позитивні сторони.

1. У дипломній роботі проведено ґрунтовний аналіз предметної області, розглянуто роль безпілотних літальних апаратів у розвитку мобільних мереж, рішення та особливості радіоканалу типу «повітря–земля». Матеріал викладено логічно, послідовно та з урахуванням сучасного стану галузі.
2. Значною перевагою роботи є детальне обґрунтування схемотехнічного рішення та вибору елементної бази. Автор коректно підійшов до вибору мікроконтролерів, модулів зв’язку та конструктивних елементів, що дозволяє реалізувати функції динамічного розширення мобільного покриття без надмірного ускладнення системи.
3. Окремо слід відзначити якісне опрацювання конструктивної частини та проєктування електронного модуля і корпусу пристрою. Запропоновані рішення є практичними, технологічно доцільними та придатними для подальшої модернізації і масштабування.

Недоліки.

1. У роботі обмежено розглянуто питання тестування системи в реальних умовах експлуатації, що могло б внести корективи в запропоноване рішеня.
2. Аналіз перспектив впровадження системи в існуючі комерційні мобільні мережі подано в узагальненому вигляді та може бути розширений у подальших дослідженнях.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку магістерської кваліфікаційної роботи.

Висновок: магістерська кваліфікаційна робота заслуговує оцінку "відмінно", а студент – Пайков Євген Сергійович заслуговує присвоєння кваліфікації: магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Рецинзент:	_____	_____
Науковий ступінь, вчене звання	підпис	Ім’я, ПРІЗВИЩЕ

ЗМІСТ

ВСТУП 10
1. ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ 12
1.1 Роль БПЛА в сучасних технологіях і реаліях 12
1.2 Роль БПЛА в розвитку мобільної мережі 16
1.3 Законодавча база 19
1.3.1 Законодавча база за кордоном 19
1.3.2 Законодавча база України 20
1. 4 Моделі радіоканалу типу «повітря–земля» в системах БПЛА 22
1.5 Порівняння наземних та повітряних елементів мобільної мережі 23
1.6 Різновиди дронів 25
1.3.1.2 Xiro XPLORER V 27
1.3.1.3 DJI Phantom 4 RTK 28
1.3.1.4 DJI Spark 29
1.3.1.5 DJI Mavic 2 Fly 30
1.3.1.6 Intec Skif 31
1.3.1.7 Sonin Hybrid 32
1.4 Огляд існуючих рішень 34
2. ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 36
2.1 Структурна схема 36
2.2 Схема електрична принципова 39
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ 42
3.1 Вибір елементної бази 42
3.1.1 Польотний контролер 43
3.1.2 Телеметрія 45
3.1.3 Прилади руху 46
3.1.5 Контролер репітера 48
3.1.6 Кварцовий генератор 49
3.1.7 Прилад керування 50
3.2 Оптимальна висота використання БПЛА для розширення мобільного покриття 52
3.3 Передумови автоматизації керування БПЛА 54

3.4 Захищеність системи безпілотного літального апарата 55
3.5 Можливість групової роботи безпілотних літальних апаратів 57
3.6 Узагальнення конструктивних рішень 58
4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ 60
4.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати 60
4.2 Обґрунтування вибору матеріалу плати 60
4.3 Обґрунтування вибору припою 60
4.4 Обґрунтування вибору класу точності плати та щільності виробництва 61
4.5 Розрахунок діаметру отворів і контактних площадок 61
4.6 Робота в редакторі Altium PCB 63
4.6.1 Визначення габаритів друкованої плати, параметрів друкованого монтажу 63
4.6.2 Розрахунок параметрів друкованих провідників 64
4.6.3 Трасування провідників 65
5. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ 68
5.1 Розробка корпусу 68
5.2 Компонування електронних модулів 71
5.3 Особливості охолодження та віброізоляції 72
6. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 75
6.1 Інтеграція БПЛА в інфраструктуру мобільних мереж 75
6.2 Головні недоліки БПЛА систем в інфраструктурі мобільних мереж 76
6.3 Сценарії використання БПЛА 77
ВИСНОВКИ 80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 81

ВСТУП

Стрімкий розвиток техніки та нові технології значно розширюють можливості сучасного життя людини. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) не є виключенням. На сьогодні дана технологія застосовується в багатьох сферах діяльності та має надзвичайно великі перспективи для інших напрямків. Особливістю безпілотних літальних апаратів є їх мобільність, автономність та здатність виконувати завдання без безпосередньої участі людини. Завдяки розвитку систем навігації, передачі даних та енергозбереження, БПЛА стають все більш надійними та функціональними, що відкриває нові можливості їх інтеграції у складні технічні системи, зокрема у телекомунікаційну інфраструктуру.

Розвиток даної технології підтверджується як комерційними проєктами, так і державними ініціативами, а також інноваційними стартапами, що активно впроваджують БПЛА у повсякденне життя.

Серед останніх новинок варто згадати наступні.

Компанія Amazon представила літаючу камеру-дрона Ring Always Home Cam, яка, на відміну від інших камер відеоспостереження, патрулює дім підчас польоту та змінює відео у режимі реального часу.

Міністерство інфраструктури працює над додатком для власників дронів з інтерактивною мапою повітряного простору та можливістю подання заявок на використання повітряного простору.

Стартап AeroSeeder з американського штату Айова показав дрон, який може засіяти 40,5 гектарів лише за 8 годин.

Також, окремо хочу виділити най популярний напрямок на сьогоднішній день – військові системи (БПЛА). Які бувають абсолютно любих типів і призначені для виконання задач, починаючи від розвідки, стратегічного радіоперехоплення, нанесення пошкодження та закінчуючи постачанням вантажу в важко доступні місця.

Окрім зазначених напрямків, все більшої актуальності набуває використання

БПЛА у сфері телекомунікацій. Зростання потреби у стабільному та безперебійному мобільному зв’язку, особливо в умовах надзвичайних ситуацій або тимчасового перевантаження мереж, зумовлює пошук альтернативних рішень для оперативного розгортання покриття.

В своїй дипломній роботі я буду брати орієнтуватись на часи, до повномасштабного вторгнення, країни агресора. Щоб зобразити усі можливості використання систем (БПЛА).

Ця різноманітність зумовлена тим, що БПЛА дуже технологічні і універсальні в використані, що пояснює їх широку популярність. Ця технологічність характеризує певними ознаками, які визначають види БПЛА, причому збільшення сфер їх використання породжує кількості їх класифікаційних ознак. Сучасні класифікації не є достатньо повними, оскільки не розглядають весь масив видів БПЛА, які існують на сьогодні, в зв’язку з динамічним розвитком і щоденними кроками в нових нішах цієї технології.

Одним із перспективних рішень цієї проблеми є використання безпілотних літальних апаратів як тимчасових або допоміжних базових станцій, здатних динамічно розширювати зону покриття мобільних мереж у потрібний момент та в потрібному місці.

Ще одним із напрямків де застосовуються БПЛА є збільшення мобільного покриття в місцях де мобільна вишка має певні перепади, або технічні не справності. Таких безпілотних літальних апаратів не багато на ринку і їх ціна не завжди оправдовує якість. Тому метою мого дипломного проекту є розробка БПЛА саме для цього напрямку

1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Роль БПЛА в сучасних технологіях і реаліях

Що таке взагалі БПЛА – це пристрої, управління якими здійснюється без екіпажу. Основними складовими БПЛА є: повітряна платформа зі спеціальною системою посадки, силова установка, джерело живлення для неї, система електроживлення, бортове радіоелектронне обладнання (бортове обладнання управління та електронні елементи цільового навантаження). Бортове обладнання складається з бортової електронно-обчислювальної машини або спеціальних процесів, висотоміра, гіровертикалі, приймача сигналів радіонавігаційної системи, а також бортової системи зв’язку та передачі даних, рульової машини.

Буду писати як більшість людей на БПЛА – «Дрон» або «Квадрокоптер». Цей пристрій являється деяким секретом авіації, який розвивається неймовірно швидко і має великий потенціал, і розвиток. Особливо швидко вони розвиваються як невеличкі дрони.

У сучасних умовах безпілотні літальні апарати перестали бути виключно засобами аерофотозйомки або військових застосувань. Вони активно впроваджуються у цивільні галузі, зокрема в телекомунікації, де використовуються як мобільні платформи для розміщення радіоелектронного обладнання. Основною причиною цього є висока мобільність БПЛА, можливість швидкого розгортання та відсутність потреби у стаціонарній інфраструктурі.

В реаліях сьогодення спостерігається зростання вимог до якості та безперервності мобільного зв’язку. Збільшення кількості користувачів, обсягу передаваних даних і залежності суспільства від цифрових сервісів призводить до необхідності пошуку нових рішень для розширення та підсилення існуючих мереж. Традиційні наземні базові станції не завжди можуть оперативно реагувати на зміну умов, особливо у випадках тимчасового навантаження або пошкодження інфраструктури.

Застосування БПЛА дозволяє вирішити частину цих проблем за рахунок

створення тимчасових або додаткових зон покриття. Безпілотні апарати можуть використовуватися для підсилення сигналу в місцях з недостатнім покриттям, під час масових заходів або в надзвичайних ситуаціях. Завдяки можливості розміщення на оптимальній висоті БПЛА забезпечують більш вигідні умови поширення радіосигналу порівняно з наземними елементами.

Крім того, розвиток мікроелектроніки, систем керування та акумуляторних технологій дозволив значно розширити функціональні можливості безпілотних літальних апаратів. Сучасні БПЛА здатні виконувати складні алгоритми стабілізації, навігації та автоматичного керування, що робить їх придатними для інтеграції у телекомунікаційні системи як активні елементи мережі.

Таким чином, у сучасних технологічних реаліях БПЛА розглядаються як перспективний інструмент для розвитку та модернізації мобільних мереж, зокрема для динамічного розширення їх покриття.

У квітні 2014 р. Європейська Комісія прийняла звернення до Європейського Парламенту та Ради: «A new era for aviation. Opening the aviation market to the civil use of remotely piloted aircraft systems in a safe and sustainable manner». Як сказано в цьому зверненні, дистанційно керовані авіаційні системи (RPAS) зможуть запропонувати «міріади нових послуг», значно змінюючи наше щоденне життя. Так воно і сталось. Як технології інтернету на початку дев’яностих дали початок багатьом різноманітним застосуванням, особливо в поєднанні з іншими технологіями, такими як точне позиціювання з допомогою супутникової системи Galileo, у поєднанні з телекомунікаційними системами – для попередження та пом’якшення наслідків природних катастроф, для динамічного збільшення пропускної здатності комунікаційних мереж.

На сьогодення технології з використанням дронів застосовуються в агрогосподарствах для своєчасного, точного і єфективного внесення добрив.

В Європі дрони застосовуються для інспектування безпеки інфраструктурних об’єктів, таких як залізничні колії, дамби, канали, лінії електропередач, трубопроводи, автодороги. Впроваджуються технології попередження катастроф та пом’якшення їх наслідків, наприклад, обльоти затоплених територій та

підтримка пожежогасіння. Також застосування дронів актуальне для охорони оточуючого середовища, переміщення вантажу, сфери медіа та розваг, створення фільмів про живу природу, досліджень, будівництва, полювання та моніторингу дотримання правил мисливцями, тощо. Світовий ринок послуг БПЛА за 2025 рік приведений на рисунку 1.1.



Рис. 1.1Світовий ринок послуг БПЛА за 2025 рік

Можливо в майбутньому дрони зможуть підіймати надтяжкі пристрої, такі як військові танки, ракети, різни надтяжкі вироби які проблесно перевозити по землі. Інженери також, працюють над мікро-дронами, що могли б боротися з локальними витоками газу та хімічними речовинами.

Дрони включають в себе багато різних типів літальних апаратів, що мають підйомну силу від кількох грамів до понад 10 тон, характеризуються швидкісними показниками від зависання на місці до швидкості понад 1000 км/год, можуть проводити в повітрі від кількох хвилин до місяців, з точки зору технології підіймання вони можуть бути роторними, з фіксованим крилом або легші за повітря!

Окрім виробників та системних інтеграторів, індустрія дронів також включає широку мережу постачання різноманітних пристроїв та технологій.

До початку повномасштабної війни, такі країни, як США, Британія та Ізраїль глобально домінували в розробці БПЛА. Але з 2023 року, Україна з величезною швидкістю набирає оберти з виготовлення, розробки та модернізування систем безпілотного керування.

Тим часом Україна. 2035 рік. Дрони прикордонники оберігють наш сон, робобджоли запилюють рослини. Стилізовані під птахів дрони охороняють громадський порядок у містах. Квадрокоптери

«роздають» інтернет уздовж залізниць і відновлюють зв'язок після стихійних лих. Кур'єрські мережі безпілотників доставляють ліки і продукти. Аквадрони визначають глибину водойми, місцезнаходження риби, охороняють види занесені в червону книгу і підгодовують її у воді. Армією цих «іграшок» керують оператори дронів – фахівці нової затребуваної професії. Наша країна входить в десятку найбільших світових виробників БПЛА. Це не кадри згенеровані чатом GPT, а наше можливе майбутнє.

Новітня галузь стрімко набирає обертів. В Україні обсяг ринку щорічно приростає на 50% і темпи тільки збільшуються.

У світі вже існує понад 700 виробників БПЛА. «Безумовним лідером з виробництва бойових дронів, до 2022 року, був Ізраїль. І це логічно, адже країна не один десяток років живе в умовах військових конфліктів і зацікавлена в ефективних рішеннях, які дозволяють зберегти життя військових. І дякуючи досвіду наших партнерів, Україна змогла оперативно перейняти досвід дружньої країни, та швидко адаптувати технології Ізраїлю для своєї безпеки. А серед виробників цивільних дронів – у лідерах китайська компанія DJI», - розповідав голова Асоціації національної авіацції та безпілотних систем.

А Європейська стратегія розвитку спрямована на створення єдиного ринку БПЛА, щоб пожинати соціальні вигоди від цієї інноваційної технології, та подолати занепокоєння громадськості через публічні обговорення та у разі необхідності, захисні заходи. Також ця стратегія має створити умови для міцного і конкурентного виробництва та використання дронів на глобальному ринку.

У контексті розвитку сучасних телекомунікаційних систем особливого

значення набуває питання адаптивності мереж до змінних умов експлуатації. Традиційні підходи до побудови мобільних мереж передбачають використання стаціонарних базових станцій, що не завжди дозволяє оперативно реагувати на раптові зміни навантаження або пошкодження інфраструктури. У цьому аспекті безпілотні літальні апарати розглядаються як перспективний інструмент підвищення гнучкості та стійкості мереж зв’язку.

Використання БПЛА в телекомунікаційній сфері дозволяє реалізувати нові архітектурні підходи до побудови мереж, зокрема концепцію тимчасових або мобільних вузлів доступу. Такі рішення є актуальними для забезпечення зв’язку в умовах надзвичайних ситуацій, під час масових заходів або у віддалених районах, де розгортання стаціонарної інфраструктури є економічно недоцільним або технічно складним.

1.2 Роль БПЛА в розвитку мобільної мережі

У сучасних мобільних мережах питання розширення покриття стає особливо актуальним у зв’язку зі зростанням кількості мобільних користувачів, розвитком сервісів реального часу та підвищеними вимогами до якості обслуговування. Традиційні методи нарощування покриття шляхом встановлення додаткових наземних базових станцій не завжди є ефективними з економічної та технічної точки зору, особливо у важкодоступних або тимчасово перевантажених районах. У цьому контексті застосування безпілотних літальних апаратів як елементів телекомунікаційної інфраструктури розглядається як перспективна альтернатива.

БПЛА можуть виконувати різні функціональні ролі в структурі мобільної мережі. Найбільш поширеними є сценарії, у яких безпілотний апарат використовується як ретранслятор сигналу, тимчасова базова станція або вузол доступу до мережі. Завдяки можливості швидкого розгортання та зміні просторового положення, такі платформи дозволяють адаптувати топологію мережі до поточних умов експлуатації. Це особливо важливо в умовах нерівномірного розподілу трафіку, коли певні зони мережі зазнають

перевантаження, тоді як інші залишаються недозавантаженими.

З інженерної точки зору, ключовою перевагою використання БПЛА є формування каналу зв’язку типу «повітря–земля», який відрізняється високою ймовірністю прямої видимості між передавачем і приймачем. У порівнянні з наземними базовими станціями, для яких поширення сигналу значною мірою обмежується забудовою та рельєфом місцевості, повітряні платформи мають більш сприятливі умови для розповсюдження радіохвиль. Це дозволяє досягати ширшої зони покриття при меншій кількості передавальних вузлів.

Разом з тим, використання БПЛА у мобільних мережах потребує врахування низки факторів, що безпосередньо впливають на ефективність їх застосування.

До таких факторів належать:

- висота польоту;
- швидкість переміщення;
- енергетичні обмеження;
- взаємодія з існуючою наземною інфраструктурою;

Оптимізація цих параметрів є складною багатокритеріальною задачею, розв’язання якої потребує комплексного підходу. Важливим аспектом є також вплив БПЛА на загальну структуру стільникової мережі. Введення повітряних вузлів змінює характер інтерференції, оскільки сигнал від БПЛА може прийматися одночасно кількома базовими станціями. Це створює додаткове навантаження на механізми керування радіоресурсами та потребує впровадження адаптивних алгоритмів керування потужністю і частотним ресурсом. Таким чином, застосування БПЛА не є простим доповненням до існуючої мережі, а потребує її структурної адаптації.

Застосування БПЛА в мобільних мережах доцільно розглядати як спосіб динамічного підсилення існуючої інфраструктури. У межах даної дипломної роботи безпілотний літальний апарат не замінює наземні базові станції, а виконує функцію тимчасового або додаткового елемента мережі, що дозволяє підвищити якість обслуговування абонентів.

