

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«СИСТЕМА БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ
ЕКСТРЕНИМИ СЛУЖБАМИ»**

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

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

(підпис)

Ліна ФАЙЧУК

Виконала: здобувачка вищої освіти групи КСДМ-61
Ліна ФАЙЧУК

Керівник: _____
Сергій КОРОТКОВ
доцент кафедри, PhD

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

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою Наталія ЛАЩЕВСЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Файчук Ліні Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система безпілотних апаратів для використання екстреними службами»

керівник кваліфікаційної роботи Сергій КОРОТКОВ, доцент кафедри, PhD,
затверджена наказом Державного університету інформаційно-
комунікаційних технологій від «15» жовтня 2024 р. №320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Сучасні безпілотні апаратні системи застосовуються в різних науково-технічних напрямках, використовуючи інновації в проектуванні для оптимізації ваги, аеродинамічної стійкості та витрат палива. Оснащені системами управління на основі автоматичного керування, кібернетики та алгоритмів ШІ, вони аналізують середовище і приймають рішення в реальному часі. Безпілотники забезпечують надійну передачу даних через радіозв'язок, супутникові канали та інші мережі, використовуючи сенсори (камери, радары, лідари) для збору й обробки інформації. Це дозволяє виконувати низку завдань, зокрема розпізнавання об'єктів, побудова карт, навігація.

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

1. Здійснити аналіз сучасних типів безпілотних апаратних систем.
2. Вивчити запити екстрених служб щодо швидкого збору даних, моніторингу та оперативного реагування.
3. Розробити рекомендації щодо інтеграції безпілотних систем у роботу екстрених служб та обґрунтувати їх ефективність.
4. Оцінити потенційні ризики та виклики.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «16» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	18.10-25.10.2024	Виконано
2	Обробка матеріалу	25.10-28.10.2024	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	28.10-04.11.2024	Виконано
4	Проектування	04.11-10.11.2024	Виконано
5	Розробка та застосування	10.11-25.11.2024	Виконано
6	Висновки за результатами аналізу	25.11-30.11.2024	Виконано
7	Розробка презентації	30.11-05.11.2024	Виконано
8	Передзахист	09.12-11.12.2024	Виконано
9	Здача в деканат	20.12-29.12.2024	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ліна ФАЙЧУК
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Сергій КОРОТКОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

«СИСТЕМА БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСТРЕНИМИ СЛУЖБАМИ»

Текстова частина магістерської роботи: 74 с., 36 рис., 5 табл., дод. А, 28 джерел.

Предмет дослідження – сучасні безпілотні апаратні системи та їх функціональні можливості для підтримки діяльності екстрених служб.

Об’єкт дослідження – процес використання безпілотних апаратних систем у діяльності екстрених служб.

Мета дослідження: розробити рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у роботу екстрених служб для підвищення оперативності та ефективності реагування на надзвичайні ситуації.

Завдання дослідження: здійснити аналіз сучасних типів безпілотних апаратних систем, використовуваних у різних сферах; вивчити запити екстрених служб щодо швидкого збору даних, моніторингу та оперативного реагування; оцінити можливості застосування безпілотних апаратних систем у діяльності екстрених служб на основі зарубіжного та вітчизняного досвіду; розробити рекомендації щодо інтеграції безпілотних систем у роботу екстрених служб та обґрунтувати їх ефективність; оцінити потенційні ризики та виклики, пов’язані з використанням безпілотних систем у надзвичайних ситуаціях, та запропонувати шляхи їх мінімізації.

Методи дослідження включають: аналіз літературних джерел та огляд сучасних технологій за критеріями (можливості, обмеження, технології і тенденції розвитку; порівняльний аналіз систем, що вже використовуються, задля їх переваг, недоліків, потенціалу для покращення; моделювання та симуляція, а саме використання програмного забезпечення для моделювання сценаріїв застосування безпілотних систем у різних умовах; експериментальні випробування (створення прототипу безпілотного апарату для польових випробувань, які можуть продемонструвати можливості системи у реальних умовах); аналіз ризиків та оцінка безпеки; метод математичного моделювання та аналіз продуктивності (розрахунок необхідної потужності, витрат енергії, часу, обсягу даних, що передаються в реальному часі).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: безпілотні апаратні системи; дрони для екстрених служб; безпека і порятунок; розробка безпілотних технологій; системи автономного керування; моніторинг та оцінка ризиків; технології дистанційного управління; інтеграція дронів у роботу служб реагування; аналіз ефективності дронів у кризових ситуаціях.

ABSTRACT

SYSTEM OF UNMANNED DEVICES FOR USE BY EMERGENCY SERVICES

Thesis content: 74 pages, 36 figures, 5 tables, appendices A, 28 references.

Research subject: Modern unmanned aerial systems and their functional capabilities to support emergency services.

Research object: The process of using unmanned aerial systems in the activities of emergency services.

Research objective: To develop recommendations for implementing unmanned aerial systems in emergency services to enhance the speed and effectiveness of response to emergencies.

Research tasks: to analyze current types of unmanned aerial systems used in various fields; to study the requirements of emergency services for rapid data collection, monitoring, and quick response; to assess the applicability of unmanned aerial systems in emergency services based on international and domestic experiences; to develop recommendations for integrating unmanned systems into emergency services and justify their effectiveness; to evaluate potential risks and challenges associated with using unmanned systems in emergencies and propose ways to minimize them.

Research methods include: literature review and an overview of modern technologies based on criteria such as capabilities, limitations, technology, and development trends; comparative analysis of systems currently in use to highlight their advantages, disadvantages, and potential for improvement; modeling and simulation, specifically the use of software to simulate scenarios involving unmanned systems in various conditions; experimental testing (creation of an unmanned aerial prototype for field testing to demonstrate system capabilities in real-world conditions); risk analysis and safety assessment; mathematical modeling methods and performance analysis (calculating required power, energy consumption, time, and data volume transmitted in real-time).

Keywords: unmanned aerial systems; drones for emergency services; safety and rescue; unmanned technology development; autonomous control systems; risk monitoring and assessment; remote control technologies; integration of drones into emergency response; effectiveness analysis of drones in crisis situations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ I БЕЗПІЛОТНІ АПАРАТНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ.....	9
1.1 Історія та еволюція безпілотних апаратів.....	9
1.2 Типи сучасних безпілотних апаратних систем.....	10
1.3 Сфери застосування сучасних безпілотних апаратних систем.....	12
1.4 Національна нормативно-правова база, що регулює питання використання БАС.....	13
РОЗДІЛ II МОЖЛИВОСТІ ТА ОБМЕЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ ЕКСТРЕНИМИ СЛУЖБАМИ.....	17
2.1 Основні напрями застосування безпілотних апаратних систем в екстрених службах.....	17
2.2 Переваги та недоліки використання БАС екстреними службами.....	18
2.3 Технічні вимоги та правові аспекти використання БАС.....	20
РОЗДІЛ III МЕТОДОЛОГІЯ ТА ЕТАПИ РОЗРОБКИ БЕЗПІЛОТНОЇ АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ.....	23
3.1 Збір та аналіз вимог до системи.....	23
3.2 Безпілотні літальні апаратні комплекси (дрон DJI та сфери його використання).....	44
3.3 Мультикоптер DJI Matrice 30T: технічні характеристики, сфери використання.....	54
РОЗДІЛ IV РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ У РОБОТУ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ...58	58
4.1 Розробка рекомендацій.....	58
4.2 Впровадження проєкту на основі розроблених рекомендацій.....	66
4.3 Монтаж БПЛА.....	71
ВИСНОВКИ.....	76
Перелік використаної літератури.....	80
ДОДАТОК А. Демонстраційні матеріали.....	82

ВСТУП

Останні десятиліття позначені стрімким розвитком безпілотних апаратних систем (БАС), що вносить зміни в діяльність різних галузей, включаючи рятувальні та екстрені служби. Оснащені інноваційними технологіями сучасні БАС дозволяють виконувати задачі в умовах високих ризиків, забезпечуючи оперативний моніторинг, розвідку та координацію дій у кризових ситуаціях.

Актуальність теми обумовлена зростаючою потребою в автоматизованих рішеннях, що здатні надавати реальну інформацію в режимі реального часу під час надзвичайних подій. У зв'язку з природними катастрофами, техногенними аваріями та іншими кризовими ситуаціями виникає необхідність швидкого реагування, відповідно безпілотні апарати можуть виконувати важливі функції в таких випадках.

Предмет дослідження – сучасні безпілотні апаратні системи та їх функціональні можливості для підтримки діяльності екстрених служб.

Об'єкт дослідження – процеси використання безпілотних апаратних систем у діяльності екстрених служб.

Мета дослідження: розробити рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у роботу екстрених служб для підвищення оперативності та ефективності реагування на надзвичайні ситуації.