Повітряне розміщення телекомунікаційного обладнання забезпечує більш

сприятливі умови поширення радіосигналу. У більшості випадків між БПЛА та абонентськими пристроями забезпечується пряма видимість, що зменшує втрати сигналу та підвищує стабільність з’єднання. Це особливо важливо в умовах щільної міської забудови або складного рельєфу місцевості.

Ще однією важливою перевагою використання БПЛА є можливість оперативної зміни зони покриття. У разі зміни навантаження або концентрації користувачів безпілотний апарат може бути переміщений у найбільш доцільну точку, що дозволяє ефективніше використовувати ресурси мобільної мережі.

Таким чином, застосування БПЛА сприяє розвитку мобільних мереж у напрямку гнучких і адаптивних систем зв’язку, здатних реагувати на динамічні умови експлуатації.

З огляду на зазначене, використання безпілотних літальних апаратів для динамічного розширення покриття мобільних мереж слід розглядати як складну інженерну задачу, що поєднує питання радіопоширення, мобільності, енергозабезпечення та управління мережею. Саме комплексний аналіз цих аспектів дозволяє оцінити доцільність та ефективність впровадження подібних рішень у сучасних телекомунікаційних системах.

Аналіз сучасних наукових публікацій і практичних розробок свідчить про зростаючий інтерес до використання повітряних платформ як елементів мобільних мереж зв’язку. Провідні телекомунікаційні компанії та дослідницькі центри активно вивчають можливості інтеграції БПЛА в мережі стандартів LTE та 5G, зокрема для забезпечення тимчасового покриття або підвищення пропускної здатності в пікові періоди навантаження.

Окремо слід відзначити, що застосування БПЛА дозволяє оптимізувати процес планування мережі завдяки можливості оперативної зміни розташування вузлів доступу. Це сприяє більш ефективному використанню радіочастотного ресурсу та покращенню якості обслуговування абонентів у зоні покриття.

1.3 Законодавча база

1.3.1 Законодавча база за кордоном

Використання і застосування дронів фрагментарна та недосконала. Але в багатьох країнах, зокрема в ЕС та США робляться цілеспрямовані кроки для врегулювання відповідного законодавства. В Європі цим питанням займається Європейська агенція з авіаційної безпеки EASA.

Загальний підхід у врегулюванні використання систем безпілотного керування, базується на оцінці ризиків що від них походять. Відповідно дрони поділяються на 3 категорії:

Категорія низького ризику – авторизація для використання дрона не потрібна;

Категорія середнього ризику – необхідний дозвіл для використання дрона, накладаються певні обмеження щодо його використання;

Категорія високого риску – літальний апарат повинен бути сертифікований, а пілот (оператор) мати відповідну ліцензію та кваліфікацію.

Один з базових принципів використання дронів – це безпека.

Правила безпеки мають бути пропорційними до ризику, беручи до уваги вагу, швидкість, складність, авіаційний клас та місце або особливості застосування системи (БПЛА), тощо. Традиційна концепція авіаційної сертифікації, ліцензування пілотів та операторів має бути доповнена формами спрощеного регулювання. Європейською Комісією був розроблений та опублікований проект Правил щодо використання дронів: Prototype Commission Regulation on Unmanned Aircraft Operations.

Крім Європейського Союзу, активна робота з формування нормативно-правової бази щодо використання безпілотних літальних апаратів проводиться і в Сполучених Штатах Америки. Регулювання у цій сфері здійснюється Федеральним управлінням цивільної авіації (FAA), яке встановлює вимоги до реєстрації БПЛА, підготовки операторів та умов виконання польотів. Значна увага приділяється

питанням безпеки польотів, захисту повітряного простору та запобігання створенню загроз для інших учасників авіаційного руху.

Важливим аспектом сучасного законодавства є поступовий перехід від жорстких заборон до ризик-орієнтованого підходу, який дозволяє враховувати конкретні умови експлуатації безпілотних систем. Такий підхід створює сприятливі умови для розвитку інноваційних рішень, зокрема застосування БПЛА у телекомунікаційній сфері, де апарати можуть використовуватися як тимчасові елементи мережевої інфраструктури.

Разом із тим, законодавчі обмеження щодо висоти польоту, зон використання та необхідності погодження з відповідними органами безпосередньо впливають на можливості застосування БПЛА для динамічного розширення мобільного покриття. Тому при проєктуванні телекомунікаційних систем на базі безпілотних літальних апаратів необхідно враховувати не лише технічні, але й правові аспекти їх експлуатації, що забезпечує відповідність розроблюваних рішень чинним міжнародним нормам та стандартам.

1.3.2 Законодавча база України

Повітряний простір України повністю закритий для цивільних польотів, включаючи всі літаки, з 24 лютого 2022 року, але це не означає повну заборону на використання повітряного простору. Ця заборона стосується лише цивільних польотів, тоді як для військових цілей повітряний простір використовується за потребою, а для спеціальних цивільних операцій або для польотів над певними зонами (наприклад, критичної інфраструктури, прикордонних зон) потрібен спеціальний дозвіл від військової адміністрації чи СБУ. На жаль це сьогоднішні реалії в який ми живемо. Але так буде не завжди і в своїй дипломній роботі я буду брати життя, до повномасштабного вторгнення, країни агресора. Щоб зобразити усі можливості використання систем (БПЛА). Тому, спираючись на 2022 рік, згідно пункту 4 розділу ІІ, Правил використання повітряного простору, польоти безпілотних повітряних суден масою до 20 кг включно виконуються без подання

заявок на використання повітряного простору, без отримання дозволів на використання повітряного простору, без інформування органів управління Повітряних сил Збройних сил України та органів об’єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України, органів державної прикордонної служби України, органів обслуговування повітряного руху та відомчих органів управління повітряним рухом, за умови дотримання таких вимог:

Польоти виконуються без перетинання державного кордону України;

Польоти виконуються поза межами заборон та обмежень використання повітряного простору, крім випадків, установлених Положенням про використання повітряного простору, та моментів непереборної сили;

Польоти виконуються не ближче 5 км від зовнішніх меж злітно-посадкових смуг аеродромів або не ближче 3 км від зовнішніх меж злітно-посаткової смуги, майданчик/вертодромів крім випадків узгодження з експлуатантом аеродрому/злітно-посадкового майданчику.

Польоти виконуються не ближче 500 м від пілотованих повітряних суден;

Польоти не виконуються над:

Скупченням людей на відкритому просторі та над місцями щільної забудови; Об’єктами (зонами)

Польоти виконуються в межах прямої відомості (VLOS);

Максимальна висота польоту не вище:

120м над рівнем земної поверхі, поза межами диспетчерської зони, аеродромна зона польотної інформації, зони та райони органів управління повітряним рухом відомчих органів органам управління повітряним рухом, спеціально встановлених зон, іншого спеціально зарезервованого повітряного простору;

50 м над рівнем земної поверхі поза межами диспетчерської зони, аеродромна зона польотної інформації, зони та райони органів управління повітряним рухом відомчих органів органам управління повітряним рухом, якщо інформація про фактичний статус елементів структури повітряного простору на час виконання польоту відсутня;

50 м над статичними перешкодами на горизонтальній відстані не більше 100 м від таких перешкод, як відхилення від зазначених вище обмежень по висоті та габаритам, на запит власника такого об’єкту;

Швидкість польоту безпілотного повітряного судна складає не більше 160 км/год..

Тобто звичайний цивільний безпілотник прирівнюється до радіокерованої авіамоделі. Очевидно, що будь-яка інша мета використання дрона, аніж розваги, є підставою для реєстрації його як повітряного судна, що передбачає одержання від Державіаслужби (ДАС), відповідного сертифіката льотної придатності, реєстраційного номера та санкціонованого дозволу.

1. 4 Моделі радіоканалу типу «повітря–земля» в системах БПЛА

У телекомунікаційних системах з використанням безпілотних літальних апаратів ключову роль відіграє модель радіоканалу між повітряною платформою та наземними користувачами. На відміну від класичних наземних мереж, де основну увагу приділяють двовимірному розміщенню базових станцій, у випадку БПЛА необхідно враховувати тривимірний характер простору, зокрема висоту розташування передавача.

Підняття БПЛА у повітря дозволяє зменшити кількість перешкод між передавачем і приймачем, що позитивно впливає на стабільність прийому сигналу.

У межах даної дипломної роботи модель радіоканалу розглядається з практичної точки зору, без надмірного ускладнення математичними залежностями. Основна увага приділяється впливу положення БПЛА на зону покриття та якість зв’язку. Такий підхід дозволяє узгодити теоретичні аспекти з реальними умовами експлуатації безпілотного апарата.

Особливості каналу «повітря–земля» безпосередньо впливають на вибір телекомунікаційного обладнання, типу антен та режимів роботи передавальних модулів, що враховується при розробці системи динамічного розширення покриття мобільної мережі.

Основною характеристикою каналу «повітря–земля» є ймовірність прямої видимості між БПЛА та абонентом. Вона значною мірою залежить від кута піднесення, який визначається висотою польоту та горизонтальною відстанню до користувача. Зі збільшенням кута піднесення ймовірність LoS-з’єднання зростає, що позитивно впливає на рівень прийнятого сигналу. Водночас надмірне збільшення висоти призводить до зростання втрат у вільному просторі, що створює компроміс між якістю сигналу та площею покриття. У науковій літературі широко застосовуються ймовірнісні моделі, які описують канал як комбінацію LoS та NLoS складових. Для кожного типу місцевості (міська, передміська, сільська) вводяться свої параметри затухання, що дозволяє більш точно оцінити характеристики каналу. Такі моделі є базою для розрахунку зони покриття та визначення оптимальної висоти польоту БПЛА.

Крім втрат на шляху поширення сигналу, важливу роль відіграють багатопроменеві ефекти, зумовлені відбиттями від поверхні землі, будівель та інших об’єктів. У міських умовах це може призводити до флуктуацій рівня сигналу та збільшення затримок. Для врахування цих явищ використовуються стохастичні та геометрично-стохастичні моделі, які дозволяють оцінити статистичні характеристики каналу. Таким чином, коректний вибір моделі радіоканалу є необхідною умовою для проєктування систем динамічного розширення покриття на основі БПЛА. Від точності цієї моделі безпосередньо залежить ефективність планування мережі, оцінка якості обслуговування та доцільність використання повітряних платформ у конкретних сценаріях.

1.5 Порівняння наземних та повітряних елементів мобільної мережі

Традиційна архітектура мобільної мережі базується на використанні стаціонарних наземних базових станцій, розміщених з урахуванням прогнозованого навантаження та характеристик місцевості. Такий підхід забезпечує стабільність роботи мережі, однак характеризується обмеженою гнучкістю. У разі раптової зміни умов експлуатації, наприклад різкого зростання

кількості абонентів або виходу з ладу окремих вузлів, можливості оперативної адаптації мережі є обмеженими.

Наземні базові станції характеризуються стабільністю роботи та високою потужністю, проте їх розгортання потребує значних витрат часу і ресурсів. У випадках, коли необхідно швидко змінити конфігурацію мережі або тимчасово підсилити покриття, використання лише наземної інфраструктури є недостатньо ефективним.

Повітряні елементи у вигляді БПЛА мають обмежений час автономної роботи, проте забезпечують високу гнучкість і мобільність. У межах даної дипломної роботи БПЛА розглядається як допоміжний елемент, що доповнює наземну мережу та дозволяє оперативно реагувати на зміну умов експлуатації.

Комбіноване використання наземних і повітряних елементів дозволяє поєднати переваги обох підходів, забезпечуючи стабільність базового покриття та можливість його динамічного розширення.

На відміну від наземних елементів, безпілотні літальні апарати мають високу мобільність і можуть змінювати своє положення у просторі відповідно до поточних потреб мережі. Це дозволяє розглядати БПЛА як інструмент динамічного керування покриттям, який доповнює стаціонарну інфраструктуру. З інженерної точки зору, така гібридна архітектура поєднує переваги обох підходів: стабільність наземної мережі та адаптивність повітряних платформ. Разом з тим, повітряні елементи мають обмеження, які відсутні у стаціонарних базових станцій. До них належать обмежений час автономної роботи, залежність від погодних умов та регуляторні обмеження щодо використання повітряного простору. Тому доцільність використання БПЛА визначається конкретним сценарієм застосування, а не розглядається як універсальна заміна наземної інфраструктури.

З технічної точки зору ключова відмінність між наземними та повітряними елементами мобільної мережі полягає в умовах поширення радіосигналу. Наземні базові станції працюють у середовищі з великою кількістю перешкод, таких як будівлі, рельєф місцевості та рослинність, що призводить до значних втрат сигналу та виникнення зон нестійкого покриття.

Важливим параметром при порівнянні є ефективність використання радіочастотного ресурсу. Наземні базові станції, як правило, працюють із зафіксованою зоною покриття та наперед визначеними параметрами потужності, тоді як повітряні елементи можуть адаптивно змінювати висоту та просторове положення з метою оптимізації радіопокриття. Це дозволяє використовувати БПЛА для локального підсилення сигналу в зонах перевантаження без необхідності втручання в конфігурацію всієї мережі.

Крім того, інтеграція повітряних елементів у мобільну мережу відкриває можливості для реалізації сценаріїв тимчасового покриття, коли використання стаціонарних базових станцій є недоцільним або неможливим. До таких сценаріїв належать масові заходи, аварійні ситуації та зони з пошкодженою інфраструктурою. У таких випадках БПЛА виконують роль допоміжних вузлів доступу або ретрансляторів, зменшуючи навантаження на наземні елементи мережі.

Таким чином, порівняльний аналіз наземних і повітряних елементів мобільної мережі свідчить про доцільність їх комбінованого використання. Наземна інфраструктура забезпечує базову стабільність і пропускну здатність мережі, тоді як безпілотні літальні апарати виконують функцію гнучкого інструмента динамічного розширення та оптимізації покриття відповідно до поточних умов експлуатації.

1.6 Різновиди дронів

Створення і використання БПЛА – стало серйозним приводом в області інтелектуальних досліджень. Інновації використані у всіх елементах цих пристроїв, від сучасних композитних пристроїв, коду шифрування до новітнього навігаційного обладнання. В залежності від розмірів і запрограмованих програм квадрокоптери, мають різне призначення. На основі узагальнення відомих класифікацій та тактико-технічних характеристик існуючих безпілотних літальних апаратів запропоновано їх класифікацію, за основними ознаками: використання;

тип системи керування; правила використання; клас; тип; тип крила; спосіб зльоту/посадки; тип двигуна; паливна система; тип паливного бака; час та кількість експлуатації, категорія (з урахуванням маси і максимальної дальності дії); радіус дії; висота; функціональне призначення.

В даній роботі розглядається БПЛА типу «коптер». Коптери класифікуються за кількістю приводних двигунів. Існують літакові (наприклад, eBee Ag від SenseFly) та мульти роторні (найпопулярніших серед них нині є квадрокоптери Phantom від DJI)/ Мультироторні дрони залежно від кількості гвинтів (роторів) поділяються, відповідно, на триквадро-, гекса-, та октокоптери (рис1.2).



Рис. 1.2 Квадрокоптер, гексокоптер та октокоптер відповідно

Переваги та недоліки БПЛА і деякі новинки ринку

На сьогодення, а саме 2025/2026 рік, світу представлені такі новинки:

- Xiro XPLORER V ;
- DJI Phantom 4 RTK ;
- DJI Spark ;
- DJI Mavic 2 Fly ;
- Intec Skif ;
- Sonin Hybrid .

Коротко описані головні особливості кожного дрону, їхні застосування в житті людини, переваги та недоліки.

1.3.1.2 Xiro XPLORER V

Дрон від компанії Shenzen Zero UAV з вагою 1,3 кг та батареєю 5200 мА*ч, що дає до 25 хв польоту на відстань до 120 м.. Літальний апарат повільно реагує на команди, не підтримує різки повороти. Комплектна камера 14 МП матрицею Panasonic кріпиться на трьох осьовий підвіс, відеоролики з роздільною здатністю 1080p/30fps кадрів в секунду. Є можливість налаштування експозиції, IOS і баланс білого (пресети) з мобільного пристрою, файли зберігаються на карту пам'ять. Максимальна дальність управління дроном до 500 м..

Автоматичні режими: зліт і посадка; повернення на місце; політ по точкам та навколо оператора.

Переваги: незначний дизайн; хороша комплектація з можливістю апгрейта; стабілізована камера; гарне співвідношення ціни / якість.

Недоліки: нестійкий бездротовий зв'язок зі смартфоном; мала дальність і висота польоту; на пульті можна закріпити лише великий смартфон; помилки програмного забезпечення. Зображення даного приладу приведено на рисунку 1.4.





Рис. 1.4 Xiro XPLORER V

Аналіз технічних характеристик Xiro XPLORER V свідчить про те, що даний безпілотний літальний апарат орієнтований переважно на аматорське використання та аерозйомку. Наявність базових автоматичних режимів польоту спрощує керування, проте обмежена дальність зв’язку та нестабільність бездротового каналу знижують ефективність його застосування в задачах телекомунікаційного призначення.

З огляду на це, Xiro XPLORER V може розглядатися лише як демонстраційний приклад реалізації автоматизованого керування та стабілізації польоту, але не як повноцінна платформа для динамічного розширення покриття мобільних мереж. Виявлені недоліки підтверджують необхідність розробки спеціалізованого БПЛА, адаптованого до задач ретрансляції сигналу, що і обґрунтовує актуальність даного дипломного проєкту.

1.3.1.3 DJI Phantom 4 RTK

Оновлений дрон від компанії DJI середнього розміру з вагою 1,3 кг. Акумулятор 5870 мА*ч що дозволяє літати до 30 хв на відстані до 4,2 км зі швидкістю до 60 км/год. Сферична камера встановлена на трьох осьовому підвісі, оснащена об’єктивом з кутом 94 градуса, роздільна здатність матриці 20 МП дозволяє знімати відео в 4К/3030fps кадрів в секунду. Якість зображення забезпечується механічним затвором.

Додаток GS RTK дозволяє пілотам здійснювати управління дроном в двох режимах: «Фото геометрія» і «Політ по точках». В них можна скласти маршрут і одночасно регулювати степінь накладання кадрів, швидкість, параметри камери в процесі картографування чи інспекції.

Автоматичні режими: зліт і посадка; обліт точки; пілот за пультом; пілот по точкам.

Переваги: висока дальність і час польоту; зйомка відео в 4К; стабілізований та адаптований підвіс, що дозволяє працювати х якістю, стабільний сигнал передачі

зображення та відео.

Недоліки: ціна, частково може відбуватися збій в розрахунках польоту, для відкриття режиму картографії може знадобитися зміна прошивки, а це не про оперативність, також немає патронників. Пристрій приведений на рисунку 1.5.



Рис. 1.5 DJI Phantom 4 RTK

1.3.1.4 DJI Spark

Ще один малогабаритний дрон компанії DJI вагою 300 г. Акумулятор 1480 мА*ч дозволяє літати 12-16 хв., реальна дальність в місті близько 30 метрів, на відкритій місцевості – до 100 метрів, швидкість – до 36 км/год.

Об’єктив з кутом огляду 82 градуси не виносить спотворень, блок живлення стабілізовано по двох осях – не рекомендовано різко повертати. Гарні кадри виходять тільки при яскравому світлі, а результати зберігаються на флешку. Я не включав би цей дрон у список, але у нього є одна особливість. Це можливість злітати і сідати з рук без допомоги мобільного пристрою (за допомогою сонарів та камери на частині корпусу). За допомогою жестів можна наближати, віддаляти та фотографувати. Максимальна швидкість набору висоти 3 м/с (в спортивному режимі без вітру), максимальна швидкість зниження 3 м/с (в режимі автопосадки). Діапазон робочих температур 0…+40С. Супутникове системне позиціонування GPS/ГЛОНАСС. Система 3D датчиків: діапазон виявлення перешкод: 0,2 – 5 м;

Переваги: малі габарити, легко перевозити в штатному боксі, камера з механічною стабілізацією в двох осях; спеціальні автоматичні ефекти для відео.

Недоліки: мала дальність, час і швидкість польоту; розширення відео обмежена Full HD; немає стабілізації камери по третій осі. Прилад представлений на рисунку 1.6.



Рис. 1.6 DJI Spark

1.3.1.5 DJI Mavic 2 Fly

DJI MavicAir 2 (рис. 1.7) - це портативний дрон нового покоління, який виводить якість зйомки, потужність і функціональність на зовсім інший рівень. Станом на 2025 рік це найпопулярніший дрон для військових цілей. Якщо говорити про цивільні задачі. DJI MavicAir 2 здатний знімати 4К відео, відрізняється більш тривалим часом польоту і пропонує розширені інтелектуальні функції. А вдосконалена система передачі сигналу, спеціальний додаток DJI Fly і оптимізовані функції безпеки польоту дозволяють повністю зануритися в процес творчості.

З технічної точки зору платформа DJI Mavic Air 2 вирізняється високим рівнем інтеграції бортових систем, що робить її придатною не лише для аерозйомки, але й для виконання прикладних інженерних завдань. Дрон оснащений стабілізованою платформою, сучасною системою навігації та високоефективними безщітковими електродвигунами, що забезпечує стабільний політ і точне утримання позиції в просторі.

Система передачі даних між безпілотним літальним апаратом і наземною

станцією керування характеризується підвищеною завадостійкістю та достатньою дальністю дії, що є важливим фактором при використанні дрона в умовах складної радіообстановки. Це дозволяє розглядати дану платформу як базу для експериментальних досліджень у сфері бездротових комунікацій та ретрансляції сигналів.

Окрім цього, компактні габарити та відносно невелика маса апарата спрощують його транспортування та швидке розгортання, що є важливим для сценаріїв тимчасового або мобільного застосування. У поєднанні з програмним забезпеченням, яке підтримує автоматизовані режими польоту, DJI Mavic Air 2 може використовуватися як зручна платформа для апробації концепцій динамічного розширення покриття мобільних мереж.



Рис. 1.7 DJI MavicAir 2

1.3.1.6 Intec Skif

Українська компанія Intec розробила БПЛА з крилом типу «Промінь», він працює від електричного двигуна та запускається за допомогою еластичної катапульти. Це компактний дрон вага якого 3,6 кг, розмах крил 1,5м. Він може підійматись на висоту до 400 метрів і перебувати у небі більше 2 годин. Дрон здатен облетіти та відзняти на фото 1500 гектарів за виліт. Має потужну камеру з матрицею 20 МП. Модель обладнана GPS-маячком. Таким чином, місцезнаходження БПЛА можна побачити як на мобільному, так і в системі GPS

моніторингу на пк. Розвиває швидкість до 70 км/год та працює у радіусі 50 км, що є значним показником для агродронів. Налаштування польоту здійснюється за допомогою ноутбуку та спеціального ПО, за допомогою якого можна виставити автоматичні налаштування і дрон буде працювати повністю в автоматичному режимі.

Переваги: повна автономність роботи, оператор налаштовує маршрут польоту, запускає дрон і далі лише здійснює контроль з польотом; фотозйомка проводиться автоматично; проводить обмір полів із точністю в 5-10 см.

Недоліки: габарити, незручна посадка пристрою. Прилад представлений на рисунку 1.8.



Рис. 1.8 Intec Skif

1.3.1.7 Sonin Hybrid

Американський стартап Recruit для служб швидкого реагування – перший дрон, який використовує технологію Sonin Hybrid's Reach, що забезпечує час польоту до 5 разів довше, чим у дронів з батарейним зарядом. Оснащений 4К – камерою, набором сенсорів для пошуку постраждалих під час лих і здатний провести в повітрі більше 3 годин. Як повідомляє розробник, дрон Recruit вже надійшов серійне виробництво.

Застосування гібридної силової установки у дроні Sonin Hybrid дозволяє суттєво розширити спектр можливих сценаріїв його використання порівняно з традиційними акумуляторними платформами. Тривалий час перебування в повітрі створює передумови для безперервного моніторингу території, що є критично важливим для задач оперативного реагування та підтримки зв’язку в умовах надзвичайних ситуацій.

Недоліки: вартість, габаритність, складне управління.

Прилад представлений в трьох варіантах, для трьох галузей швидкого реагування на рисунку 1.9.



Рис. 1.9 Recruit для пожежних, поліції і військових

Водночас зазначені недоліки, зокрема висока вартість і складність керування, обмежують можливість масового використання таких платформ у цивільних телекомунікаційних системах. Тому дрони з гібридною силовою установкою доцільно розглядати як спеціалізоване рішення для окремих сценаріїв, де тривалість польоту є визначальним фактором, а не як універсальну платформу для широкого впровадження.

1.4 Огляд існуючих рішень

Перед початком роботи було оглянуто ринок готової продукції для визначення доцільності виготовлення свого БПЛА. Як ми бачимо з приведених вище прикладів, що ринок і розвиток дронів дуже великий, і стрімко росте. Кожен дрон особливий, в кожного свої плюси і мінуси. Але дрон, який розробляється в дипломному проекті по своєму особливий, та пропонує вирішити дуже важливу задачу, а саме – мережеве покриття. В нього будуть всі стандартні програмні забезпечення як в звичайного квадрокоптера:

- політ по точкам;
- стабілізація польоту;
- якісна зйомка;
- утримання висоти;
- авто повернення в точку зльоту і т.д..

Модернізація квадрокоптера буде в тому, що до нього буде вмонтований репітер, для підсилення мережевого зв’язку, а також розширення покриття мобільних мереж. Вважаю ця функція є однією з найголовніших, для часу в якому ми живемо. При зруйнованій критично важливій структури, наприклад мережевої антени, дрони з максимально мінімальною швидкістю, здатні відновити і розширити покриття мобільної мережі. Це дасть можливість людям бути на зв’язку в критичних ситуаціях, а також може врятувати життя багатьох людей. Також цю технологію можна використовувати в місцях проблемного зв’язку. Коли людина загубилась в Лісі, дрон або дрони здатні розстягнути покриття і людину врятують, шляхом пошуку через GPS. Це дуже корисна функція для України, так як зі зв’язком тут недуже добре, хоч наші відомі оператори стверджують що це не так. На рисунку 1.10 представлена 3D модель розрахованого квадрокоптера.

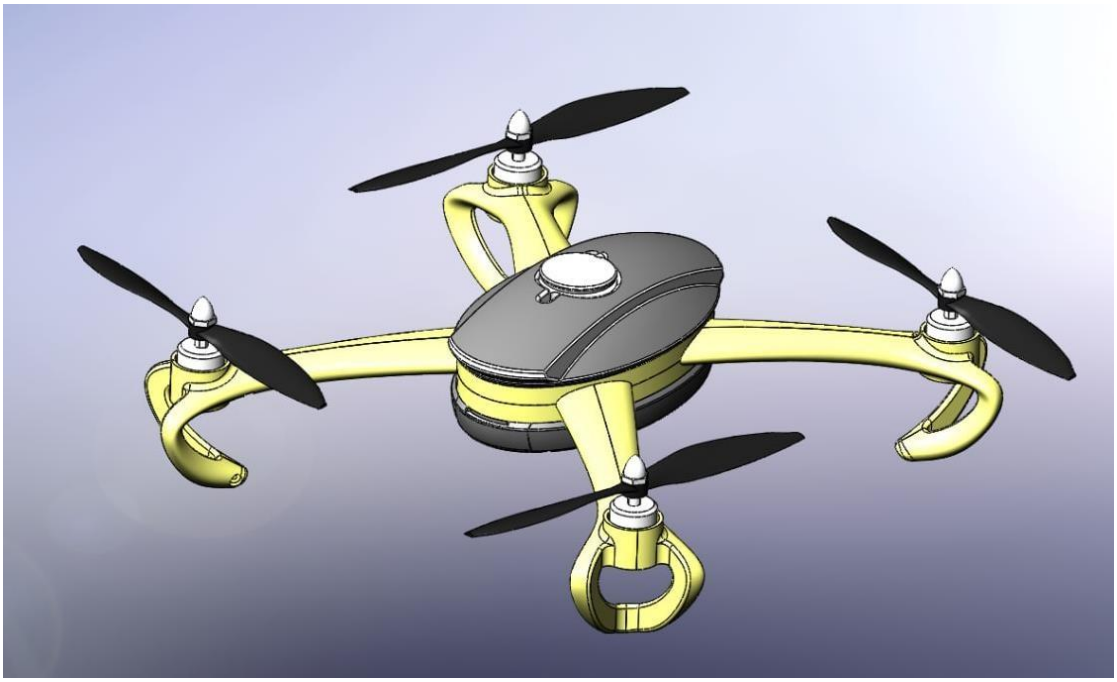


Рис. 1.10 Квадрокоптер для підсилення мобільного зв’язку

2. ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Розглянуто аналоги представлені на ринку та визначившись із функціоналом системи, розробимо та створимо структурну схему системи робото придатності квадрокоптера мережевого зв’язку.

При обґрунтуванні схемотехнічного завдання важливо враховувати специфіку використання квадрокоптера як елемента мобільної мережі зв’язку. На відміну від класичних радіоелектронних пристроїв, дана система поєднує в собі функції літального апарата та телекомунікаційного вузла, що накладає додаткові вимоги до стабільності роботи, енергоспоживання та взаємодії між окремими блоками.

Схемотехнічне рішення повинно забезпечувати надійну роботу системи в умовах обмеженого живлення, вібрацій та змінних радіоумов. Саме тому структура системи побудована на основі модульного принципу, де кожен функціональний блок виконує чітко визначену роль та може бути оптимізований незалежно від інших.

Особливу увагу в межах даної дипломної роботи приділено взаємодії між керуючими мікроконтролерами та радіомодулями. Такий підхід дозволяє розділити задачі керування польотом квадрокоптера та підсилення і ретрансляції сигналу, що позитивно впливає на стабільність та масштабованість системи.

Таким чином, обґрунтування схемотехнічного завдання ґрунтується на необхідності створення універсальної, гнучкої та адаптивної системи, здатної виконувати функції динамічного підсилення мобільного зв’язку в умовах обмежених ресурсів.

2.1 Структурна схема

Це структурна схема роботи БПЛА мероежевого зв’язку. Це не найпотужніше і не найскладніша схема, але вона максимально ергономічна для використання. А також займає перше місце по співвідношенню ціна – реалізація

задачі. На рисунку 2.1 показана структурна схема системи роботи квадрокоптера мережевого зв’язку.

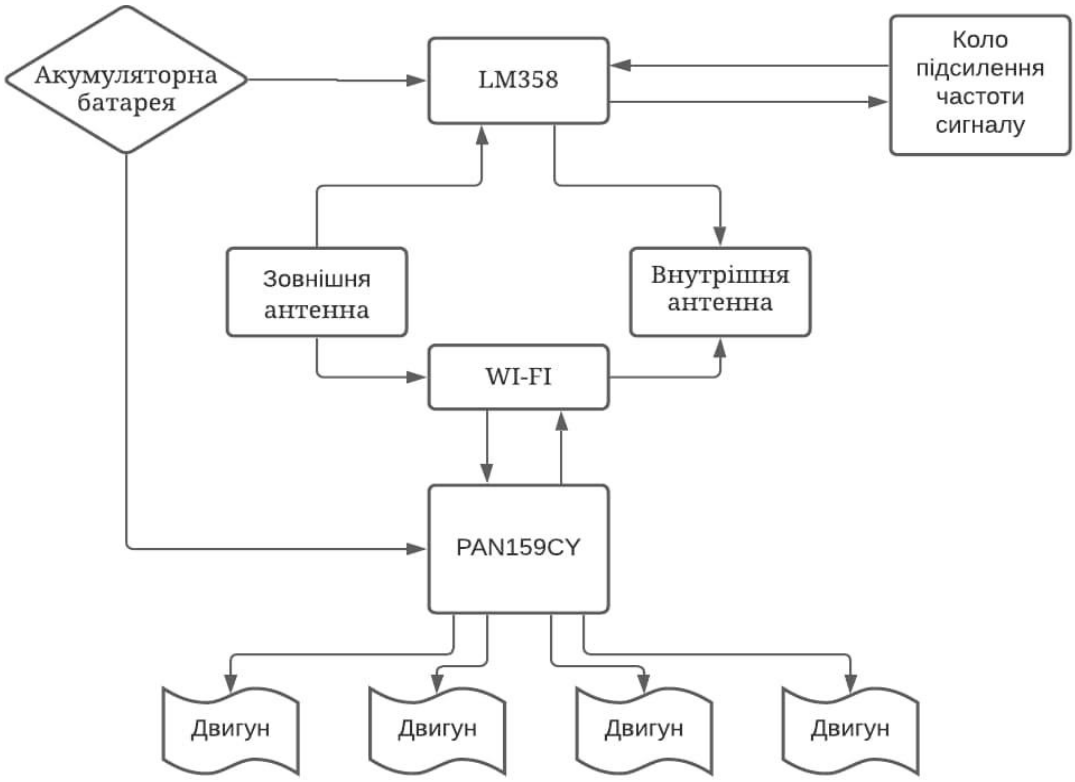


Рис. 2.1 Структурна схема роботи квадрокоптера мережевого зв’язку

Найменування:

PAN159CY – мікроконтролер базового керування дроном;

BM70BLE01FC2 – мікроконтролер прийому та передачі WI-FI сигналу на частоті 2,4 ГГц, з можливостю роботи на частоті сигналу 5 ГГц;

LM358 – мікроконтролер для отримання ослабленого сигналу та передачі посиленого сигналу;

hdf6956 – кварцовий генератор частот, який під час керування посилює вхідний сигнал, та має можливість також послаблювати вхідний сигнал;

Зовнішня антенна – перетворює енергію передаючи на приймаючу антену електромагнітної хвилі в електромагнітне коливання;

Внутрішня антенна – перетворює електромагнітні коливання, що надходять

з мікроконтролера в енергію електромагнітних хвиль, після чого поширює їх в певній області;

Коло підсилення частоти сигналу;

Двигуни – електромотор CW, для підйому і посадки дрона; Живлення відбувається за допомогою акумуляторної батареї 5 В.

Як зрозуміло з структурної схеми, головним виступає LM358 і PAN159CY.

Вибір мікроконтролерів LM358 та PAN159CY як ключових елементів структурної схеми зумовлений необхідністю розділення функціональних задач системи. Мікроконтролер PAN159CY виконує роль центрального керуючого елемента, відповідального за логіку роботи квадрокоптера, обробку команд керування та взаємодію з бездротовими модулями. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільне керування літальним апаратом незалежно від роботи підсистеми ретрансляції сигналу.

Мікроконтролер LM358, у свою чергу, використовується як елемент обробки та підсилення сигналу, що надходить із зовнішньої антени. Його застосування дозволяє працювати навіть із надслабкими сигналами, що є критично важливим у сценаріях екстреного зв’язку або в умовах значного ослаблення радіохвиль.

Розподіл функцій між окремими мікроконтролерами знижує навантаження на кожен із них та підвищує загальну надійність системи. У випадку збоїв в одному з блоків інші елементи продовжують функціонувати в межах своїх задач, що є важливою перевагою для систем, призначених для роботи в складних умовах.

Завдяки цих двох мікроконтролерів можна керувати пристроєм, і підсилювати сигнал.

Отже виконавши перший етап створення прототипу з двох різних пристроїв, можна починати роботу над їх гібридом який здатен виконувати функції двох пристроїв в уніфікованій системі, з додатковим функціоналом, який буде більш адаптивним для конкретних цільових аудиторій та подій.

2.2 Схема електрична принципова

Електрична схема системи роботи квадрокоптера мережевого зв’язку яка, здатна виконувати вбудовані функції - базування по точкам, автоконтроль та інші. Була розроблена для максимально ефективної та енергетично ергономічної реалізації цього гібриду – зображена нижче, а саме не показана на рисунку 2.2.