Задля реалізації мети виконуємо низку **завдань**:

- здійснити аналіз сучасних типів безпілотних апаратних систем, використовуваних у різних сферах;
- вивчити запити екстрених служб щодо швидкого збору даних, моніторингу та оперативного реагування;
- оцінити можливості застосування безпілотних апаратних систем у діяльності екстрених служб на основі зарубіжного та вітчизняного досвіду;
- розробити рекомендації щодо інтеграції безпілотних систем у роботу екстрених служб та обґрунтувати їх ефективність;

– оцінити потенційні ризики та виклики, пов’язані з використанням безпілотних систем у надзвичайних ситуаціях, та запропонувати шляхи їх мінімізації.

Методологія дослідження включає: аналіз літературних джерел та огляд сучасних технологій за критеріями (можливості, обмеження, технології і тенденції розвитку; порівняльний аналіз систем, що вже використовуються, задля їх переваг, недоліків, потенціалу для покращення; моделювання та симуляція, а саме використання програмного забезпечення для моделювання сценаріїв застосування безпілотних систем у різних умовах; експериментальні випробування (створення прототипу безпілотного апарату для польових випробувань, які можуть продемонструвати можливості системи у реальних умовах); аналіз ризиків та оцінка безпеки; метод математичного моделювання та аналіз продуктивності (розрахунок необхідної потужності, витрат енергії, часу, обсягу даних, що передаються в реальному часі).

Теоретичне підґрунтя. Сучасні безпілотні апаратні системи функціонують у низці наукових і технічних напрямків. Безпілотники використовують інноваційні підходи в проєктуванні літальних апаратів для оптимізації ваги, витрат палива та аеродинамічної стійкості. Сучасні безпілотні апарати оснащені складними системами управління, що базуються на теорії автоматичного керування, кібернетиці та алгоритмах штучного інтелекту (ШІ). Вони дозволяють автономним системам аналізувати середовище та приймати рішення в режимі реального часу. Безпілотні апарати використовуються в комунікаційних технологіях, реалізуючи сучасні методи передачі даних для взаємодії з наземними станціями чи іншими апаратами. Для цього використовуються радіозв’язок, супутниковий зв’язок та інші бездротові мережі, що забезпечують надійну передачу даних на великі відстані. Безпілотники оснащені сенсорами для збору даних з навколишнього середовища (відеокамери, радары, лідари, інфрачервоні датчики). Дані обробляються за допомогою алгоритмів комп’ютерного зору та обробки сигналів, що дозволяє апаратам виконувати складні завдання – від розпізнавання об’єктів до побудови карт і навігації.

РОЗДІЛ І

БЕЗПІЛОТНІ АПАРАТНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

1.1 Історія та еволюція безпілотних апаратів

Початок ХХ століття можна вважати часом зародження історії безпілотних апаратів, коли з'явилися перші спроби створити пристрої для виконання завдань без безпосереднього контролю людини. Перші розробки безпілотних апаратів були орієнтовані на військові потреби. У 1916 році інженери Пітер Купер і Елмер Сперрі, під час Першої світової війни, створили перший автоматизований літак, відомий як «Кеттерінг Баг» (Kettering Bug), який був оснащений механічною системою автопілоту та міг використовуватися як «літаюча бомба» [6]. Прототип заклав основу для подальших досліджень у галузі безпілотних авіаційних систем, хоча його застосування було обмежене через технічні недосконалості.

Після Другої світової війни безпілотні апарати далі розвиваються. Період «холодної війни» відзначається значним проривом, безпілотники почали використовуватися для розвідувальних місій. Наприклад, у 1960-х роках компанія Ryan Aeronautical створила серію безпілотних літаків AQM-34, які використовувалися Сполученими Штатами Америки для збору розвідувальних даних в Азії [2]. Безпілотники AQM-34 могли літати на великій висоті, що дозволяло їм уникати ворожої авіації та здійснювати фотозйомку з повітря.

У 90-ті роки розвиток інформаційних технологій та електроніки сприяв підвищенню функціональних можливостей безпілотних систем. Удосконалення систем навігації, сенсорів та засобів зв'язку дозволило створювати безпілотники для дистанційного керування та виконання складних завдань. Один із найвідоміших прикладів цього періоду – розробка американського безпілотника MQ-1 Predator, що використовувався під час військових операцій в Афганістані та

Іраку. Цей апарат став знаковим завдяки можливості виконання як розвідувальних, так і бойових місій [9].

Сучасний етап еволюції безпілотних апаратів характеризується розширенням їхнього використання в цивільних напрямках. Починаючи з 2010-х років, безпілотники стали широко застосовуватися у сільському господарстві, охороні довкілля, логістиці, картографії, а також у рятувальних і пошукових операціях [15]. Інновації в галузі штучного інтелекту, обробки зображень і систем автономної навігації дозволяють сучасним безпілотникам працювати з мінімальним втручанням людини, що відкриває нові можливості для їхнього застосування у різних галузях.

Таким чином, еволюція безпілотних апаратів відбувалася через кілька етапів: від примітивних автоматизованих механізмів для військових потреб до сучасних багатофункціональних автономних систем, здатних виконувати завдання в різних сферах життя. На сьогоднішній день безпілотні апарати продовжують швидко розвиватися, а їхні можливості розширюються завдяки впровадженню новітніх технологій у сфері навігації, управління і штучного інтелекту [13].

1.2 Типи сучасних безпілотних апаратних систем

Сучасні безпілотні апаратні системи (БАС) посідають провідні позиції у багатьох сферах діяльності завдяки своїм можливостям виконувати завдання, що виходять за межі людських можливостей, або ж значно підвищують ефективність їх виконання. Залежно від призначення та способу використання, безпілотники можна поділити на кілька основних категорій: літальні, наземні, водні та підводні системи. Кожна з них має специфічні характеристики та сфери застосування.

Виокремлюємо, насамперед, літальні безпілотні апаратні системи. Літальні безпілотники є найбільш поширеними БАС і використовуються у таких сферах, як військова розвідка, геодезія, аграрний моніторинг, доставка товарів і навіть зйомка та рекреація. Літальні безпілотники бувають різних типів: мультикоптери,

гвинтокрилі, фіксованого крила, перехідні системи тощо. Мультикоптери, наприклад, відзначаються високою маневреністю та можливістю зависання в повітрі, що робить їх корисними для точних зйомок та спостереження на місці [11] з фіксованим крилом мають вищу енергоефективність і використовуються для довготривалих польотів, наприклад, при моніторингу великих площ [22].

Наземні БАС, як окремий тип, включають роботизовані машини для виконання різноманітних завдань на землі, таких як патрулювання, транспортування та обстеження. Ці системи широко використовуються як у військових операціях, так і в сільському господарстві для збору даних та виконання аграрних робіт [8]. Характерною їх особливістю є здатність долати перешкоди та виконувати важкі фізичні завдання, що робить їх незамінними для робіт у важкодоступних або небезпечних місцях, наприклад, у шахтах або під час операцій з розмінування.

Водні безпілотні апаратні системи здатні пересуватися по водній поверхні та виконувати функції, що вимагають збору інформації про водні об'єкти. Їх використовують для дослідження морських територій, патрулювання узбережжя та моніторингу екологічного стану водних ресурсів. Водні дрони, зокрема, є важливим інструментом для екологічного моніторингу, оскільки дозволяють збирати зразки води та аналізувати екологічні показники на великих площах [16].

Підводні безпілотні системи, відомі як автономні підводні апарати (АПА), можуть занурюватися на значну глибину та використовуються для дослідження морського дна, огляду інфраструктури (таких як трубопроводи), а також у військових і наукових цілях. Вони забезпечують можливість отримувати дані з глибин, куди не можуть дістатися люди, та виконують завдання, пов'язані з обстеженням підводних структур і збором інформації в умовах низької видимості [18].

Варто також виділити перехідні безпілотні системи, що здатні поєднувати властивості двох або більше типів безпілотників. Наприклад, безпілотники з можливістю вертикального зльоту та посадки (VTOL) можуть функціонувати як літальні апарати з фіксованим крилом, що підвищує їхню ефективність та

розширює можливості застосування. Це особливо корисно для місій, які потребують швидкого розгортання у важкодоступних місцях [24].

Кожен тип безпілотних апаратів має свої переваги та унікальні характеристики, які роблять їх незамінними у різних сферах застосування. Завдяки технологічному розвитку БАС, їх ефективність і доступність стрімко зростають, що розширює можливості для їх використання в екстрених службах, охороні довкілля та багатьох інших сферах.

1.3 Сфери застосування сучасних безпілотних апаратних систем

Сучасні безпілотні апаратні системи (БПАС) активно функціонують у різних сферах життя.

Насамперед виділяємо військову справу. Найважливішими напрямками використання безпілотників вважається розвідка, спостереження, доставка вантажів, а також участь у бойових операціях.

У сфері логістики безпілотники забезпечують швидку доставку товарів, медикаментів, іншого вантажу, особливо у важкодоступних регіонах.

Застосування БПАС у сільському господарстві допомагає моніторингу стану ґрунту й рослин, внесенню добрив і засобів захисту рослин з високою точністю, що підвищує ефективність аграрних процесів.