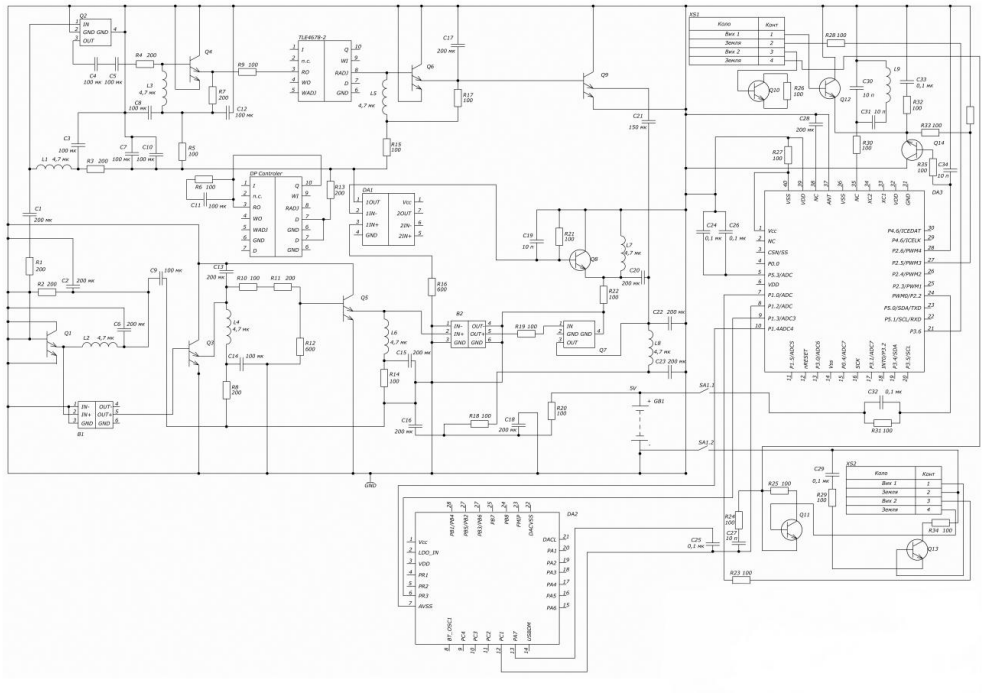


Рис. 2.2 Схема електрична принципова

Як видно з схеми електричної принципової, вона базується на апаратній платформі s-m4677 (TLE4678-2) на чолі з мікроконтролером LM358. Для ввімкнення пристрою потрібно приєднати живлення від акумуляторної батареї. Після цього напруга 5 В подається з акумуляторної батареї на апаратну платформу та безпосередньо на мікроконтролер, а він в свою чергу, передає отриманий сигнал с зовнішньої антени підсилює та поширює завдяки внутрішній антені. Система працює в автоматичному та автоматизованому режимі тому додаткових налаштувань не потребує.

Автоматизований режим роботи системи є важливою характеристикою для пристроїв, призначених для використання в екстрених або динамічних умовах. У межах даної розробки автоматизація дозволяє зменшити вплив людського фактора та забезпечити швидке реагування системи на зміну параметрів сигналу.

Принципова електрична схема побудована таким чином, щоб після подачі живлення всі ключові вузли системи переходили у робочий стан без необхідності ручного втручання. Це дозволяє використовувати квадрокоптер як автономний елемент мережі зв’язку, що особливо актуально у випадках втрати наземної інфраструктури або відсутності технічного персоналу.

Автоматичний аналіз сигналу, що надходить із зовнішньої антени, забезпечує адаптацію роботи підсилювача до поточних умов. За необхідності система може змінювати параметри підсилення або використовувати альтернативні частотні діапазони, що підвищує ймовірність успішної передачі даних.

Мікроконтролер підключено за допомогою додаткового змінного резистора номіналом 10 кОм. У мікроконтролері відбувається аналіз отриманих даних і при необхідності, надсилається сигнал до внутрішньої антени іншого типу, який поширює сигнал замість 900 мГц сигнал з частотою 1800мГц, якщо така можливість є. Отже, виконавши другий етап створення системи, а саме розроблення схеми електричної принципової. Тепер можна розпочинати

підготовку до роботи над розробкою конструкції та вибором конструктивних елементів системи автоматизованого підсилення сигналу при екстрених ситуаціях.

При під'єднанні акумулятора та двох антен (внутрішньої та зовнішньої), струм проходить через електричне коло до мікроконтролера, який збирає сигнал з зовнішньої антени, і при наявності сигналу, навіть надслабкого, підсилює його до рівня, якого достатньо не тільки для дзвінку та сигналу SOS, а й для точної передачі геопозиції та передачі фото та відео з ситуації в якої опинилась людина. Потім, цей сигнал проходить через первісне електричне коло та поширюється в радіусі 20 метрів (бетонні та металеві перегородки значно зменшують радіус роботи) завдяки внутрішній антені. Якість поширеного сигналу можна підвищити, якщо вдосконалити зовнішню антену, також якість підсилення сильно залежить від

компонентів в платі, які з часом та експериментами можна значно покращити та використовувати в більш масштабних цілях, наприклад, встановлення антен, базованих на цій системі, в віддалених від міст та телевешт для розповсюдження комунікації.

Важливою особливістю розробленої електричної схеми є паралельна робота підсистем керування польотом та ретрансляції сигналу. Така архітектура дозволяє забезпечити безперервну роботу телекомунікаційного модуля незалежно від режиму керування квадрокоптером.

Завдяки окремому живленню та логічному розподілу функцій система зберігає працездатність навіть у разі короткочасних перешкод або зміни режиму польоту. Це підвищує надійність роботи пристрою в реальних умовах експлуатації.

Паралельно з репітером, при подачі 5В на коло, струм проходить до мікроконтролера PAN159CY1, який починає працювати за алгоритмом, вбудованим в нього. Спочатку подається сигнал на WI-FI модуль BM70BLE01FC2, який за допомогою спільних внутрішньої антени підключає мікроконтролер до пристроя, на якому встановлена ПО для керування квадрокоптером. Отримані сигнали WI-FI модуль передає на основний мікроконтролер Pan159CY1, який конвертує сигнал в короткі імпульси, яких достатньо для керуванням 4-х маленьких електродвигунів, для підйому та статичної позиції дрону. За допомогою зовнішньої антени він повертає на пристрій керування інформацію про дії та стан акумуляторної батареї, яка живить дрон та репітер. Завдяки модифікації, дрон здатний приймати сигнал з керуючого пристрою не лише на базових відстанях WI-FI сигналу (10-15м), а навіть на 10 – 40 м від пристрою керування.

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ

3.1 Вибір елементної бази

Вибір елементної бази для системи сигналу в місцях зі слабким або відсутнім мобільним сигналом відбувається з урахуванням наступних факторів:

повинна забезпечувати безперервну роботу пристрою в даних місцевих та кліматичних умовах;

повинна мати високу надійність, безпечність та відмово стійкість; повинна мати низьку вартість та широку розповсюдженість;

повинна легко налагоджуватися та експлуатуватися;

зобов’язаний мати стабілізатори для погодних явищ;

У пристрої, який проектується в даному дипломному проекті окремо розглянемо та виберемо апаратну платформу, бо вона є головною в системі. Також, окремо розглянемо використані активні та пасивні елементи.

Додатково слід зазначити, що вибір елементної бази для безпілотного літального апарата, який використовується як мобільний мережевий вузол, має стратегічне значення не лише з точки зору працездатності самого дрона, але й з позиції стабільності телекомунікаційної системи загалом. На відміну від класичних наземних елементів мобільної мережі, повітряна платформа піддається постійним механічним коливанням, змінним температурним режимам, а також впливу електромагнітних завад, що накладає додаткові вимоги до компонентів.

Особливо важливою є сумісність елементної бази між собою, оскільки в межах одного пристрою поєднуються функції керування польотом, ретрансляції сигналу та передачі телеметричних даних. Будь-яка нестабільність одного з вузлів може призвести не лише до втрати керування БПЛА, а й до порушення роботи мережевого сегмента, який він обслуговує. Саме тому в даному дипломному проєкті пріоритет надається перевіреним, масово використовуваним компонентам, які мають достатню документацію та практичний досвід застосування.

Окрему увагу приділено енергетичній ефективності елементів, адже всі вузли

живляться від спільного акумуляторного джерела. Надмірне енергоспоживання одного з блоків може суттєво зменшити час автономної роботи дрона, що критично для сценаріїв використання в умовах надзвичайних ситуацій або у віддалених районах.

3.1.1 Польотний контролер

Польотом дрона безпосередньо керує польотний контролер. Існують десятки моделей популярних польотних контролерів різноманітних виробників. Їх характеристики у кожній ціновій категорії загалом подібні один одному, і вибір польотного контролера залежить від особистих уподобань специфікації проектування дрона. Цінова шкала доступних на ринку польотних контролерів сягає від кількох десятків доларів до кількох тисяч доларів США.

Функції польотного контролера:

Стабілізація в повітрі;

Утримання висоти (за допомогою барометра) та позиції (за допомогою GPS);

Автоматичний політ за заданими точками;

Передача на землю поточних параметрів польоту за допомогою модема або Bluetooth;

Забезпечення безпеки польоту (повернення в точку злету при втраті сигналу, автопосадка);

Підключення додаткової периферії: OSD (накладання параметрів польоту на відео), світлодіодна індикація, або окуляри і т.д.

Кількість функцій залежить від наявності на борту дрона відповідної периферії, в бюджетних контролерах ряд функцій може бути взагалі відсутнім.

В контексті використання БПЛА як елемента мобільної мережі польотний контролер виконує не лише стандартні навігаційні та стабілізаційні функції, а й опосередковано впливає на якість надання телекомунікаційних послуг. Здатність точно утримувати висоту та координати дозволяє підтримувати стабільну зону покриття радіосигналу, що особливо важливо для тимчасових або аварійних мереж.

Крім того, підтримка автоматичних режимів польоту значно знижує навантаження на оператора та мінімізує людський фактор. У випадку використання дрона для динамічного розширення покриття мобільної мережі це дозволяє швидко розгортати систему в потрібній точці без складних налаштувань. Польотний контролер у такому випадку стає основою для реалізації автономних сценаріїв, коли БПЛА самостійно займає оптимальну позицію для ретрансляції сигналу.

Використання контролера PAN159CY у даному проєкті є доцільним з огляду на його сумісність з безпровідними модулями зв’язку та можливість інтеграції з мережевими компонентами без суттєвого ускладнення архітектури системи.

В контексті використання БПЛА як елемента мобільної мережі польотний контролер виконує не лише стандартні навігаційні та стабілізаційні функції, а й опосередковано впливає на якість надання телекомунікаційних послуг. Здатність точно утримувати висоту та координати дозволяє підтримувати стабільну зону покриття радіосигналу, що особливо важливо для тимчасових або аварійних мереж.

Крім того, підтримка автоматичних режимів польоту значно знижує навантаження на оператора та мінімізує людський фактор. У випадку використання дрона для динамічного розширення покриття мобільної мережі це дозволяє швидко розгортати систему в потрібній точці без складних налаштувань. Польотний контролер у такому випадку стає основою для реалізації автономних сценаріїв, коли БПЛА самостійно займає оптимальну позицію для ретрансляції сигналу.

Використання контролера PAN159CY (рис 3.1). У даному проєкті є доцільним з огляду на його сумісність з безпровідними модулями зв’язку та можливість інтеграції з мережевими компонентами без суттєвого ускладнення архітектури системи. Стандартний контролер в бюджетних дронів, має всі необхідні функції для польоту, автоматичний політ по точках, функцію автоспуску , мобільний контроль WIFI.

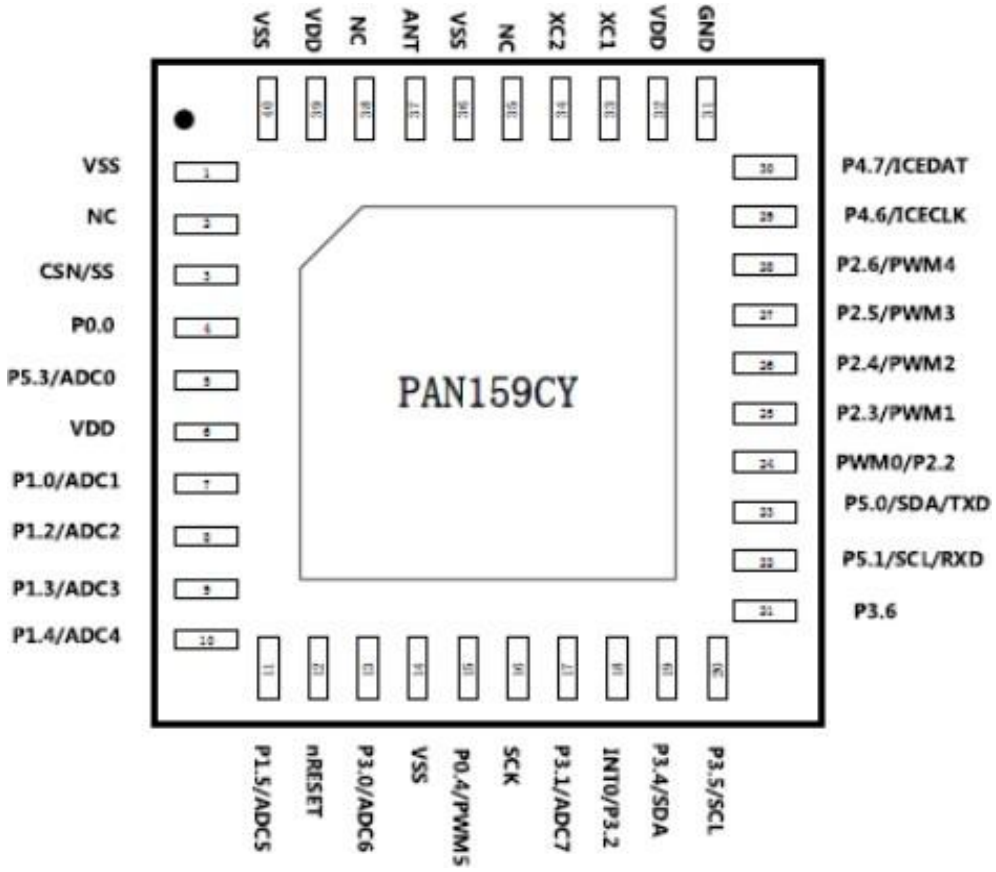


Рис. 3.1 Польотний контролер PAN159CY

3.1.2 Телеметрія

Телеметрія (рис. 3.2) - модем (Bluetooth, WiFi) - для дистанційного налаштування і перегляду параметрів польоту можуть використовуватися безпровідні канали зв’язку: модем на 433 МГц або 910 МГц, Bluetooth або WiFi-модуль. Дальність їх роботи відповідно, може складати від 50 м до 10 км

Телеметричний канал у межах даної системи виконує не лише допоміжну функцію, а є важливим елементом загальної надійності роботи БПЛА. Завдяки телеметрії оператор має змогу в режимі реального часу контролювати основні параметри польоту, рівень заряду акумулятора, стабільність сигналу та стан мережевого обладнання.

Для задач розширення мобільного покриття телеметрія відіграє ключову роль у забезпеченні безперервності зв’язку. У разі погіршення якості сигналу або

виникнення несправностей система може бути оперативно переведена в інший режим роботи або змінити позицію в просторі. Таким чином, телеметрія стає інструментом адаптації БПЛА до змінних умов середовища та мережевого навантаження.

Використання Wi-Fi або Bluetooth каналів у бюджетних рішеннях є компромісом між дальністю зв’язку та енергоспоживанням, що повністю відповідає концепції даного дипломного проєкту.

Представлю приклад телеметрії, тому що в даному проекті вважаю доцільним використання цього каналу зв’язку.



Рисунок 3.2 3DR радіо телеметрія 433 МГц APM2.5+, Arduino

3.1.3 Прилади руху

Квадрокоптер обладнаний чотирма електромоторами (рис 3.3) для забезпечення польотної тяги.



Рисунок 3.3 Електромотор CW

Швидкість кожного електромотора регулюється за допомогою регулятора обертів (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 Регулятор обертів DJI Takyon

Прилади руху безпосередньо впливають на стабільність платформи, що в свою чергу визначає якість поширення радіосигналу. Будь-які коливання або нестабільність у роботі електромоторів можуть призводити до зміни орієнтації антен та погіршення характеристик зв’язку. Саме тому для даної системи важливо забезпечити узгоджену роботу двигунів та регуляторів обертів.

Крім того, ефективність силової установки безпосередньо впливає на тривалість перебування БПЛА в повітрі. Для мережевих застосувань пріоритетом є не швидкість чи маневровість, а можливість тривалого утримання заданої позиції, що дозволяє використовувати дрон як тимчасову базову станцію або ретранслятор сигналу.

Живлення дрону йде від акумуляторної батареї, зображеної нижче (рис 3.5).

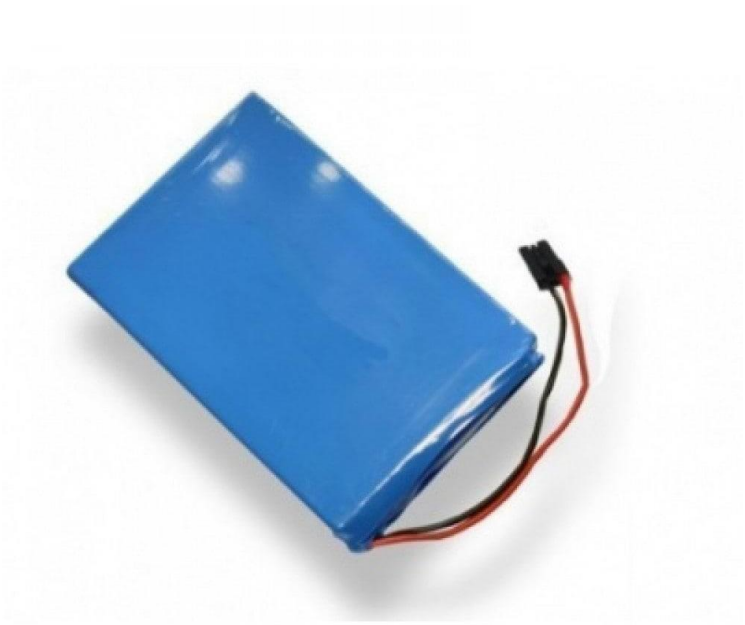


Рисунок 3.5 акумуляторна батарея на 5 В

3.1.5 Контролер репітера

TLE4678-2 (рис 3.7) - це монолітний інтегрований регулятор постійної вихідної напруги з низьким випаданням для навантажень до 200 мА. Вхідна напруга яка досягає до 45 В, регулюється до вихідної напруги 5 В. Вбудована функція скидання та контролю, а також кілька ланцюгів захисту в поєднанні з широким діапазоном робочих температур, запропонованих TLE4678-2, роблять його придатним для постачання мікропроцесорних систем в автомобільному

середовищі. Схема сторожового контролю буде вимкнена, якщо вихідний струм опуститься нижче програмованого порогу, що дозволить мікроконтролеру переключитись в режим очікування. Зміна порога скидання можлива за допомогою додаткового резистора дільника.

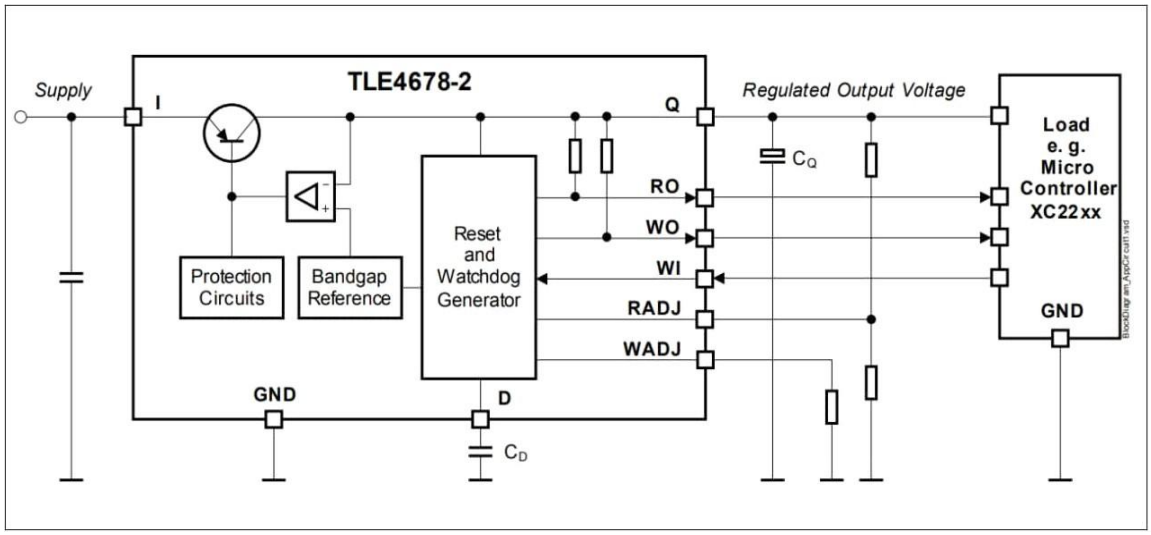


Рисунок 3.7 Контролер репітера

3.1.6 Кварцовий генератор

Для гарної кінцевої відмови необхідний низький перехресний зв’язок. Низькі перехресні перешкоди можуть бути реалізовані завдяки хорошій схемі регулятор частот (рис 3.8). Основний механізм перехресних перешкод спричинений проблемою петлі заземлення. Заземлювальні петлі створюються, якщо вхідний та вихідний перетворювач GND підключені на верхній стороні друкованої плати та подаються до площини заземлення системи загальним прохідним отвором. Щоб уникнути шляху спільного заземлення, штифт заземлення вхідного та вихідного

перетворювача подається на земну плату системи (нижня площина друкованої плати) за допомогою власно утвореного отвору. Заземлювальні штифти перетворювачів слід ізолювати від верхньої площини заземлення. Загальна індуктивність GND 0,5 нГн погіршує граничне відхилення (перехресні перешкоди)

на 20 дБ. Оптимізована схема друкованої плати, включаючи відповідну мережу та межу для перетворення до 50 Ом, зображена нижче. У цій схемі друкованої плати петлі заземлення зведені до мінімуму, щоб забезпечити хорошу остаточну відмову.

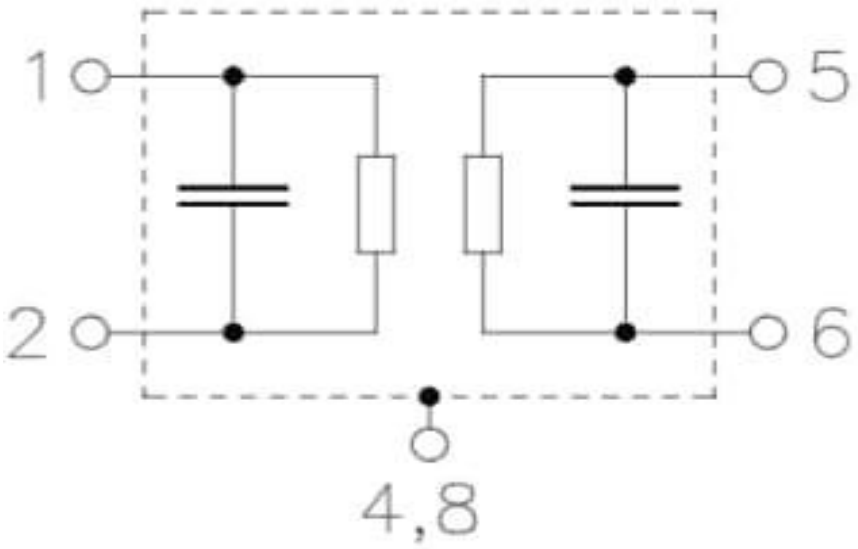


Рисунок 3.8 Схема кварцового генератора

3.1.7 Прилад керування

Завдяки додатку DHD Fly, – відбувається керування квадрокоптером, використовуючи смартфон чи планшета на платформі IOS або Android (рис. 3.9).

Використання мобільного додатку як основного інтерфейсу керування відповідає концепції доступності та оперативності розгортання системи. Оператор не потребує спеціалізованого обладнання, що значно спрощує використання БПЛА в польових умовах або під час надзвичайних ситуацій.

Крім базових функцій керування, ПЗ може бути розширене для відображення додаткових параметрів, зокрема рівня сигналу, зони покриття та стану мережевого обладнання. Це створює передумови для подальшої автоматизації процесів та інтеграції елементів інтелектуального аналізу без зміни апаратної частини системи.



Рисунок 3.9 Пульт керування квадрокоптером DHD Fly

З метою оцінки технічних можливостей та доцільності використання обраного безпілотного літального апарата для реалізації поставлених завдань було проаналізовано його основні технічні та експлуатаційні характеристики. Вони були зображені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 -

Технічні характеристики дрона

Показники/габарити	Значення
Вхід, В / А	5/1
Маса стерилізатора, г	300
Відстань передачі, мм	<20
Зовнішні габаритні розміри (ш/д/в), мм	505,4x505,4x135,7
Ємність АКБ мА	2500
Репітер МГц	1800

Таким чином, обрана елементна база дозволяє реалізувати багатофункціональний безпілотний літальний апарат, який поєднує в собі класичні функції польоту та додаткові телекомунікаційні можливості. Усі компоненти підібрані з урахуванням їх сумісності, енергетичної ефективності та практичної доцільності застосування в умовах нестабільного або відсутнього мобільного зв’язку.

Конструктивна логіка системи полягає у розподілі функцій між польотним контуром та контуром обробки і ретрансляції сигналу. Такий підхід дозволяє масштабувати систему без кардинальної зміни її архітектури, що є важливою перевагою для подальшого розвитку або адаптації під інші сценарії використання.

3.2 Оптимальна висота використання БПЛА для розширення мобільного покриття

Вибір оптимальної висоти польоту безпілотного літального апарата є одним з ключових факторів ефективного використання БПЛА як елемента мобільної мережі. Висота розміщення дрона безпосередньо впливає на радіус покриття, рівень завад, стабільність каналу зв’язку та енергоспоживання системи. Саме просторове положення БПЛА визначає умови поширення радіосигналу між повітряним ретранслятором і абонентськими пристроями.

При використанні БПЛА на малих висотах польоту радіосигнал зазнає значного впливу перешкод у вигляді будівель, елементів інфраструктури, рельєфу місцевості та рослинності. У таких умовах зростає ймовірність багатопроменевого поширення сигналу, що призводить до інтерференції, коливань рівня прийнятого сигналу та зниження якості зв’язку. Особливо це критично в міській забудові, де наявність численних відбиваючих поверхонь ускладнює формування стабільного каналу зв’язку.

З іншого боку, надмірне підвищення висоти польоту БПЛА також має свої обмеження. Зі збільшенням висоти зростає енергоспоживання силової установки, оскільки дрону необхідно витрачати більше енергії для підйому та утримання

позиції в повітрі. Це безпосередньо впливає на час автономної роботи системи, який є критично важливим параметром для задач тимчасового або аварійного розширення мобільного покриття.

Крім того, на великих висотах можуть виникати додаткові вимоги до стабільності керування та точності навігації. Навіть незначні коливання або дрейф позиції БПЛА можуть призвести до зміни зони покриття та погіршення якості обслуговування користувачів. Тому оптимальна висота польоту повинна забезпечувати не лише максимальний радіус покриття, а й стабільність просторового положення апарата.

З огляду на зазначені фактори, оптимальною вважається така висота, яка забезпечує прямий або квазіпрямий радіовидимий зв’язок між дроном та користувачами мережі, водночас не призводячи до надмірного зростання енергоспоживання. У межах даного дипломного проєкту БПЛА розглядається як тимчасовий ретранслятор сигналу, тому його розміщення повинно забезпечувати компроміс між площею покриття, якістю каналу зв’язку та тривалістю автономної роботи.

Вибір оптимальної висоти також тісно пов’язаний із характеристиками використовуваних антен та робочими частотами системи. Орієнтація антен, діаграма спрямованості та умови поширення радіохвиль визначають ефективність покриття на різних висотах польоту. Тому висота БПЛА розглядається не як фіксований параметр, а як змінна величина, яка може коригуватися залежно від умов експлуатації та поставлених завдань.

Важливо зазначити, що підтримка заданої висоти та позиції можлива завдяки коректній роботі польотного контролера, датчиків висоти та навігаційних систем, описаних у попередніх підрозділах. Саме узгоджена робота цих компонентів дозволяє БПЛА стабільно утримувати оптимальну позицію в просторі протягом тривалого часу. Таким чином, питання вибору оптимальної висоти тісно пов’язане з вибором елементної бази, алгоритмами керування та конструктивними особливостями системи загалом.

3.3 Передумови автоматизації керування БПЛА

Однією з ключових переваг використання безпілотних літальних апаратів у телекомунікаційних системах є можливість автоматизації процесів керування та обслуговування мережі. На відміну від традиційних наземних елементів мобільної інфраструктури, БПЛА функціонує в динамічному середовищі, де постійно змінюються умови поширення сигналу, просторове положення апарата та рівень мережевого навантаження. У зв’язку з цим автоматизація керування є не додатковою опцією, а необхідною умовою стабільної роботи системи.

У межах даного дипломного проєкту система керування БПЛА розглядається як автоматизована з мінімальним втручанням оператора. Основні функції керування, такі як стабілізація положення в просторі, утримання заданої висоти та позиції, а також контроль стану бортових систем, реалізуються за допомогою польотного контролера та вбудованих алгоритмів. Це дозволяє оператору зосередитися на загальному контролі роботи системи без необхідності постійного ручного керування польотом.

Автоматизація керування дозволяє безпілотному літальному апарату самостійно займати задану позицію в повітрі та підтримувати її протягом тривалого часу. Для задач динамічного розширення мобільного покриття це має принципове значення, оскільки зона обслуговування користувачів напряму залежить від просторового положення БПЛА. Навіть незначні відхилення від оптимальної висоти або координат можуть призвести до погіршення якості зв’язку, зниження рівня сигналу або появи зон нестійкого покриття.

Важливою складовою автоматизації є здатність системи реагувати на зміну умов навколишнього середовища. До таких змін належать коливання рівня сигналу, вплив перешкод, зміна мережевого навантаження, а також зниження заряду акумуляторної батареї. Завдяки автоматизованим алгоритмам керування БПЛА може адаптувати режим своєї роботи, наприклад, коригувати положення в просторі або змінювати параметри функціонування мережевого обладнання, зберігаючи працездатність системи в цілому.

Окрему роль у процесі автоматизації відіграє телеметричний канал зв’язку, який забезпечує обмін інформацією між БПЛА та оператором або наземною станцією керування. Отримані телеметричні дані дозволяють здійснювати моніторинг стану системи в режимі реального часу та слугують основою для прийняття автоматизованих рішень. Таким чином, телеметрія є не лише інструментом спостереження, а й важливою складовою автоматизованого контуру керування.

Закладена в конструкцію можливість подальшого розширення програмного забезпечення створює основу для використання більш складних алгоритмів керування без необхідності зміни апаратної частини системи. Це означає, що в майбутньому система може бути доповнена елементами інтелектуального аналізу, такими як автоматичний вибір оптимальної позиції для покриття або адаптація до змінних умов радіосередовища. У межах даного дипломного проєкту такі механізми розглядаються як перспективний напрям розвитку, що підтверджує гнучкість та масштабованість запропонованого рішення.

Загалом, автоматизація керування БПЛА є фундаментальною передумовою його ефективного використання в телекомунікаційних системах. Вона забезпечує стабільність роботи, зменшує залежність від людського фактора та створює умови для подальшого розвитку системи без істотних конструктивних змін.

3.4 Захищеність системи безпілотного літального апарата

Однією з важливих вимог до безпілотних літальних апаратів, які використовуються в телекомунікаційних системах, є забезпечення належного рівня захищеності як апаратної, так і програмної частини. На відміну від традиційних наземних телекомунікаційних пристроїв, БПЛА функціонує в умовах підвищених механічних, кліматичних та електромагнітних впливів, що суттєво ускладнює забезпечення стабільної роботи системи. Оскільки в даному проєкті БПЛА виконує функції мережевого елемента, будь-яке порушення його роботи може призвести не лише до втрати зв’язку, а й до порушення передачі критично важливої інформації.

Захищеність апаратної частини системи досягається за рахунок сукупності конструктивних та схемотехнічних рішень. До основних зовнішніх факторів, що впливають на роботу БПЛА, належать вібрації під час польоту, різкі перепади температур, а також електромагнітні завади, спричинені роботою силових елементів та безпровідних модулів. Для зменшення негативного впливу цих факторів у системі використовуються перевірені електронні компоненти з розширеним температурним діапазоном та стабільними електричними характеристиками. Важливу роль у забезпеченні апаратної захищеності відіграє система електроживлення. Використання стабілізованого живлення та регулятора напруги дозволяє захистити мікроконтролери та периферійні пристрої від перепадів напруги, які можуть виникати внаслідок зміни навантаження або розряду акумуляторної батареї. Захисні ланцюги живлення зменшують імовірність пошкодження елементної бази та сприяють підвищенню загальної надійності системи.

Окрему увагу приділено розмежуванню функціональних блоків системи. Контур керування польотом та контур обробки і ретрансляції телекомунікаційного сигналу виконують різні функції та мають різні вимоги до надійності. Їх логічне та схемотехнічне розділення дозволяє знизити ризик повної відмови системи у разі виходу з ладу одного з вузлів. Такий підхід є характерним для телекомунікаційних систем, де критично важливо зберегти хоча б часткову працездатність у несприятливих умовах.

Програмна захищеність системи реалізується шляхом обмеження доступу до функцій керування та передачі даних. Навіть у базовій реалізації важливо забезпечити чітке розмежування каналів керування польотом та каналів передачі телекомунікаційної інформації. Це унеможливлює ситуації, коли збої або перевантаження мережевого каналу можуть вплинути на стабільність польоту БПЛА. Такий підхід дозволяє підвищити безпеку експлуатації та зменшити ризик некоректної роботи системи. Крім того, програмні обмеження доступу до систем керування знижують імовірність несанкціонованого втручання в роботу БПЛА. У межах даного дипломного проєкту не ставиться завдання реалізації складних

криптографічних механізмів захисту, однак базові заходи програмної ізоляції є достатніми для прототипу та експериментального використання.

Таким чином, захищеність системи безпілотного літального апарата в даному проєкті розглядається як складова загальної відмовостійкості та надійності. Запропоновані апаратні та програмні рішення забезпечують стабільну роботу БПЛА в умовах змінного середовища та створюють передумови для подальшого масштабування системи без істотних змін її архітектури.

3.5 Можливість групової роботи безпілотних літальних апаратів

Одним із перспективних напрямків розвитку систем з використанням безпілотних літальних апаратів є організація групової роботи кількох апаратів, так званого рою дронів. Такий підхід передбачає, що кожен БПЛА виконує окрему частину загального завдання, а їх узгоджена взаємодія дозволяє досягти результату, який неможливо забезпечити за допомогою одного апарата. У телекомунікаційних системах це відкриває нові можливості щодо масштабування та підвищення ефективності мережі.

У контексті динамічного розширення покриття мобільної мережі рій БПЛА може формувати розподілену мережу ретрансляторів сигналу. Кожен дрон у такій мережі виконує функцію локального вузла зв’язку, а сукупна робота апаратів забезпечує значно більшу площу покриття порівняно з одиночним БПЛА. Це особливо актуально для обслуговування територій зі складним рельєфом, розосередженим розташуванням користувачів або у випадках тимчасової відсутності стаціонарної інфраструктури.