За допомогою безпілотників успішно реалізуються заходи з охорони довкілля, зокрема, здійснюється моніторинг лісів і водойм, природоохоронних зон для захисту від пожеж, браконьєрства й забруднення.

Безпілотні апарати є незамінними в будівництві та інфраструктурі, адже виконують аерофотозйомку, контролюють процеси на будівельних майданчиках та проводять інспекцію інфраструктури (мостів, доріг, ліній електропередач).

У галузі медицини та охорони здоров'я безпілотники використовуються для транспортування зразків крові, ліків та для забезпечення доступу до віддалених районів під час кризових ситуацій.

Кіноіндустрія також послуговується дронами під час зйомок фільмів, спортивних заходів, а також створення аерофотозйомок професійного та розважального спрямування.

Вагомою є роль БПАС у рятувальних операціях, адже допомагають рятувальникам знаходити людей під час надзвичайних ситуацій, таких як землетруси чи повені, і доставляти екстрені вантажі.

У наукових дослідженнях безпілотні системи досліджують важкодоступні райони, такі як полярні зони, вулкани та океани, а також спостерігають за змінами клімату.

У правоохоронній та безпековій сфері дрони застосовуються для моніторингу громадського порядку, допомагаючи в забезпеченні правопорядку під час масових заходів та для боротьби зі злочинністю.

Таким чином, безпілотні апаратні системи продовжують удосконалюватися, їх застосування розширюється, відкриваючи нові можливості в різних сферах життя.

1.4. Національна нормативно-правова база, що регулює питання використання БАС

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Україні регулюється низкою нормативно-правових актів. Ось основні документи, які встановлюють правила щодо БПЛА:

1. Повітряний кодекс України. Є основним нормативним актом у сфері авіації: регулює всі аспекти повітряного простору, включаючи використання безпілотних літальних апаратів. Зокрема, стаття 1 визначає поняття безпілотного повітряного судна, безпілотної авіаційної системи:

«23) безпілотне повітряне судно – будь-яке повітряне судно, що експлуатується або розроблене для експлуатації автономно чи яке пілотується дистанційно без пілота на борту;

23⁻¹) *безпілотна авіаційна система – безпілотне повітряне судно та обладнання для дистанційного керування ним»*
[\[https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text\]](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text).

2. Авіаційні правила України «Правила використання повітряного простору України» (затверджено наказом Державної авіаційної служби України, Міністерства оборони України 11 травня 2018 р. № 430/210; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 вересня 2018 р. за № 1056/32508). У правилах встановлюються вимоги до планування польотів БпЛА, погодження із відповідними органами та забезпечення безпеки.

Зокрема, пункт 4 Розділу II «Регулювання використання повітряного простору» Авіаційних правил закріплює правила щодо використання цивільних БпЛА:

«Польоти безпілотних ПС масою до 20 кг включно виконуються без подання заявок на ВПП, без отримання дозволів на ВПП, без інформування органів управління Повітряних Сил ЗС України та органів ОЦВС, органів Державної прикордонної служби України, органів ОПр та відомчих органів УПр, за умови дотримання таких вимог:

- 1) польоти виконуються без перетинання державного кордону України;
- 2) польоти виконуються поза межами встановлених заборон та обмежень ВПП, крім випадків, установлених Положенням про ВПП;
- 3) польоти виконуються не ближче 5 км від зовнішніх меж злітно-посадкових смуг аеродромів або не ближче 3 км від зовнішніх меж злітно-посадкової смуги ЗПМ/вертодромів, крім випадків узгодження з експлуатантом аеродрому/ЗПМ/вертодрому;
- 4) польоти виконуються не ближче 500 м від пілотованих ПС;
- 5) польоти не виконуються над:
 скупченням людей на відкритому просторі та над місцями щільної забудови;

об'єктами (зонами), які визначені Міністерством оборони України, Міністерством інфраструктури України, Міністерством внутрішніх справ

України, Державною прикордонною службою України, Службою безпеки України, Національною поліцією України, Національною гвардією України, Державною фіскальною службою України, Службою зовнішньої розвідки України, Управлінням державної охорони України, іншими військовими формуваннями та правоохоронними структурами, утвореними відповідно до законів України, та відносно яких здійснюється охорона / державна охорона (за умови позначення території навколо цих об'єктів інформаційними знаками про заборону польотів безпілотних ПС та/або шляхом оприлюднення меж такої заборони), крім випадків виконання польотів за дозволом зазначених вище повноважних органів;

б) польоти виконуються в межах прямої видимості (VLOS);

7) максимальна висота польоту не вище:

120 м над рівнем земної (водної) поверхні поза межами CTR, AFIZ, ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, зарезервованого повітряного простору для забезпечення польотів за спеціально встановленими маршрутами польотів державної авіації;

50 м над рівнем земної (водної) поверхні в межах CTR, AFIZ, ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, зарезервованого повітряного простору для забезпечення польотів за спеціально встановленими маршрутами польотів державної авіації або 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, на запит власника такого об'єкту;

8) швидкість польоту безпілотного ПС складає не більше 160 км/год» [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18#Text>].

3. Положення про використання повітряного простору України (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 6 грудня 2017 р. № 954

4. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Інструкції із застосування органами та підрозділами поліції технічних приладів і

технічних засобів, що мають функції фото- і кінозйомки, відеозапису, засобів фото- і кінозйомки, відеозапису» від 18 грудня 2018 року № 1026, зареєстрований у Міністерстві юстиції України 11 січня 2019 року за № 28/32999.

5. Інші нормативно-правові акти.

Наразі чинні національні нормативні вимоги передбачають: плануючи запускати дрон, який має камеру чи спеціальне устаткування, що важить більше ніж 20 кг, слід подати заявку на використання повітряного простору, а в разі потреби ще й отримати відповідні дозволи від Повітряних Збройних Сил України, органів Державної прикордонної служби України, органів об'єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України, органів обслуговування повітряного руху та управління повітряним рухом тощо. Дрібну техніку вагою до 20 кг дозволено використовувати лише в денний час. Забороняється здійснювати зйомки мітингів, акцій (у повітряному просторі міста), автомобільних доріг загальнонаціонального та регіонального значення, центральних вулиць міста, залізничних шляхів, а також над і вздовж ліній електропередач без відповідного дозволу власника. Також заборонено проводити зйомки промислових зон, електростанцій, залізничних станцій, морських портів, сховищ пального, нафти, газу чи інших небезпечних речовин без узгодження. Для використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) діють обмеження щодо дистанцій. Польоти дозволяється виконувати лише в межах прямої видимості оператора, при цьому відстань до БПЛА не повинна перевищувати 500 метрів. Максимальна висота польоту становить до 50 метрів над поверхнею землі або води. Літати над великим скупченням людей у відкритому просторі чи над територіями щільної забудови заборонено навіть для апаратів вагою до 20 кг.

РОЗДІЛ II МОЖЛИВОСТІ ТА ОБМЕЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ ЕКСТРЕНИМИ СЛУЖБАМИ

2.1 Основні напрями застосування безпілотних апаратних систем в екстрених службах

Безпілотні апарати набули популярності завдяки своїм технічним характеристикам: маневреність, автономність, можливість збору даних.

Екстрені служби використовують БАС для різних цілей, зокрема:

Рятувальні операції – забезпечення доступу до недоступних людиною зон, допомога в пошуці постраждалих, наданні першої допомоги, транспортування медикаментів і життєво необхідного обладнання.

Моніторинг навколишнього середовища – забезпечення спостереження за станом лісів, водойм, урбанізованих територій для попередження катастроф.

Авіаційний контроль пожеж – ефективний моніторинг осередків вогню, оперативна оцінка ситуації.

Техногенні аварії – використання БАС знижує ризики для життя рятувальників, здатне оцінювати обсяги ураження та швидко обробляти отриману інформацію.

Розвиток БАС пов'язаний із використанням передових технологій, що дозволяють автоматизувати функції управління та збору даних. Сучасні безпілотники оснащуються такими можливостями:

Комп'ютерний зір та аналіз даних – за допомогою камер високої роздільної здатності, тепловізорів та систем штучного інтелекту для обробки зображень БАС можуть автоматично виявляти людей та об'єкти на місцевості.

Автономне управління – завдяки сенсорам, GPS-модулям та спеціалізованим алгоритмам навігації, безпілотники можуть пересуватися автономно, вибирати оптимальний маршрут.

Технології зв'язку – сучасні БАС забезпечують постійний зв'язок з центром управління завдяки каналам 4G/5G або супутниковому зв'язку, що дозволяє передавати дані та координувати дії в режимі реального часу.

Модульність конструкції – дозволяє адаптувати безпілотник до виконання конкретних завдань, змінюючи корисне навантаження, додаткове обладнання або сенсори.

Безперечно, безпілотні системи мають вагомі переваги, однак їх використання також супроводжується певними обмеженнями. Виокремлюємо основні з них: обмеження тривалості роботи та заряду акумуляторів; висока вартість обладнання, технічної розробки, впровадження та обслуговування; необхідність застосування спеціалізованого програмного забезпечення; юридичні колізії та етичні аспекти, адже йдеться про конфіденційність даних, ризики для цивільного населення та дотримання норм безпеки.

Невпинний розвиток технологій, безумовно, впливатиме на процеси удосконалення БАС, які ставатимуть ще більш інтелектуальними, автономними, адаптивними. До перспектив зараховуємо такі важливі напрями, як: інтеграцію штучного інтелекту та машинного навчання для покращення обробки даних; збільшення тривалості польоту за рахунок покращення акумуляторів та енергоефективності; створення багатофункціональних БАС, що будуть здатні поєднувати декілька функцій.

Таким чином, підтверджуємо тезу про те, що розробка та впровадження сучасних безпілотних апаратних систем в екстрені служби мають значний потенціал для збільшення ефективності реагування на надзвичайні ситуації. Технологічний прогрес відкриває нові перспективи для рятувальних операцій та безпеки.

2.2 Переваги та недоліки використання БАС екстреними службами

Застосування безпілотних апаратних систем екстреними службами набуває значного поширення завдяки їхнім вагомим перевагам. Водночас ефективно

використання БАС супроводжується й певними обмеженнями. З огляду на це принциповим аспектом магістерської роботи вважаємо аналіз ключових переваг і недоліків БАС, які обумовлюють доцільність і потенціал їхнього застосування у надзвичайних ситуаціях.

До переваг використання БАС відносимо: швидкість реагування та доступ до важкодоступних зон. Фактом є те, що БАС здатні оперативно досягати місця події. Це забезпечує максимально швидкий огляд ситуації, надає рятувальникам необхідну інформацію для прийняття невідкладних рішень. Зокрема, в умовах стихійних лих (землетруси, повені) дрони можуть легко долати природні перешкоди, які унеможливають доступ традиційних транспортних засобів [21].

Другий фактор-перевага – зниження ризику для життя рятувальників, адже під час пожеж, хімічних аварій або інших небезпечних ситуацій безпілотники виконують функції розвідки та моніторингу, що дозволяє зменшити ризики для життя і здоров'я рятувальників [12]. Цей чинник вважається особливо важливим у випадках, коли існує небезпека вторинних вибухів чи забруднень.

Розширення можливостей спостереження та моніторингу – третя надзвичайно потенційна перевага: оснащені сучасними камерами й сенсорами, безпілотники здатні здійснювати високоточний моніторинг великих територій та передавати зображення в реальному часі. Зокрема, інфрачервоні камери можуть виявляти людей під завалами або гарячі точки під час лісових пожеж [5].

Четвертою перевагою із впевненістю можемо назвати оптимізацію використання ресурсів, оскільки використання БАС значно знижує витрати на ресурси, бо для їх експлуатації не потрібні паливо і численний персонал, а також зменшується час виконання завдань. Це особливо важливо для служб із обмеженими бюджетами [28].

Недоліки використання БАС на сьогодні є обмеження тривалості польотів. Більшість сучасних БАС мають обмежений час польоту через ємність акумуляторів. У середньому, комерційні дрони можуть працювати без підзарядки 20–40 хвилин, що лімітує їхню здатність ефективно виконувати завдання [25].

Залежність від погодних умов також зараховуємо до недоліків, адже ефективність БАС суттєво знижується в умовах поганої погоди, зокрема під час сильного вітру, дощу або снігопадів. У таких умовах дрони можуть втратити стійкість або навіть вийти з ладу, що є серйозним ризиком у надзвичайних ситуаціях [14].

Використання безпілотників супроводжується правовими нормами, які регламентують зони польотів та питання приватності громадян. Це особливо важливо для країн із суворими законами щодо повітряного простору та збереження конфіденційності [4]. Недотримання таких вимог може призвести до юридичних проблем та негативної громадської думки. Таким чином, юридичні й етичні ризики можемо розглядати як обмежувальні чинники БАС.

Можливі технічні несправності та кіберзагрози – вагомий фактор, що може спричинити некоректну роботу БАС. Зокрема, збої у навігації, проблеми з живленням або втрата зв'язку, а також ризик кібератак можуть спричинити порушення функціонування або передачу даних стороннім особам [19].

Таким чином, хоча безпілотні апаратні системи значно підвищують ефективність дій екстрених служб завдяки їхній мобільності, точності та можливості виконувати завдання в небезпечних умовах, певні технічні, правові та експлуатаційні обмеження потребують ретельного врахування та оптимізації для забезпечення їх максимальної ефективності.

2.3 Технічні вимоги та правові аспекти використання безпілотних апаратних систем

Зростання використання безпілотних апаратних систем у різних галузях, особливо в екстрених службах, висуває важливі вимоги до їхньої технічної надійності, безпеки та правового регулювання. Впровадження БАС у сферу реагування на надзвичайні ситуації вимагає дотримання певних технічних стандартів, що забезпечують їхню ефективність та захист особистих даних громадян.

Одним із головних технічних аспектів, необхідних для забезпечення ефективної роботи БАС, є стабільність зв'язку між дронами та операторами, що має забезпечуватися як на відкритій місцевості, так і в умовах обмеженої видимості чи перешкод. На думку дослідників, надійний зв'язок між дронами та операторськими центрами можна досягти за рахунок використання технологій LTE або 5G, які забезпечують передачу великих обсягів даних у реальному часі [23; 17].

Окрім зв'язку, важливим є живлення БАС, оскільки тривалість польоту є критичною для операцій в умовах надзвичайної ситуації. За сучасними вимогами, мінімальна тривалість польоту для дронів, що використовуються екстреними службами, повинна складати не менше 30 хвилин, тоді як оптимальною вважається тривалість польоту понад 1 годину [3]. Для забезпечення тривалішого польоту науковці пропонують розробку дронів з гібридними джерелами живлення або можливістю заміни батарей безпосередньо на місці події [26].

Крім того, важливим технічним параметром є точність навігації та позиціонування дронів. Використання глобальних систем навігації, таких як GPS, ГЛОНАСС або Galileo, є основою для ефективного управління БАС, особливо в складних погодних умовах та на обмеженій території. Системи навігації також можуть бути доповнені сенсорами уникнення перешкод, що є необхідним для безпечного польоту в складних умовах [27].

Використання БАС вимагає дотримання існуючих правових норм, які визначають обмеження висоти польоту, допустимі дистанції та дозволи для експлуатації. На міжнародному рівні використання БАС регулюється Міжнародною організацією цивільної авіації (ІКАО), яка встановила правила безпеки польотів для малих безпілотних літальних апаратів (БЛА) [10]. Водночас, в окремих країнах існують національні регуляції. В Україні, наприклад, діє постанова Державіаслужби, яка визначає основні вимоги до використання БАС для державних і приватних потреб [1].

Окрім правил щодо висоти та відстані польотів, правові акти враховують також захист особистих даних. БАС, особливо ті, що оснащені камерами та

іншими засобами збору інформації, можуть порушувати право на приватність громадян. Для уникнення таких порушень необхідно чітко регламентувати можливість запису та зберігання даних, а також умови доступу до цих даних [20]. Європейське законодавство вимагає, щоб дрони відповідали Загальному регламенту про захист даних (GDPR), що зобов'язує операторів дронів отримувати згоду від осіб, якщо є можливість їх ідентифікації [7].

Таким чином, використання БАС вимагає чітких технічних стандартів та дотримання законодавчих вимог, що забезпечують безпеку операцій і захист даних. Розробка уніфікованих стандартів для БАС на міжнародному рівні, а також удосконалення національного законодавства допоможе ефективно використовувати дрони в роботі екстрених служб, мінімізуючи ризики для громадян.

РОЗДІЛ III МЕТОДОЛОГІЯ ТА ЕТАПИ РОЗРОБКИ БЕЗПІЛОТНОЇ АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ

3.1 Збір та аналіз вимог до системи

Квадрокоптери по праву вважаються однією з останніх інноваційних розробок. Це безпілотні літаючі апарати, оснащені чотирма гвинтами-пропелерами, які здобули широку популярність у багатьох галузях. Як правило, дані пристрої мають невелику вагу і компактні габарити, завдяки чому мають маневреність і чудово демонструють себе в повітрі.

Управління дроном найчастіше здійснюється за допомогою дистанційного пульта, який здатний підтримувати зв'язок із коптером на великих дистанціях. Основне призначення – сканування місцевості, зйомка відео та створення фото з висоти пташиного польоту за допомогою установки на квадрокоптери спеціальних камер.

«Розумні» літальні апарати мають масу корисних функцій, наприклад, опцію повернення додому або подолання перешкод, працюють від спеціального акумулятора, залежно від ємності якого визначається тривалість польоту.