Важливою перевагою групової роботи є рівномірний розподіл навантаження між апаратами. Кожен БПЛА працює в межах власних енергетичних можливостей, що дозволяє уникнути надмірного навантаження на один елемент системи та підвищити загальну тривалість функціонування мережі. У разі зниження заряду акумулятора одного з апаратів його функції можуть бути частково або повністю компенсовані іншими дронами рою, що підвищує відмовостійкість системи.

З конструктивної точки зору, реалізація групової роботи не потребує принципових змін апаратної частини БПЛА, розробленого в межах даного дипломного проєкту. Основну роль у забезпеченні ройової взаємодії відіграє програмне забезпечення та протоколи обміну даними між апаратами. Наявність безпровідних каналів зв’язку, телеметрії та мікроконтролерів із достатніми обчислювальними можливостями створює необхідні передумови для координації дій кількох дронів.

Групова робота БПЛА також спрощує адаптацію системи до змінних умов експлуатації. У разі зміни розташування користувачів або зростання мережевого навантаження рій дронів може змінювати конфігурацію розміщення апаратів у просторі, забезпечуючи оптимальне покриття. Такий підхід відповідає концепції динамічного розширення мобільної мережі та підвищує гнучкість системи.

У межах даного дипломного проєкту ройова взаємодія розглядається як перспективний напрям подальшого розвитку запропонованої системи. Запропонована апаратна платформа та принципи побудови системи дозволяють у майбутньому реалізувати групову роботу без суттєвої модернізації конструкції. Це підтверджує масштабованість рішення та його відповідність сучасним тенденціям розвитку телекомунікаційних систем на базі безпілотних літальних апаратів.

3.6 Узагальнення конструктивних рішень

Проведений аналіз конструкції та вибору елементної бази дозволяє зробити висновок, що запропонований безпілотний літальний апарат відповідає вимогам, які висуваються до систем динамічного розширення мобільного покриття. Конструкція БПЛА поєднує простоту реалізації, функціональність та можливість подальшого розвитку.

Запропоновані конструктивні рішення створюють надійну основу для реалізації електронного модуля, який буде детально розглянуто у наступному розділі. Чітке розмежування функцій, логічна архітектура та використання доступної елементної бази дозволяють перейти до етапу проектування без

необхідності внесення змін у концепцію системи.

Додатково слід зазначити, що модульний підхід до побудови конструкції БПЛА спрощує адаптацію системи під різні сценарії використання, зокрема під тимчасове або аварійне розгортання мобільного покриття. Використання уніфікованих компонентів та стандартних інтерфейсів забезпечує сумісність між окремими підсистемами та підвищує ремонтопридатність пристрою.

Обрана конструкція також враховує обмеження, пов’язані з масо-габаритними характеристиками та енергоспоживанням, що є критичними параметрами для безпілотних літальних апаратів. Завдяки цьому забезпечується баланс між тривалістю польоту, стабільністю роботи електронного модуля та ефективністю виконання функцій ретрансляції мобільного сигналу.

Таким чином, узагальнені конструктивні рішення підтверджують доцільність обраного підходу до побудови БПЛА як елемента телекомунікаційної системи та створюють передумови для успішної реалізації наступного етапу проектування.

З інженерної точки зору важливим результатом проведеного узагальнення є визначення граничних умов експлуатаці. Зокрема, враховано допустимі механічні навантаження, теплові режими роботи електронних компонентів та вплив вібрацій, що виникають під час польоту безпілотного літального апарата. Урахування цих факторів на етапі конструктивного проектування дозволяє зменшити ймовірність відмов та підвищити загальну надійність системи.

Крім того, обрані конструктивні рішення створюють передумови для масштабування системи шляхом інтеграції додаткових телекомунікаційних модулів без істотної зміни базової конструкції БПЛА. Це відкриває можливість адаптації розробленого апарата до різних стандартів мобільного зв’язку.

Також слід відзначити, що прийнята конструкція сприяє спрощенню процесів технічного обслуговування та попередньої діагностики системи. Чітка організація внутрішнього простору та доступність основних функціональних вузлів дозволяють оперативно виконувати перевірку працездатності та заміну окремих компонентів, що є важливим для практичного використання БПЛА в

4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

4.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Так як схема, має велику кількість елементів поверхневого монтажу і вивідні елементи, то дана плата матиме двосторонній монтаж та два шари металізації, саме тому її доцільно виготовити комбінованим позитивним методом, тобто спочатку металізуються отвори, а потім встановлюються провідники. У цього методу є наступні переваги:

можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високою роздільною здатністю;

хороша надійність ізоляції; хороша міцність зчеплення металевих елементів плати з діелектричною основою.

4.2 Обґрунтування вибору матеріалу плати

Матеріалом плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт FR-4-35/35-1,6. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати та високий поверхневий опір. Використання стандартного матеріалу плати дозволяє спростити процес виготовлення та подальшої модернізації електронного модуля.

4.3 Обґрунтування вибору припою

З точки зору оптимального співвідношення температури плавлення та міцності, доступності, низької ціни було обрано припій ПОС-61. Припій має стабільні паяльні властивості та забезпечує надійне електричне і механічне з’єднання. Його температура плавлення дозволяє виконувати монтаж без ризику перегріву компонентів. Використання даного припою підвищує надійність.

4.4 Обґрунтування вибору класу точності плати та щільності виробництва

Так як плата зі штирьовими і планарними виводами з високим насиченням поверхні ДП елементами, то клас точності — 3 (три). Обраний клас точності забезпечує можливість розміщення як навісних, так і поверхневих компонентів без ускладнення технологічного процесу виготовлення плати. Такий клас є оптимальним для прототипних та малосерійних виробів, оскільки поєднує достатню щільність монтажу та надійність електричних з’єднань. Крім того, використання третього класу точності дозволяє знизити вартість виготовлення плати без погіршення її функціональних характеристик

4.5 Розрахунок діаметру отворів і контактних площадок

Для створення бібліотеки елементів необхідно чітко визначитися з корпусами елементної бази, прорахувати розміри монтажних отворів та розміри контактних майданчиків.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$D_k = D_v + 0{,}3 \tag{4.1}$$

де Dk — розміри контактних майданчиків; Dv — розміри виводів.

Розрахуємо діаметри отворів для вивідних елементів за формулою:

$$D_o = D_v + 0{,}2 \tag{4.2}$$

де Do — розміри отворів для вивідних елементів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + \frac{2}{3} D_o \quad (4.3)$$

Отримані в результаті розрахунків значення контактних майданчиків використовуються для коректного проєктування друкованої плати та забезпечення надійного монтажу елементів. Отримані значення наведено в табл. 4.1. — Розміри для елементів поверхневого і вивідного монтажу

Таблиця 4.1

Розміри для елементів поверхневого і вивідного монтажу

Назва елемента	Dv, мм	Dk, мм	Do, мм
s-m4677(TLE4678-2)	0,6x0,9	4x4	-
msd101	0,6x0,9	0,8x3,1	-
hdf6956(B39901-B3772-Z810)	0,6x0,9	4x4	-
Резистор 0805	0,7x1,3	0,7x1,9	-
Конденсатор 0805	0,7x1,3	0,7x1,9	-
Котушки індуктивності	0,7x1,3	0,7x1,9	-
LM358	0,6x0,9	5x5	-
Акумулятор 5 В	-	-	1,2
A1G0955	0,6x0,9	0,7x1,3	-

Мінімальна ширина провідників і величина зазорів — основні фактори, що впливають на трасувальні властивості друкованої плати.

4.6 Робота в редакторі Altium PCB

В редакторі - Altium PCB створюємо попередній вигляд друкованої плати, проводимо аналіз та дослідження з розташування. Розміщуємо елементну базу на платі, знаходимо максимально ефективне положення для можливості подальшої модернізації, а також проводимо трасування.

4.6.1 Визначення габаритів друкованої плати, параметрів друкованого монтажу

Для визначення площі плати потрібно першочергово розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів кожної сторони. Тому розраховуємо площину усіх елементів.

Площа розраховується за формулою:

$$S = \sum WLkn \tag{4.4}$$

де W – ширина елемента, L – довжина елемента, k — коефіцієнт що залежить від розміру елемента, n – кількість елементів.

Таблиця 4.2

Мінімальна необхідна площа плати

Елемент	Розміри, мм		Площа одного, мм	Коефіцієнт	Кількість	Загальна площа, мм
	W	L				
s-m4677 (TLE4678-2)	4	4	16	2	1	32
msd101	0,7	3,1	2,17	2	1	2,17
hdf6956	4	4	16	2	2	32
LM358	5	5	25	2	1	25
A1G0955	4	4	16	2	2	32
Резистори	0,7	1,9	1,33	1	35	46,55
Конденсатори	0,7	1,9	1,33	1	34	45,22
Котушки індуктивності	0,7	1,9	1,33	1	8	10,64
Загальна площа						225,58

З рис 4.1 отримаємо, що мінімальна необхідна площа плати — 226 мм2. Так як для трасування доріжок, які не будуть пересікатися та дотикатись, потрібно набагато більше місця, обрано оптимальну площу плати — 6432 мм2.

4.6.2 Розрахунок параметрів друкованих провідників

Для розрахунку ширини друкованих провідників необхідно знати який максимальний струм та напруга проходять через силові та сигнальні ланцюги. Аналізуючи завдання - отримуємо, що за умови живлення від 5 В розрахунок потрібно проводити лише для силових провідників. Максимальний струм в силових провідниках дорівнює 0,7 А.

Проведемо розрахунки мінімальної ширини друкованих провідників у вузькому та широкому місці за допомогою формули:

$$t_1 = t_{min}DS + |\Delta \text{тноS}| \tag{4.5}$$

де tminDS – мінімальне значення ширини друкованого провідника; ΔtnoS – допуск на ширину провідника.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм: 0,3 мм.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм: 0,55 мм.

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому розрахуємо за формулою:

$$t_2 = \frac{lmax_p}{h_p j_p} = 0{,}675 \text{ мм} \tag{4.6}$$

де Imaxp – максимальний струм; hp – товщина фольги; jp – допустима щільність струму в провіднику.

Розрахована ширина для силового провідника: 0,8мм.

Найменшу номінальну відстань Smin між елементами провідникового рисунку (між двома провідниками) розрахуємо за формулою:

$$S_{min} = S_m + \Delta tbo = 0{,}57 \text{ мм} \quad (4.7)$$

де Sm – мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами;

Δtbo – допуск на ширину провідника;

4.6.3 Трасування провідників

Знайшовши та обґрунтувавши параметри друкованого монтажу, в програмному забезпеченні Altium Designer 20, було розроблено друковану плату для БПЛА мережевого зв’язку. Результат трасування провідників зображено на рисунках 4.2 і 4.3 у нижньому та верхньому шарі.

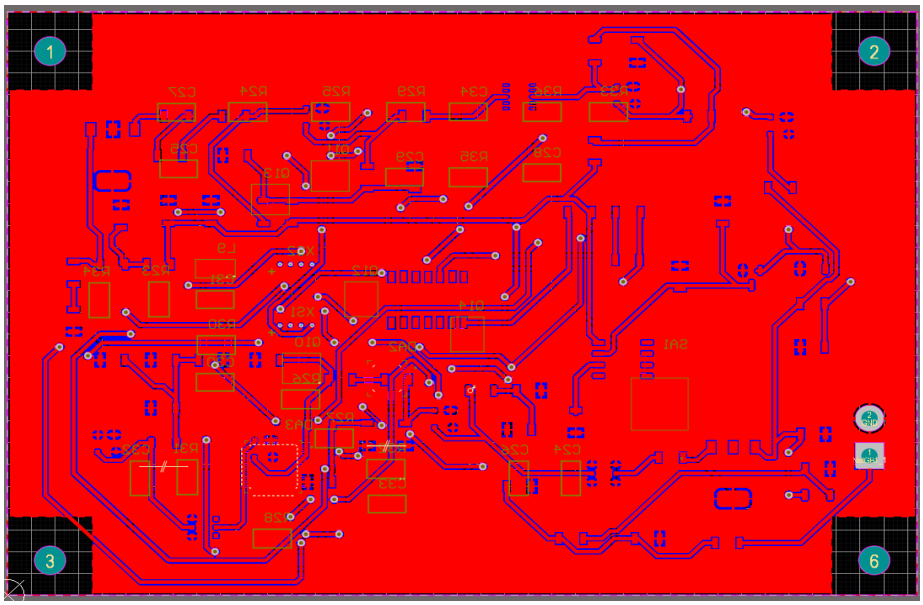


Рисунок 4.2 Трасування у верхньому шарі

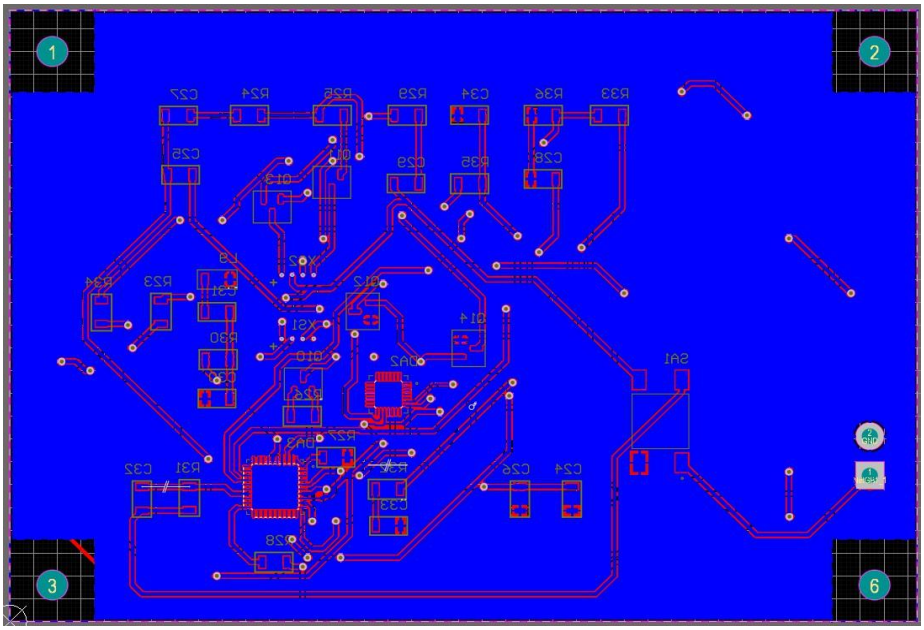


Рисунок 4.3 Трасування у нижньому шарі

Під час трасування провідників особливу увагу було приділено дотриманню правил проєктування друкованих плат для високочастотних та чутливих до завад електронних систем. Основні сигнальні лінії прокладалися з мінімально можливою довжиною та кількістю поворотів, що дозволяє зменшити паразитні індуктивності та ємності, а також покращити цілісність сигналу. Для ланцюгів живлення використовувалися провідники збільшеної ширини з метою зниження падіння напруги та забезпечення стабільної роботи телекомунікаційного обладнання.

При розміщенні провідників у різних шарах друкованої плати враховувалися вимоги до електромагнітної сумісності. Провідники верхнього та нижнього шарів орієнтувалися переважно перпендикулярно один до одного, що сприяє зменшенню взаємного наведення та перехресних завад. Також було мінімізовано перетин сигнальних ліній з лініями живлення, що є важливим для зменшення рівня шумів у системі.

Окрему увагу приділено формуванню спільної заземлювальної площини, яка забезпечує стабільний опорний потенціал для всіх функціональних блоків плати. Наявність суцільного шару заземлення дозволяє покращити електромагнітні характеристики плати та підвищити надійність роботи системи в умовах змінних

навантажень. Таким чином, виконане трасування провідників відповідає вимогам до друкованих плат телекомунікаційного призначення та забезпечує коректну роботу розробленого пристрою у складі БПЛА мережевого зв’язку.

5. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ

5.1 Розробка корпусу

Корпус безпілотного літального апарата був розроблений у програмному середовищі тривимірного проєктування SolidWorks 2018, що дозволяє точно врахувати геометричні параметри електронних компонентів, особливості їх розміщення, а також забезпечити необхідну міцність і аеродинамічні властивості конструкції. Основним призначенням корпусу є розміщення друкованої плати, силових елементів, акумуляторної батареї та допоміжних компонентів системи мережевого зв’язку.

Під час проєктування корпусу особлива увага приділялася модульності конструкції та можливості швидкого доступу до внутрішніх елементів. Для цього було обрано трисекційну компоновку корпусу, яка за принципом збирання нагадує конструктор типу «lego». Такий підхід значно спрощує процес монтажу, обслуговування та подальшої модернізації пристрою.

Тіло дрона складається з трьох основних частин (рис. 5.1):

нижньої основи;

центральної несучої частини;

верхньої кришки;

Верхня кришка є знімною та фіксується за допомогою гвинтових з’єднань, що забезпечує надійне кріплення та водночас дозволяє швидко отримати доступ до внутрішнього простору корпусу. У внутрішній частині кришки передбачено паз глибиною 10 мм, у якому розміщені чотири опорні бортики.

Саме на ці бортики встановлюється друкована плата системи, яка додатково фіксується гвинтами довжиною 6 мм. Таке рішення забезпечує жорстке кріплення плати та запобігає її зміщенню під час вібрацій, що виникають у процесі польоту. Одночасно з цим під платою залишається вільний простір, необхідний для розміщення вивідних елементів, зокрема кнопки керування та з’єднувальних провідників.

Для кнопки керування у верхній частині корпусу передбачено окремий виріз, що дозволяє здійснювати керування пристроєм без необхідності розбирання корпусу. Таке конструктивне рішення підвищує зручність експлуатації та сприяє оперативному використанню дрона в польових умовах.

Усі елементи корпусу спроєктовані з урахуванням можливості виготовлення методом 3D-друку. Обраний підхід дозволяє швидко вносити конструктивні зміни, адаптувати корпус під інші електронні компоненти та експериментувати з формою і внутрішнім компонуванням. Саме 3D-друк забезпечує високу варіативність конструкції та мінімізує витрати на створення прототипів.