Виходячи з габаритів та ваги, всі представлені на ринку пристрої поділяються на кілька класів:

Мікроклас – недорогі та невеликі моделі, здатні поміститися в руці. Призначені для навчання управління більшими коптерами, що також використовуються в ігрових цілях.

Дрібний клас – також мають маленькі розміри і не мають функціоналу. Радіус дії – до 30 м, а середній діаметр такого агрегату не перевищує 170 мм.

250 клас – до цього різновиду відносяться вуличні квадрокоптери, і модні гоночні дрони з радіусом дії до 50 метрів. Основна їхня особливість – наявність мініатюрної, інтегрованої камери.

350 клас – до цієї категорії належать апарати, обладнані камерою та здатні передавати відео на портативний пристрій – смартфон. Дальність таких моделей також обмежена – до 50 метрів. Як правило, немає можливості повороту камери.

450 клас – моделі, що мають досить значні розміри, поставляється в розібраному вигляді, тому є необхідність складання та підключення камери.

550-700 клас – квадрокоптери великих габаритів, призначені для зйомки з дзеркальних фотоапаратів. Завжди збірні відрізняються стабільністю польоту і здатністю переносити важкі предмети.

Крім цієї класифікації умовно всі дрони поділяються на два види: без записуючого пристрою і з камерою, а також вбудованим дисплеєм на пульті.

Безпілотні літальні апаратні комплекси. Анатомія FPV. За приклад БПЛАК ми візьмемо конструкцію FPV дрона. Безпілотні літальні апарати з FPV-системами (First Person View – вигляд від першої особи) дозволяють операторам отримувати прямий відеосигнал від дрону під час польоту, що забезпечує високу точність управління.

Нижче наведено основні компоненти та характеристики, які визначають анатомію FPV-дрону.

Рама є основною структурною частиною FPV-дрону, яка підтримує всі інші компоненти. Вона має бути міцною, але легкою, оскільки від ваги рами залежить швидкість, маневровість та стабільність дрону. Зазвичай рами виготовляють з вуглепластику, оскільки він поєднує легкість і стійкість до пошкоджень.

Основні характеристики рами:

Тип конфігурації (хрестоподібна, Н-образна, Х-образна) визначає стабільність і маневровість дрону.

Розмір рами вимірюється відстанню між протилежними двигунами і визначає можливість встановлення певних типів пропелерів і двигунів.

Рама FPV.



Рис. 3.1 Приклади рам для first person view безпілотних літальних апаратів

Політний стек (Flight Stack). Політний стек – це набір електроніки, який управляє польотом дрону, стабілізує його, обробляє сигнали з радіопередавача та відстежує дані. Він зазвичай складається з таких компонентів:

Політний контролер (Flight Controller). Політний контролер – це «мозок» FPV-дрону, що відповідає за обробку даних з сенсорів, стабілізацію польоту та виконання команд оператора.

Сенсори – акселерометр, гіроскоп та інколи барометр, які дозволяють дрону підтримувати стабільність і висоту. Чим потужніший процесор, тим швидше відбувається обробка даних та команд.

Прошивка: такі системи як Betaflight, iNav, KISS використовуються для налаштування та контролю польотного контролера.



Рис. 3.2 Приклади політного контролера для first person view дронів

Регулятор обортів (ESC – Electronic Speed Controller). ESC – це пристрій, який регулює швидкість обортів безколекторних двигунів відповідно до команд політного контролера. Параметри ESC визначаються потужністю і максимальною кількістю ампер (A), які він може обробляти.

Сучасні протоколи DShot300, DShot600, DShot1200 забезпечують швидкий обмін даними між ESC та контролером для точної зміни швидкості.



Рис. 3.3 Приклади регулятора обортів для first person view дронів

Безколекторні двигуни та пропелери.

Безколекторні двигуни є найбільш поширеним вибором для FPV-дронів завдяки їх надійності та тривалому терміну служби. Вони забезпечують високу продуктивність і ефективність. Розмір двигуна: складається з двох чисел, наприклад, 2207, де 22 – діаметр статора в міліметрах, а 07 – висота статора.

Кількість обертів (KV): вказує на швидкість двигуна при поданні напруги 1 В (чим вище KV, тим швидше обертається двигун, але з меншим крутним моментом).

Пропелери є важливою складовою для створення підйомної сили та маневреності дрону. Вони виготовляються з легких та міцних матеріалів, таких як пластик або карбон. Розмір пропелера (вимірюється в дюймах) та кількість лопатей впливають на швидкість і стабільність дрону. Форма і нахил лопатей також важливі для контролю ефективності та аеродинамічних характеристик.



Рис. 3.4 Приклади безколекторних двигунів та пропелерів для first person view дронів

Зв'язок є критично важливим для FPV-дрону, адже забезпечує не лише управління дроном, але й передачу відеосигналу оператору.

Управління. Радіосистема забезпечує передачу команд від оператора до дрону. Найбільш використовувані частоти для зв'язку – 2.4 ГГц та 900 МГц (для довготривалих польотів). Сучасні протоколи (наприклад, Crossfire, FrSky) забезпечують надійну передачу команд на великі відстані.



Рис. 3.5 Приклади RX та TX для first person view дронів

Відео. Відеопередавач передає зображення з камери дрону до оператора у реальному часі. Найчастіше використовується частота 5.8 ГГц для відеосигналу,

оскільки вона забезпечує високу швидкість передачі. Потужність передачі: визначає дальність передачі сигналу (наприклад, 25 мВт, 200 мВт, 600 мВт).



Рис. 3.6 Приклади vtx для first person view дронів

Камери. FPV-камери встановлюються на передній частині дрону, забезпечуючи прямий вигляд під час польоту. Роздільна здатність: від 600TVL до 1200TVL, що визначає чіткість зображення. Поле зору: ширококутні камери забезпечують більшу оглядовість, що важливо для маневровості.

Зв'язок: Камери



Рис. 3.7 Приклади камер для first person view дронів

GPS модуль. GPS модуль використовується для відстеження положення дрону в просторі. Він може бути корисним для функцій повернення додому (RTH) або навігації за координатами. Стандартні модулі GPS або GNSS, які забезпечують більш точне позиціонування за рахунок використання кількох супутникових систем.



Рис. 3.8 Приклади GPS модулів для first person view дронів

Акумулятори забезпечують електроживлення для дрону та його компонентів. Вибір типу акумулятора є важливим для досягнення тривалого часу польоту і стабільної роботи.

Різновиди та типи акумуляторів

Літій-полімерні (LiPo) акумулятори: найбільш поширені, вони забезпечують високу потужність і малу вагу. Основними характеристиками є кількість осередків (S) і ємність, яка вимірюється в міліампер-годинах (mAh).

Літій-іонні (Li-ion) акумулятори: мають меншу потужність, але довше тримають заряд. Вони підходять для тривалих польотів на низькій потужності.

Параметри акумуляторів:

Кількість осередків (S): позначає кількість осередків у батареї, що впливає на напругу (наприклад, 4S має 14.8V, а 6S – 22.2V).

Ємність (mAh): більша ємність збільшує тривалість польоту.

Рейтинг C позначає швидкість розряду акумулятора (чим вище C-рейтинг, тим більший струм може віддавати акумулятор).

Елементи живлення FPV дрону. Акумулятори: Різновиди і типи

Безпілотні літальні апаратні комплекси FPV є складними системами, де кожен компонент відіграє важливу роль. Вибір і налаштування всіх цих частин впливають на продуктивність, маневреність та стабільність дрону, що є визначальними для успіху в екстремальних умовах.

LiPo – літій полімерні акумулятори.

-Плюси: висока токовіддача в критичні моменти польоту.

-Мінуси: має меншу кількість циклів заряду на відміну від Li-ion.

-Використовується з 3; 5; 7; 10 дюймів.



Рис. 3.9 LiPo акумулятор формату 6s

LiHV – літій полімерні акумулятори високої напруги.

- Плюси: висока напруга 4.35v дає можливість збільшити оберти на мотори.
- Мінуси: має меншу кількість циклів заряду на відміну від звичайного Lipo.
- Використовується частіше для малих дронів таких як Tinywhoop.



Рис. 3.10 LiPO акумулятор формату 2s

Li-ion – літій іонні акумулятори

- Плюси: має на порядок більшу ємність ніж Lipo, відносно ваги.
- Мінуси: має малу струмовіддачу (потрібно летіти плавно).
- Саморобний варіант.
- Дешевший ніж Lipo.



Рис. 3.11 Li-ion акумулятор формату 4s

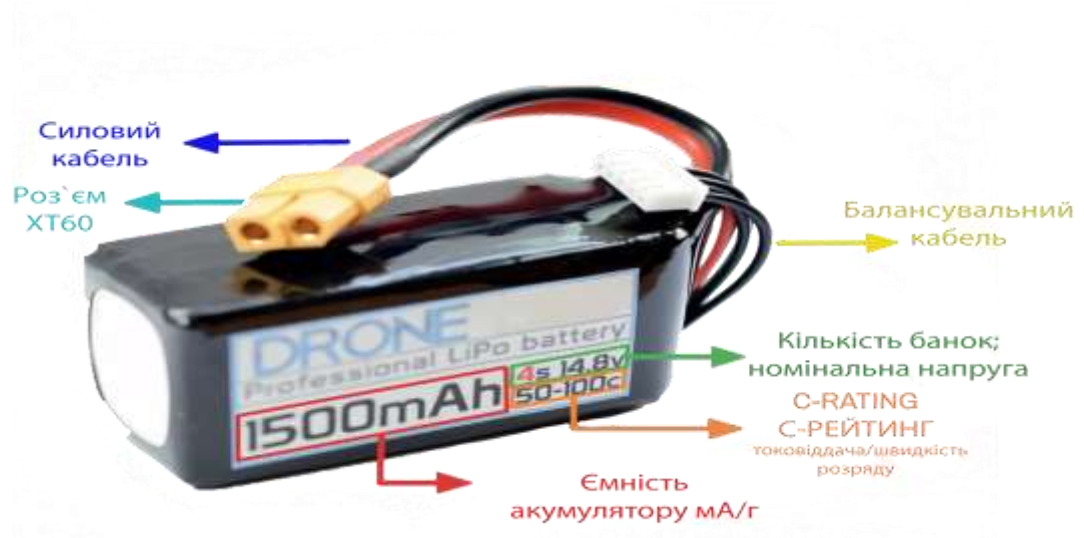


Рис. 3.12 Розшифровка маркування акумуляторних батарей

Формула розрахунку максимального розряду акб. Ампер. Макс. струм розряду = c-rating помножити на ємність акб.(маг) поділити на 1000

Різновиди акумуляторів за кількістю банок

1S = (1 банковий акумулятор) – 3.7V

2S = (2 банковий акумулятор) – 7.4V

3S = (3 банковий акумулятор) – 11.1V

4S = (4 банковий акумулятор) – 14.8V

5S = (5 банковий акумулятор) – 18.5V

6S = (6 банковий акумулятор) – 22.2V

8S = (8 банковий акумулятор) – 29.6V

12S = (12 банковий акумулятор) – 44.4V

3.4V – це мінімальне безпечне значення банки Lipo

3.7V – це номінальне значення банки Lipo

4.2V – це максимальне безпечне значення банки Lipo

Рис. 1.14 Приклад схеми з'єднання акумуляторних батарей

Рис. 1.14 Приклад схеми з'єднання акумуляторних батарей

Рис. 1.14 Приклад схеми з'єднання акумуляторних батарей

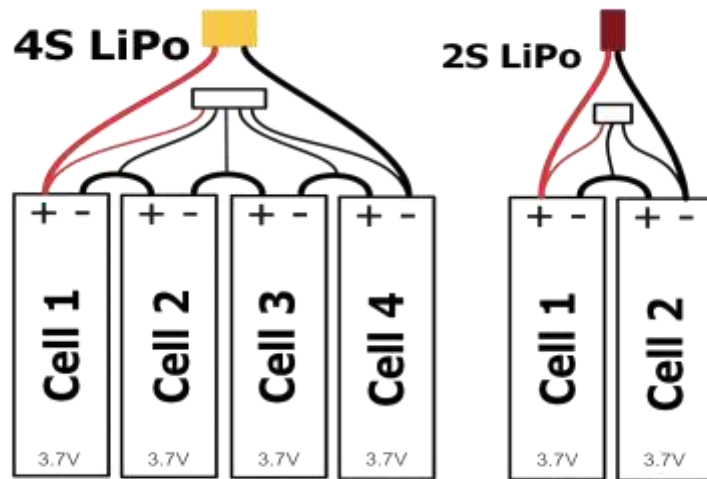


Рис. 3.13 Приклад схеми з'єднання акумуляторних батарей

Балансувальний кабель. Балансувальний кабель відрізняється кількістю контактів відповідно до кількості банок у акумуляторі

- 1S – 2 контакти
- 2S – 3 контакти
- 3S – 4 контакти
- 4S – 5 контактів
- 6S – 7 контактів
- 8S – 9 контактів



Рис. 3.14 Приклад схеми з'єднання акумуляторних батарей

Плата паралельного заряду:

- дозволяє заряджати з 1 каналу одночасно 4 акб;
- не є безпечним варіантом заряджання (можуть загорітись акб);
- шкідливо для ефективності самого акумулятору;
- для заряду 4 акб. одночасно потрібно мати потужний зарядний пристрій

Діаграма ефективності ємності акумулятора відносно ваги

Час польоту відносно додаткової ваги 1300мАг; 4S

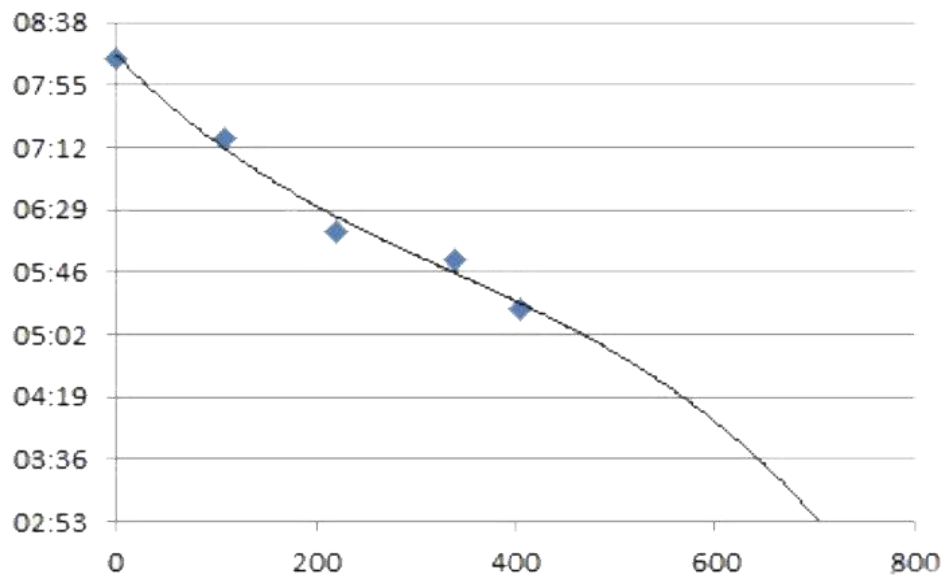


Рис. 3.15 Діаграма ефективності ємності акумулятора 4s відносно ваги

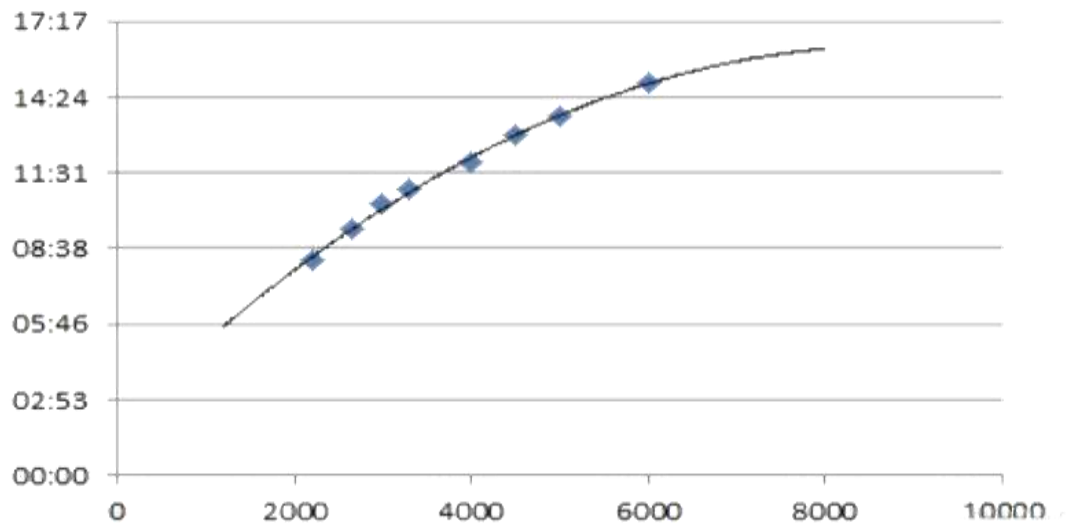


Рис. 3.16 Діаграма споживання ємності акумулятора відносно польотного навантаження

Правильний заряд - розряд акумуляторів Lipo

Безпечний діапазон напруги акумулятору 3.5v-4.2v

Не перезаряджати Lipo вище 4.2V

Не давати просідати банці нижче 3.4v

Швидкість заряду потрібно робити ґрунтуючись на ємність та

С-рейтинг. Спрощено – якщо ємність акб. 5000мАг, заряджати струмом не більше ніж 5А; якщо 3000мАг, заряджати струмом не більше ніж 3А; якщо струм заряду є меншим, буде краще!