Загальний вигляд квадрокоптера мережевого зв’язку показаний на рис. 5.2. Конструкція корпусу забезпечує достатню продувність внутрішнього об’єму, що сприяє природному охолодженню електронних компонентів під час роботи. Це є важливим фактором для підвищення надійності системи та стабільності її функціонування.

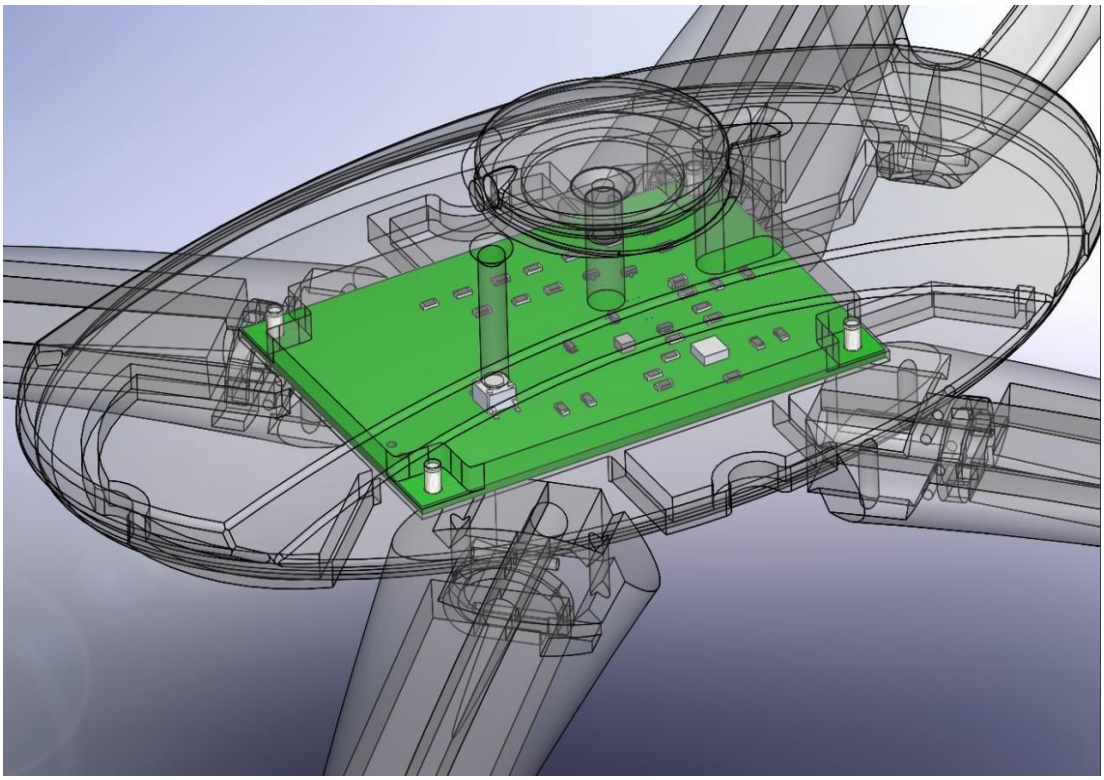


Рисунок 5.1 Вигляд плати і кріплення в програмі Solidworks 2018

Загальний вигляд квадрокоптера мережевого зв’язку показаний на рис. 5.2

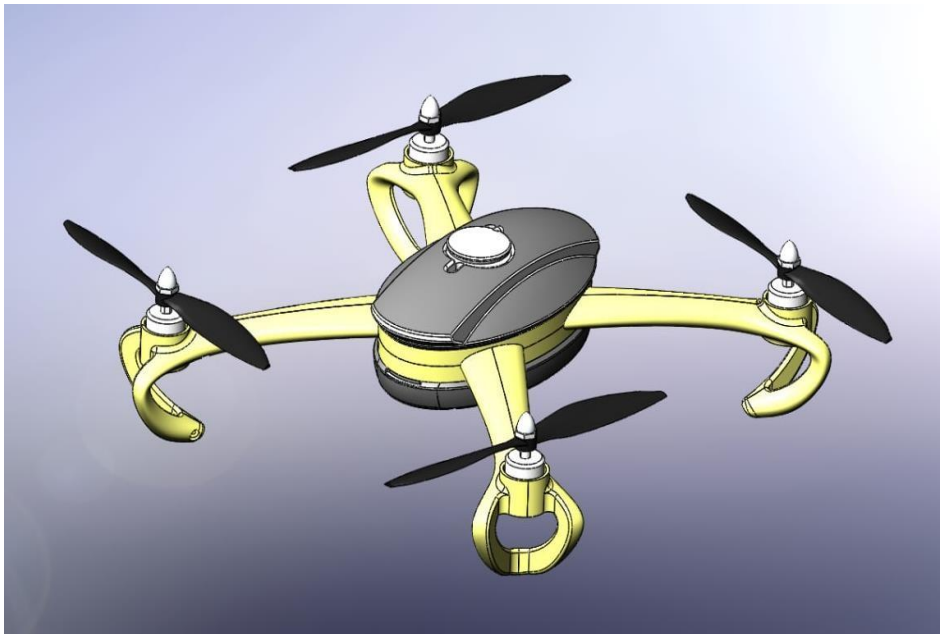


Рисунок 5.2 Загальний вигляд квадрокоптера мережевого зв’язку

Для виготовлення корпусу попередньо обрано ABS-пластик, який поєднує в собі низьку масу, достатню механічну міцність та стійкість до температурних впливів. Даний матеріал добре підходить для використання в безпілотних літальних апаратах, оскільки забезпечує баланс між міцністю конструкції та загальною масою дрона.

За результатами попереднього компонування в корпусі передбачено наявність вільного внутрішнього простору, що створює можливості для подальшої модернізації системи. Зокрема, у майбутньому можливе встановлення додаткового акумулятора, заміна основної друкованої плати на іншу модель або зміна конфігурації внутрішніх компонентів. Такий підхід дозволяє адаптувати дрон під нові задачі без необхідності повного перепроєктування корпусу.

Отже, розроблений корпус відповідає вимогам ергономічності, модульності та технологічності, а також забезпечує необхідні умови для стабільної роботи електронної частини квадрокоптера мережевого зв’язку.

5.2 Компонування електронних модулів

Компонування електронних модулів у корпусі квадрокоптера мережевого зв’язку є важливим етапом проєктування приладу, оскільки безпосередньо впливає на надійність роботи системи, зручність обслуговування та ефективність використання внутрішнього об’єму корпусу. При розробці компонування було враховано особливості експлуатації безпілотного літального апарата, а також функціональне призначення кожного електронного модуля.

Центральним елементом системи є друкована плата з мікроконтролерами, модулями бездротового зв’язку та елементами живлення. Плата розміщується в середній частині корпусу, що забезпечує оптимальний розподіл маси та зменшує вплив інерційних навантажень під час маневрування дрона. Таке розташування також сприяє зниженню вібраційного впливу на чутливі електронні компоненти.

Модулі бездротового зв’язку та антени розташовані з урахуванням вимог до поширення радіосигналу. Внутрішня антена встановлюється таким чином, щоб мінімізувати екранування сигналу елементами корпусу та електронними компонентами. Зовнішня антена виводиться за межі основного об’єму корпусу, що дозволяє покращити якість прийому та передачі сигналу, а також зменшити рівень взаємних завад.

Акумуляторна батарея розміщується в нижній частині корпусу, що знижує центр мас квадрокоптера та підвищує його стійкість у польоті. Таке компонування сприяє стабільному утриманню позиції, особливо при використанні дрона як тимчасового ретранслятора мобільного сигналу. Крім того, нижнє розташування акумулятора полегшує доступ до нього для заміни або обслуговування.

Силові елементи та ланцюги живлення розташовані окремо від сигнальних ліній, що дозволяє зменшити рівень електромагнітних завад та взаємного впливу між модулями. Такий підхід є особливо важливим для систем, що працюють з радіочастотними сигналами, оскільки стабільність живлення безпосередньо впливає на якість зв’язку.

При компонуванні також було враховано зручність монтажу та можливість

подальшої модернізації системи. Конструкція корпусу дозволяє легко знімати верхню кришку та отримувати доступ до друкованої плати і електронних модулів без демонтажу інших елементів. Це створює умови для експериментів з іншими компонентами, оновлення програмного забезпечення або встановлення додаткових модулів.

Таким чином, обране компонування електронних модулів забезпечує оптимальне поєднання компактності, функціональності та надійності конструкції квадрокоптера мережевого зв’язку. Запропоноване рішення відповідає вимогам до прототипу та створює основу для подальшого розвитку системи в напрямку підвищення ефективності та масштабування.

Додатково при компонуванні електронних модулів враховано необхідність мінімізації довжини з’єднувальних провідників між основними функціональними блоками системи. Скорочення довжин сигнальних та силових ліній дозволяє зменшити втрати напруги, знизити рівень наведень та підвищити загальну електромагнітну сумісність пристрою.

Розташування модулів також сприяє ефективному теплообміну між елементами системи та внутрішнім об’ємом корпусу, що узгоджується з рішеннями, прийнятими у підрозділі, присвяченому охолодженню. Такий комплексний підхід до компонування дозволяє забезпечити стабільну роботу БПЛА в режимі тривалого зависання та виконання функцій ретрансляції сигналу.

Таким чином, компонування електронних модулів розглядається не лише як конструктивне рішення, а як складова загальної системної оптимізації безпілотного літального апарата мережевого зв’язку.

5.3 Особливості охолодження та віброізоляції

Під час експлуатації безпілотного літального апарата значний вплив на стабільність роботи електронних компонентів мають теплові режими та механічні вібрації, що виникають у процесі польоту. У зв’язку з цим при проєктуванні конструкції квадрокоптера мережевого зв’язку окрему увагу приділено питанням

охолодження та віброізоляції елементів системи.

Основними джерелами тепловиділення в апараті є мікроконтролери, модулі бездротового зв’язку, стабілізатори напруги, а також елементи силового живлення. Підвищення температури цих компонентів може призвести до зниження ефективності їх роботи, нестабільності передавання сигналу або навіть до відмови системи. Тому в конструкції корпусу було передбачено пасивне охолодження, що реалізується за рахунок природної циркуляції повітря.

Форма корпусу та внутрішнє компонування елементів забезпечують наявність повітряних каналів, які сприяють відведенню тепла від друкованої плати та активних компонентів. Додатково враховано продувність корпусу під час польоту, оскільки рух дрона створює потік повітря, який підсилює ефект пасивного охолодження без використання додаткових вентиляторів. Такий підхід дозволяє зменшити енергоспоживання та підвищити загальну надійність системи.

Окрім теплових факторів, важливим аспектом є вібраційні навантаження, що виникають внаслідок роботи електродвигунів, обертання пропелерів та аеродинамічних впливів. Вібрації можуть негативно впливати на точність роботи датчиків, стабільність мікроконтролерів і якість радіозв’язку, особливо при тривалому перебуванні дрона в повітрі.

Для зменшення впливу вібрацій у конструкції передбачено жорстке, але ізольоване кріплення друкованої плати. Плата встановлюється на внутрішні бортики корпусу з використанням гвинтового з’єднання, що забезпечує фіксацію положення та знижує ризик механічних зсувів. При необхідності конструкція допускає використання демпфуючих прокладок або гумових вставок між платою та корпусом, що додатково зменшує передачу вібрацій.

Розміщення акумуляторної батареї та силових елементів також виконано з урахуванням балансування маси дрона. Це дозволяє зменшити паразитні коливання корпусу та покращити стабільність польоту, що позитивно впливає як на механічну частину, так і на роботу електронних модулів.

Таким чином, реалізовані в конструкції заходи з охолодження та віброізоляції забезпечують стабільну роботу електронного модуля квадрокоптера

мережевого зв’язку в умовах реальної експлуатації. Обрані рішення не потребують ускладнення конструкції або збільшення енергоспоживання, що є важливим для прототипу та подальшого розвитку системи.

Запропоновані конструктивні рішення з охолодження та віброізоляції є достатніми для забезпечення стабільної роботи системи в умовах короткотривалих та середньотривалих польотів, що характерно для задач динамічного розширення мобільного покриття. У разі подальшого розвитку або масштабування системи передбачається можливість впровадження додаткових заходів, зокрема використання тепловідвідних елементів або покращених демпфуючих матеріалів, без суттєвих змін базової конструкції корпусу.

Таким чином, обраний підхід до організації охолодження та віброізоляції відповідає вимогам прототипного зразка, забезпечує баланс між надійністю, енергоефективністю та простотою реалізації, а також створює резерв для подальшого вдосконалення системи.

6. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

6.1 Інтеграція БПЛА в інфраструктуру мобільних мереж

У сучасних мережах 4G/5G/6G дрони можуть виконувати ролі як звичайних користувацьких пристроїв, так і пересувних базових станцій. У разі застосування БПЛА як літаючої станції на них розміщують обладнання базової станції (наприклад, gNodeB 5G або eNodeB 4G), яке підключається до наземної мережі через радіозв'язок або супутниковий канал. Архітектурно можливе розмежування на дрони-бекхоулл, що з'єднують мережу з наземними вузлами, і дрони-доступні точки, що обслуговують користувачів. При цьому важливо, що на рівні 5G/6G мережі БПЛА розглядаються як мережеві елементи: за стандартом 3GPP дрони можуть функціонувати як UE або як частина RAN (імплементуючи сервіси gNodeB для користувачів). Такий підхід дозволяє бездротово розширювати мережу, використовуючи дрони для тимчасового підключення віддалених територій або пікових навантажень.

За рахунок БПЛА мережа може динамічно регулювати параметри якості обслуговування. Дрони створюють резервний канал зв'язку, який може істотно підвищити пропускну здатність у перевантажених зонах та забезпечити низьку затримку. Наприклад, на розігрітій подією території (масовий захід або спортивне свято) швидке розгортання БПЛА-базових станцій забезпечує понад 90–100 Мбіт/с швидкості мережі під час максимального навантажження, а саме - змагань. Пряма видимість від БПЛА до користувача дозволяє більш надійно забезпечити високі швидкості передачі даних (завдяки LOS-каналу) і тримати високу якість зв'язку. При цьому застосовується конфігурація мережі, що гарантує вимоги 5G (напр., URLLC, eMBB) через спеціалізовані механізми планування ресурсів і мережеві слайси. Також використовується передбачуване розподілення навантаження на канали, що дозволяє за необхідності пріоритезувати голосовий та відеотрафік критичних служб. Наприклад, у разі стихійних лих та рятувальних операцій

застосовують спеціальні слайси (PPDR) з підвищеним захистом і мінімальною затримкою. Таким чином, аналітичні моделі підтверджують: стратегічне позиціювання БПЛА (висота, кількість) дозволяє оптимізувати час передачі та ймовірність доставки пакета, тим самим покращуючи показники QoS мережі.

6.2 Головні недоліки БПЛА систем в інфраструктурі мобільних мереж

БПЛА зазвичай живляться від акумуляторів обмеженої ємності, тому енергоспоживання – критичний фактор їх роботи. Як було зазначено, малий мультикоптер може літати лише ~10–15 хвилин, тоді як більші дрони у формі літака – до 90 хвилин на одному заряді. Це визначає необхідність оптимального планування польоту та передачі даних. Енергетичні витрати дрона складаються із витрат на підйомну силу (мотори) та на передавачі/обладнання. Установлено, що кожне збільшення радіомодулю (потужніше передавач чи додаткові антени) прямо зменшує час польоту. Тому в практиці розробки зводять до мінімуму передатну потужність, достатню для покриття, і впроваджують енергозберігаючі алгоритми. Наприклад, цільовими є алгоритми оптимізації розташування (щоб забезпечити максимальне покриття з найменшим споживанням) та обмеження передавальної потужності для компенсації інтерференції. Деякі підходи використовують підвісні системи живлення (tethering) або сонячні панелі для безперервного живлення, але це знижує мобільність. В сучасних 5G/6G дослідженнях розглядають гібридні стратегії: наприклад, алгоритм спільної оптимізації траєкторії польоту і плану передачі даних для мінімізації сумарного енергоспоживання при дотриманні високої ефективності. Таким чином, аналітика показує: зменшення потужності передавача та оптимізація розміщення дронів – ефективні методи продовження їхнього часу роботи без істотного погіршення сервісу.

Головна проблема, це – інтерференція. Через висоту польоту БПЛА має прямі лінії зв’язку з кількома базовими станціями одночасно. Наприклад, при передачі даних дрон отримує від сусідніх станцій сильні сигнали, а його власний сигнал розсіюється по сусідніх осередках, що знижує SINR наземних користувачів.

Дослідження показують, що присутність UAV може значно знижувати пропускну здатність наземних користувачів через інтерференційне гасіння. Для зменшення цього застосовують різні заходи:

управління потужністю передачі дронів (зниження до мінімально необхідного);

використання спрямованих антен (щоб спрямувати сигнал в конкретну ділянку; мінімізуючи «розлив» в інших кластерах);

а також планування висоти польоту;

Наприклад, оптимальна висота дрону підбирається так, щоб збалансувати площу покриття та рівень перешкод (у населених районах дрони можуть літати нижче, щоб не створювати зайву перешкоду). У теоретичних моделях використовують простори із взаємним рознесенням (Matérn process) для розташування БПЛА з урахуванням мінімальної безпечної відстані між ними, щоб уникнути взаємної інтерференції. Завдяки цим підходам досягають того, що мережева система з БПЛА може залишатися стабільною: перевірено, що навіть при збільшенні кількості дронів покриття мережі зростає, хоча на надто велику густину слід накладати обмеження через інтерференцію.

6.3 Сценарії використання БПЛА

Практичні сценарії застосування БПЛА у мережах різноманітні. По-перше, масові заходи та спортивні події: там, де необхідно тимчасово посилити покриття або забезпечити зв’язок у віддаленому регіоні (наприклад, гірська місцевість). Так, на світовому прикладі дрони забезпечують покриття на кросовій трасі під час лижних змагань, надавши сотням учасників швидкість до 95 Мбіт/с.