Інші вимоги:

- зберігати акумулятор на 50% заряду (3.85V).
- під час польоту акумулятор гріється, гарячий-теплий акб. ставити на зарядку не можна.
- для польоту взимку акумулятори потрібно тримати в теплі, влітку бажано в прохолоді!
- ніколи не залишати акб. на зарядці без нагляду!

- для мобільної перевірки напруги, можна використовувати модуль тестер заряду показаний нижче.

- формула потрібної потужності для заряду $14.8V * 1.3A = 19.24W$.

- формула розрахунку току заряду: $1300\text{мАг}/1000 * \text{на рейтинг 1C заряду} = 1.3A$ рейтинг заряду може бути наприклад (1C, 2C, 4C).

- 1C значить, що акб можна заряджати з током, відповідним до його ємності $1300\text{мАг} - 1.3A$ заряду $2C = 2.6A$. $4C = 5.2A$.

На прикладі акб. 1300мАг ; 4S

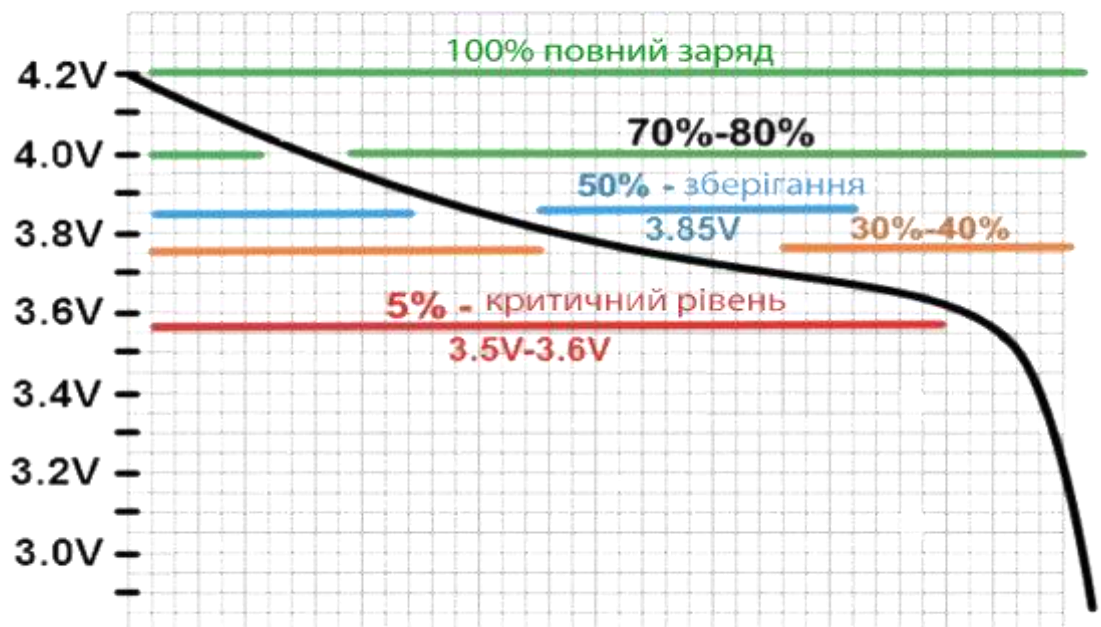


Рис. 3.17 Заряд одного акумулятора відносно відсотків

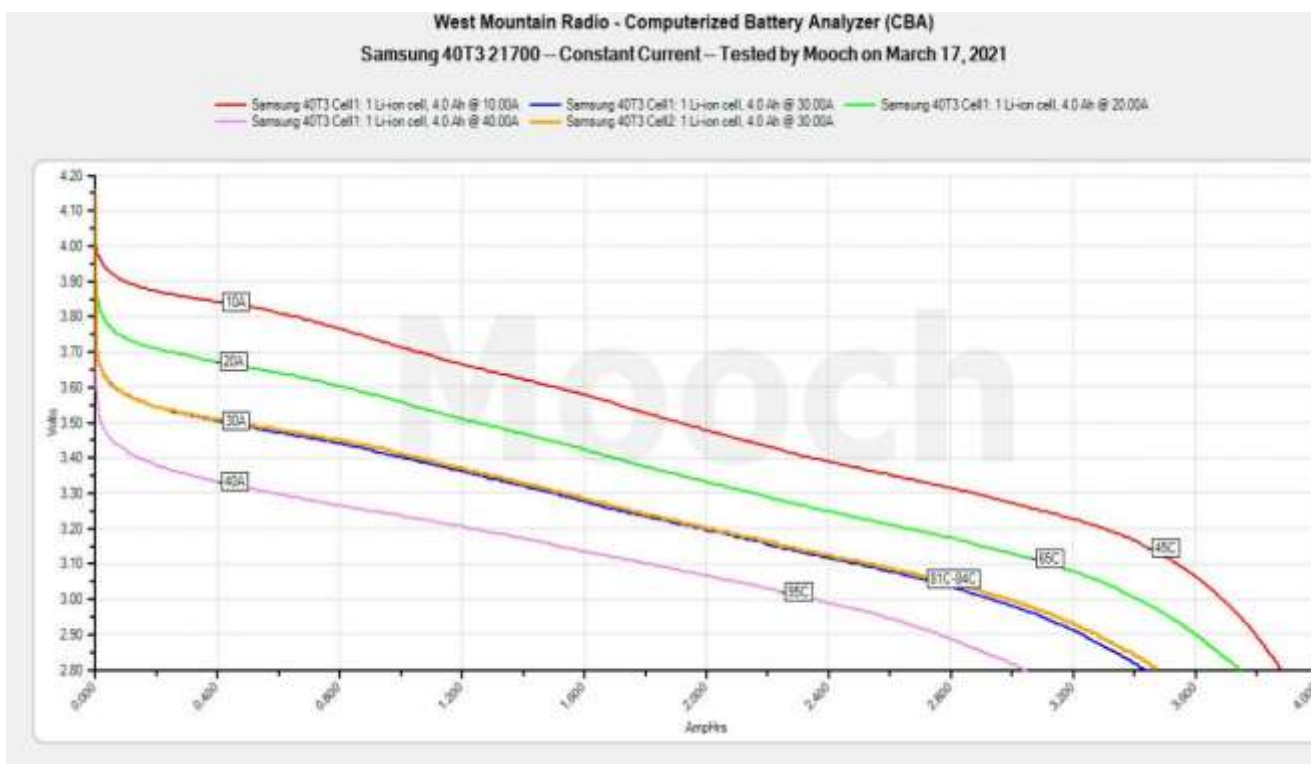


Рис. 3.18 Графік розряду Samsung 40t 21700

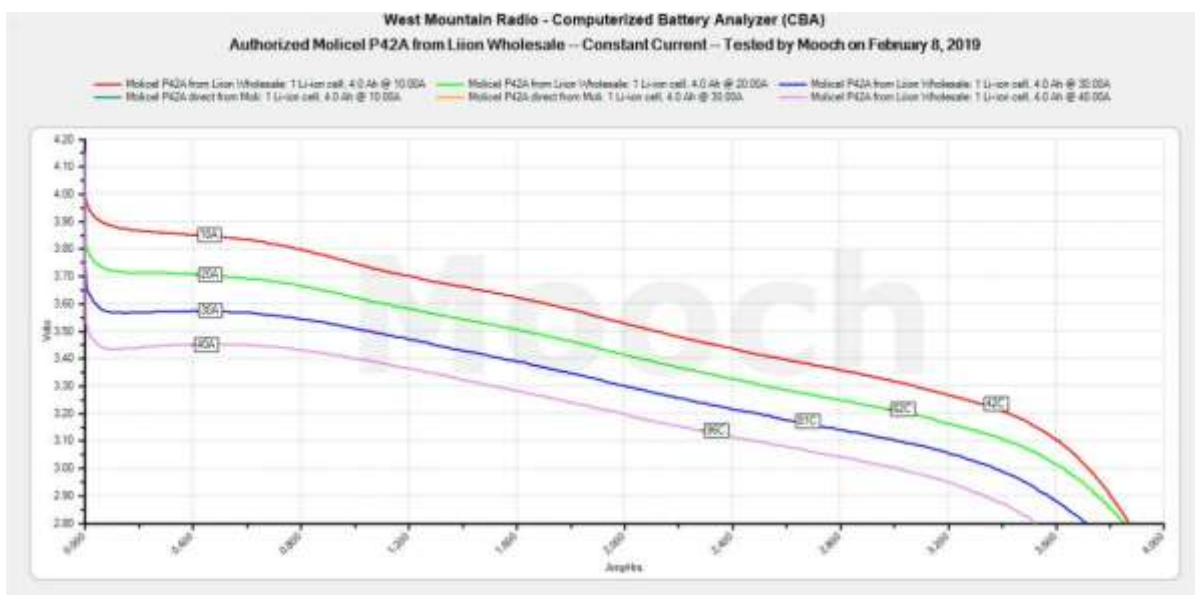


Рис. 3.19 Графік розряду Molicell p42a 21700

Поводження з акумулятором. Ліро:

- не кидати акумулятор;
- не пробивати;
- не підпалюти;

- перевіряти акб. перед польотом;
- не тушити водою (почне горіти сильніше);
- гасити землею, піском.