По-друге, стихійні лиха і надзвичайні ситуації: коли наземні бази пошкоджені (напр., при землетрусі чи урагані) і зв’язок перервано, БПЛА швидко відновлюють комунікації. Під час землетрусу в Японії, понад 400 базових станцій вийшли з ладу, і дослідники наголошують, що в таких випадках необхідно відновлювати зв’язок з допомогою швидкорозгортних мереж.

По-третє, важкодоступні регіони (гори, ліси): у захищених зонах або гірських районах, де заборонено прокладати наземну інфраструктуру, дрони забезпечують стійкий зв’язок без постійних об’єктів. Також виділяють випадки оффлоадингу трафіку: якщо ділянка мережі короткочасно перевантажена, дрони можуть перенаправити частину користувачів, діючи як додаткові канали. Класифікуються і військові чи наукові застосування – наприклад, розвідка чи контроль за дроном, при якому мережі Інтернет речей отримують дані з віддалених сенсорів за допомогою безпілотників. Усі ці сценарії підтверджують: БПЛА дають можливість швидко та гнучко розгорнути покриття там, де це потрібно, без значних капіталовкладень у фізичну інфраструктуру.

Дослідження в моєї роботі показують, що використання БПЛА здатне суттєво покращити покриття та пропускну здатність мережі. Так, було встановлено, що завдяки високому розташуванню дронів відстань до користувачів зменшується, а доля LOS-каналів збільшується, що призводить до зростання покриття площі. Наприклад, моделі покриття показують, що підняття дрона на більшу висоту збільшує ймовірність того, що користувачі отримають необхідну швидкість сигналу. Одночасно оптимізована кількість дронів дозволяє закрити практично всі «білі плями» у зоні – зберігаючи при цьому допустимий рівень інтерференції. Ще одним аргументом є оцінка продуктивності: у роботі з використанням стохастичної геометрії показано, що з правильною конфігурацією мережі сумарна пропускна здатність з БПЛА може сягати ~86% від рівня традиційних стаціонарних базових станцій за умови, що густина дронів – лише половина густини наземних станцій. Це свідчить, що невелика група дронів здатна заміщувати доволі ефективну частину мережі, особливо у пікові моменти.

Крім того, 3GPP та дослідницьке співтовариство звертають увагу на потребу в таких системах: запровадження дронів розглядають як рішення для вирішення проблеми «пік на навантаженні» та для відновлення роботи мережі при форс-мажорах. На рівні перспектив розробляються методи для наступних поколінь мереж: вже є пропозиції щодо оптимального розгортання БПЛА у 6G-мережах, де БПЛА виступатимуть додатковими 3D-базовими станціями в умовах гігантських

потоків даних. Отже, сукупна оцінка показників QoS, покриття та надійності переконує, що БПЛА є виправданим і перспективним інструментом для динамічного розширення покриття в 4G/5G/6G: вони дозволяють підсилити мережу «на вимогу» в складних умовах та сприяють стійкості послуг при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано область досліджень, розглянуто призначення, область застосувань види безпілотних літальних апаратів їх переваги та недоліки, було досліджено законодавчу базу, що регулює БПЛА, а також побудовані перспективи розвитку систем БПЛА на наступні 10 років.

Розроблено блок схему даного БПЛА, проаналізований матеріал виготовляння дрону, кожна деталь та плата, створена принципова схема для даної блок схеми.

Проаналізовано існуючі схематичні рішення. Обрано та обґрунтовано елементну базу.

Проаналізовано та визначено функціонал приладу, Виконане тривимірне моделювання в програмі Solidworks 2020, зроблено опис конструкції.

За допомоги цього ергономічного, екологічно чистого та потужного дрону, можна не тільки покращити наше сьогодення, а й врятувати життя.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Державна авіаційна служба України. Правила використання повітряного простору України для безпілотних літальних апаратів. URL: https://avia.gov.ua Дата звернення: 12.10.2025.
2. Міністерство цифрової трансформації України. Розвиток телекомунікаційної інфраструктури в Україні. URL: https://thedigital.gov.ua Дата звернення: 12.10.2025.
3. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері електронних комунікацій (НКЕК). Нормативні документи у сфері мобільного зв’язку. URL: https://nkrzi.gov.ua Дата звернення: 16.10.2025.
4. Державне підприємство «Український державний центр радіочастот». Використання радіочастотного ресурсу України. URL: https://udcr.gov.ua Дата звернення: 17.10.2025.
5. International Telecommunication Union. Радіозв’язок та моделювання покриття бездротових мереж. URL: https://www.itu.int Дата звернення: 24.12.2025.
6. 3GPP. Технічні специфікації стандартів LTE та 5G. URL: https://www.3gpp.org Дата звернення: 18.10.2025.
7. IEEE Xplore Digital Library. Наукові публікації з використання БПЛА в телекомунікаціях. URL: https://ieeexplore.ieee.org Дата звернення: 23.10.2025.
8. EASA. Нормативні вимоги до експлуатації безпілотних літальних апаратів. URL: https://www.easa.europa.eu Дата звернення: 23.10.2025.
9. DJI Enterprise. Технічні характеристики та архітектура безпілотних платформ. URL: https://enterprise.dji.com Дата звернення: 26.10.2025.
10. Pixhawk Project. Архітектура автопілотів для безпілотних систем. URL: https://pixhawk.org Дата звернення: 02.11.2025.
11. Microchip Technology Inc. Документація на мікроконтролери та модулі зв’язку. URL: https://www.microchip.com Дата звернення: 02.11.2025.
12. Texas Instruments. Системи живлення для вбудованих електронних пристроїв.

URL: https://www.ti.com Дата звернення: 07.11.2025.
13. Altium Limited. Проєктування друкованих плат та правила трасування. URL: https://www.altium.com Дата звернення: 07.11.2025.
14. SolidWorks Corporation. Засоби тривимірного моделювання електронних корпусів. URL: https://www.solidworks.com Дата звернення: 11.11.2025.
15. Баланіс К. Теорія антен. Аналіз та проєктування антенних систем. John Wiley & Sons. URL: https://www.wiley.com Дата звернення: 11.12.2025.
16. Раппапорт Т. Бездротові комунікації: принципи та практика. Pearson Education. URL: https://www.pearson.com Дата звернення: 23.11.2025.
17. Хабр Україна. Огляд застосування дронів у телекомунікаціях. URL: https://habr.com/ua Дата звернення: 23.11.2025.
18. Наукова бібліотека НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Матеріали з проєктування БПЛА. URL: https://library.kpi.ua Дата звернення: 12.12.2025.
19. ResearchGate. Дослідження щодо ретрансляції сигналів за допомогою БПЛА. URL: https://www.researchgate.net Дата звернення: 16.12.2025.
20. Electronics Tutorials. Основи проєктування електронних схем та плат. URL: https://www.electronics-tutorials.ws Дата звернення: 19.12.2025.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Актуальність :

Актуальність даного проекту буде зростати з геометричною прогресією, оскільки БПЛА вже показали на скільки вони ефективні в будь якій сфері використання.

Особливо це стосується сфері Телекомунікацій. Будь це розширення покриття мобільної мерёж в екстренних ситуаціях аьо просто покращення сигналу в місяціях з поганим зв'язком. Оскільки навіть зараз не на всій території України та областях країн Світу проведений якісний мобільний зв'язок.

І в тих самих точках потрібен цей проєкт, який допоможе вирішити проблему з низькою якістю звя'зку.

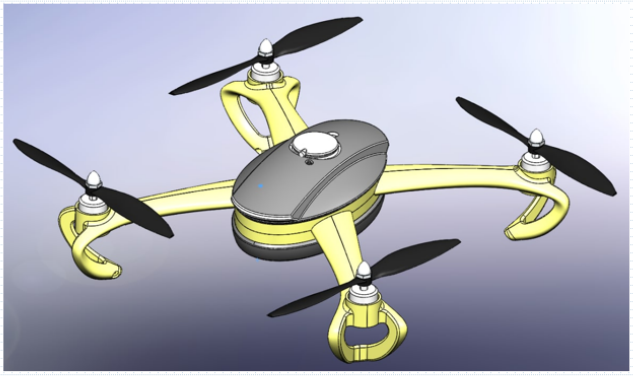


Рис. 6

Мета та задачі

Мета: Розглянути аналоги та спроектувати безпілотний літальний апарат, за допомогою якого можна буде не тільки демонструвати знімки хорошої якості, робити політ по тачках та утримання висоти, а ще й динамічно розширювати покриття мобільних мереж у зонах недостатнього Або відсутнього зв'язку.



Задачі:

- Провести аналіз ринку;
- Проаналізувати технічне завдання;
- Розробити електронний модуль;
- Спроектувати корпус пристрою;
- Проаналізувати працездатність системи;

Рис. 7

Існуючі види квадрокоптерів



1



2



3

4

Найпоширеніші характеристики:

— Дальніть польту;
— Стабілізація полюту;
— Тривалість польоту;
— Якість зйомки;
— Утримання висоти;
— Авто повернення в точку зльоту;
— Політ по точках



5



6

Рис. 8

Головна характеристики БПЛА

Характеристика	«DJI Mavic 2 Fly»	«Itec Skif»	«Xiro XPLORER V»	«DJL Phantom 4 RTK»	«Sonin Hybrid»	«DJL Spark»
Ціль	Безпека	Аграрій	Стабілізація і якісна зйомка	Будівництво-розмір будинку	Безпека людини і природи	Стабілізація, якісна зйомка
Дальність польоту	Вулиця, до 18 км	1500 гектарів за виліт	120 м	4,2 км	10 км	100 м
Час польоту	31 хв	2 год	25	30 хв	3 год	12-16 хв
Вага, кг	18,5	3,6	1,3	4,2	3,6	0,3
Акумулятор мА*ч	3850	7500	5200	5870	7500	1480
Ціна,грн	7500	30000-150000	9000-17000	60000-300000	70000-500000	11000-25000
Країна-виробник	Китай	Україна	Китай	Китай	Америка	Китай
Репітер	-	-	-	-	-	-

Рис. 9

Принцип роботи БПЛА для розширення мобільного покриття

Принцип роботи системи:

- Безпілотний літальний апарат використовується як тимчасовий мережевий ретранслятор;

- БПЛА приймає ослаблений сигнал мобільної Або I-Fi мерёж;

- Отжиманий сигнал Отжиманий бортовым электронным модулем;

- Подселении сигнал повторно передаться в зон відсутнього Або нестабільного зв'язку;

- Керування польотом, утримання висоти та стабілізація здійснюються в автоматичному режимі;

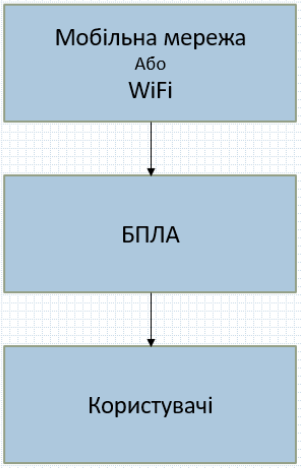


Рис. 10

Функціональні можливості розробленого БПЛА

Функціональні можливості БПЛА:

- Стабілізація польоту та утримання заданої висоти;

- Автоматичний політ і можливість зависання в заданій точці;

- Прийом, підсилення та ретрансляція мережевого сигналу;

- Забезпечення зв'язку в зонах слабкого Або відсутнього покриття;

- Можливість подальшої автоматизації та масштабування системи;

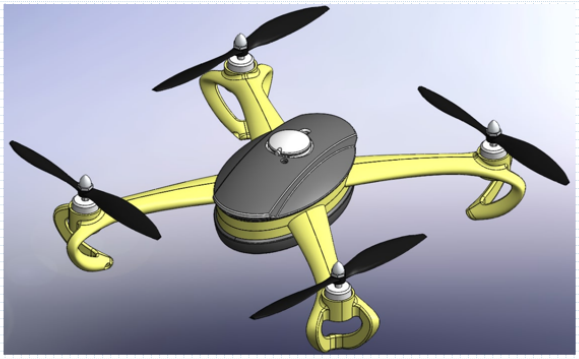


Рис. 11

Елементна база

Основні критерії вибору:

— Середня ціна;

— Доступність на українському ринку;

— Легко замінні елементи;

— Простота в модефікації;

— Не порушує законодавство України;

— Відповідність до ТЗ



Польотний контролер



Телеметрія



Електродвигун



Регулятор обертів двигунів



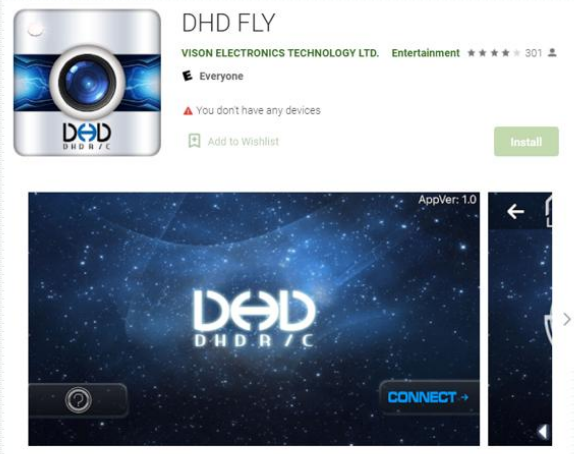
Електродвигун

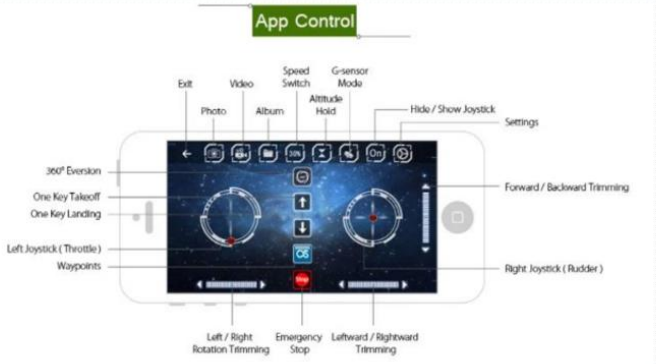


Репітер

Рис. 12

Елемантна база





Додаток для запуску квадрокоптера

Рис. 13

Розробка друкованої плати електронного модуля

Результат аналізу з точки зору технолога:

— Розроблено друковану плату електронного модуля БПЛА;

— Плата забезпечує роботу модуля підсилення та керування;

— Враховано вимоги до габаритів і розміщення в корпусі дрона;

— Рішення придатне для подальшої модернізації;

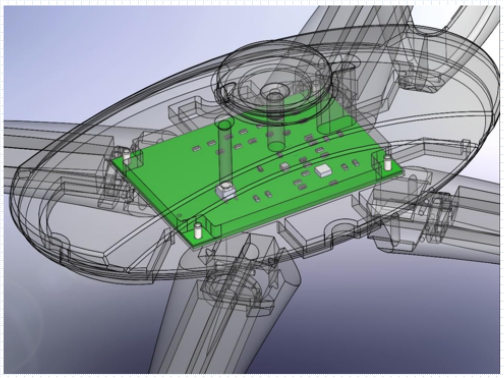
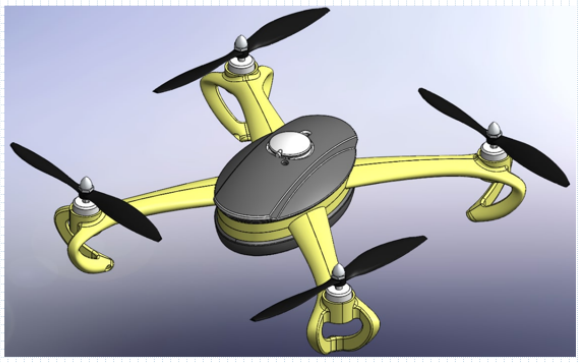
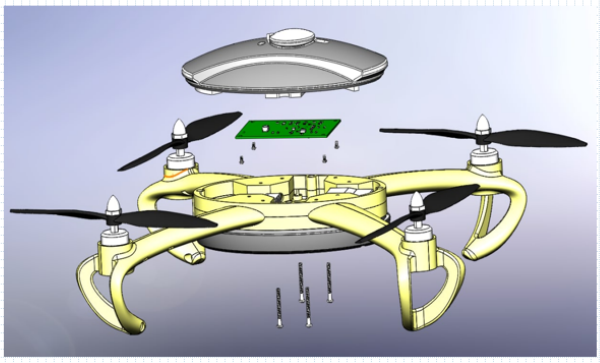


Рис. 14

Загальний вигляд пристрою





Габаритні розміри 505,4 х 505,4 х 135,7 мм^2

Рис. 15

Висновки:

1. Проведено аналіз ринку БПЛА та існуючих рішень у сфері телекомунікацій. Визначено основні вимоги та технічні характеристики пристрою, для реалізації функції динамічного розширення мобільного покриття.

2. Розроблено структурну схему безпілотного літального апарата та проаналізовано матеріали, що використовуються для виготовлення корпусу дрона, з урахуванням вимог до маси, міцності та можливості подальшої модернізації.

3. Проаналізовано існуючі рішення побудови подібних систем. Обрано та обґрунтовано елементну базу електронного модуля, яка забезпечує виконання функцій керування польотом та ретрансляції сигналу.

4. Виконано тривимірне моделювання конструкції БПЛА в програмному середовищі SolidWorks, розроблено опис конструктивних елементів та способу розміщення електронної плати в корпусі.

5. Розроблений прилад відповідає вимогам технічного завдання та може бути використаний як прототип системи для тимчасового розширення покриття мобільних мереж у зонах зі слабким Або відсутнім зв’язком.

Рис. 16

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Євген ПАЙКОВ

Назва: ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО РОЗШИРЕННЯ ПОКРИТТЯ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Координатор: Катерина ДОМРАЧЕВА

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:20.1

Коефіцієнт подібності 2:12.1

Тривога: 5

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☐ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*