Популярні варіанти зарядних пристроїв

Sky RC Q200 найпотужніший стаціонарний ЗП. 4канальний. Ціна: 220\$



Рис. 3.20 Зарядний пристрій Sky RC Q200

Hota D6 PRO оптимальний потужний стаціонарний ЗП. 2 канальний. Ціна: 130\$



Рис. 3.21 Зарядний пристрій Hota D6 PRO

ToolkitRC M6D оптимальний польовий ЗП. 2 канальний. Ціна: 80\$



Рис. 3.21 Зарядний пристрій ToolkitRC M6D

Якісні виробники акумуляторів LiPo

Tattu R-line



Dinogy



GNB



Lumenier (GetFPV)



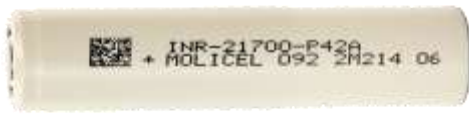
Infinity



Рис. 3.22 Приклад якісних виробників LiPo акумуляторів

Якісні виробники акумуляторів Li-ion 21700

Molicel P42A



Samsung 40T



Lishen 45A



Рис. 3.23 Приклад якісних виробників Li-ion акумуляторів

3.2 Безпілотні літальні апаратні комплекси (дрони DJI та сфери його використання)

DJI (Da-Jiang Innovations) – китайська компанія, яка спеціалізується на виробництві безпілотних літальних апаратів (дронів), стабілізаторів для камер, а також іншого обладнання для аерофотозйомки та відеозйомки. Заснована у 2006 році, компанія є лідером ринку споживчих і професійних дронів.

Основною продукцією компанії є дрони (серії Phantom, Mavic, Inspire, Mini, Air), стабілізатори для камер (серії Ronin, Osmo), камери для зйомки, а також програмне забезпечення для роботи з цим обладнанням.

Продукція компанії використовується для комерційної аерофотозйомки та відеозйомки; сільського господарства (моніторинг посівів і внесення добрив); охорони навколишнього середовища; пошуково-рятувальних операцій; кіно- та відеовиробництва.

DJI відома такими технологічними інноваціями, як удосконалена система стабілізації камери; розумні функції дронів (автопілот, уникнення перешкод і

активне стеження за об'єктами); інтеграція штучного інтелекту для покращення роботи дронів; розробка спеціалізованих рішень для індустрій, таких як будівництво, інспекція інфраструктури, геодезія та картографія.

Основні серії дронів DJI включають:

DJI Mavic Series. Особливостями дронів є їхня компактність, портативність, зручність транспортування. Популярні моделі: Mavic 3 (передова камера Hasselblad, великий час польоту (до 46 хв); Mavic Air 2S (1-дюймовий сенсор для високоякісної зйомки). Сфера застосування: відео- та фотозйомка, подорожі.

DJI Mini Series. Особливостями дронів є їхня легкість і простота використання, вага менше 250 грамів (не потребує реєстрації в багатьох країнах). Популярні моделі: Mini 3 Pro, Mini 2 SE. Сфера застосування: для початківців і любителів.

DJI Phantom Series. Особливостями дронів є їхня висока стабільність, професійна зйомка. Популярні моделі: Phantom 4 Pro V2.0. Сфера застосування: кіновиробництво, картографія, архітектура.

DJI FPV (First-Person View). Особливостями дронів є їхня висока швидкість і маневреність, підтримка VR-окулярів. Популярні моделі: DJI FPV, Avata. Сфера застосування: гоночні змагання, екстремальна зйомка.

DJI Inspire Series. Професійні дрони з можливістю змінювати об'єктиви, подвійний контроль (пілот і оператор камери). Популярні моделі: Inspire 3. Сфера застосування: кінематографія, високоякісна аерозйомка.

DJI Enterprise Series. Дрони для комерційного та індустріального використання. Популярні моделі: Matrice 300 RTK (для інспекцій, сільського господарства); Mavic 3 Enterprise (для пошуково-рятувальних операцій, картографії). Сфера застосування: інфраструктура, безпека, сільське господарство.

Таким чином, DJI – високоякісні камери, що мають інтуїтивне управління, передові функції, такі як ActiveTrack, автоматичні режими зйомки, захист від перешкод, стійкі до погодних умов у професійних моделях.

Розглянемо дрони детальніше.

Класифікація за типом використання: виокремлюємо цивільні та військові безпілотні літальні апаратні комплекси.

Цивільні. Цивільні дрони DJI здебільшого використовуються для аерофотозйомки, відеозапису, геодезії, інспекції інфраструктурних об'єктів, охорони периметрів та екологічного моніторингу.

Завдяки доступності та простоті керування, дрони DJI широко застосовуються в медіа, будівництві, сільському господарстві та рятувальних операціях.

Цивільні



Рис. 3.24 Приклад цивільних БПЛА

Військові. Хоча DJI переважно орієнтується на цивільний ринок, їх дрони можуть застосовуватися військовими для розвідки та моніторингу. Проте в багатьох країнах використання DJI у військовій сфері обмежене через питання кібербезпеки та зберігання даних.

Військові



Рис. 3.25 Приклад військових БПЛА

За типом корпусу

Мультикоптерні системи. Мультикоптерні дрони DJI є найпоширенішими завдяки своїй маневровості, можливості зависання на місці та відносно простій конструкції. DJI пропонує широкий асортимент дронів із мультикоптерними системами, які відрізняються типами корпусу залежно від призначення та функціональності. Основні категорії дронів за типом корпусу:

Квадрокоптери (4 ротори) є найпоширенішим типом серед DJI-дронів, що підходить для відеозйомки, фотографії та аматорського використання (DJI Mini 3 Pro, DJI Air 3, DJI Mavic 3).

Гексакоптери (6 роторів) забезпечують вищу стійкість і потужність, особливо під час вітру. Використовуються для професійної відеозйомки або промислових задач (DJI Matrice 30, Matrice 300 RTK).

Октакоптери (8 роторів) підходять для важких умов і перевезення великого навантаження, включно з кінематографічними камерами чи спеціальним обладнанням. Використовуються в кіновиробництві, будівництві, рятувальних операціях (DJI Matrice 600 Pro).

Трансформовані дрони (змінна конфігурація корпусу) є універсальними моделями, що можуть адаптуватися до різних завдань, маючи змінне оснащення (DJI Agras для сільського господарства (обприскування)).

Коптери із захищеним корпусом (з пропелерами в корпусі або із захисними кільцями) використовуються для польотів у закритих приміщеннях чи складних умовах, де важлива безпека (DJI Avata (FPV-дрон)).

FPV-дрони (First Person View) – легкі, маневрові моделі для перегонів та інтерактивного використання з окулярами FPV (DJI FPV, DJI Avata).

Особливості мультикоптерів від DJI: стабілізація (камери мають гіростабілізатори для зйомки високої якості); навігація (GPS, RTK, системи уникнення перешкод); розширений функціонал (режими автоматичного польоту, підтримка AI, функції тепловізійної зйомки (у промислових моделях)).

Мультикоптерні системи



Рис. 3.26 Приклад мультикоптерних систем

Системи типу «крило». Дрони типу «крило» (хоча DJI спеціалізується здебільшого на мультикоптерах) менш популярні, але мають більшу дальність польоту та автономність, що робить їх придатними для задач, де важливо покрити

велику територію. Хоча DJI не випускає багато моделей цього типу, деякі інші виробники створюють апарати типу «крило» для DJI-інтеграційних рішень.

Системи типу крило



Рис. 3.27 Приклад систем типу крило

Типи відеозв'язку. Цифрові системи

DJI широко використовує цифрові системи зв'язку, які забезпечують високу якість зображення, стабільність з'єднання та можливість передачі даних на великі відстані. Однією з найбільш розвинених технологій є DJI OcuSync, яка забезпечує стабільний зв'язок на відстані до 10 км. Цифровий відеозв'язок є стійким до перешкод, має низьку затримку та високу роздільну здатність.

Цифрові системи



Рис. 3.28 Цифрові системи зв'язку

Типи відеозв'язку. Аналогові системи

Хоча DJI переважно використовує цифрові канали, аналогові системи зв'язку все ще залишаються популярними у сфері FPV-польотів (польоти від першої особи). Аналогові системи забезпечують меншу затримку, проте мають нижчу якість зображення та більш схильні до перешкод.

Аналогові системи



Рис. 3.29 Приклад аналогових систем передачі даних

Типи системи керування

Ручне керування. Ручне управління здійснюється за допомогою пультів керування з джойстиками. Це дозволяє оператору повністю контролювати політ дрона в режимі реального часу. Ручне керування є поширеним серед споживацьких дронів DJI і використовується в завданнях, де потрібен високий рівень маневрування та точності.

Напіваавтономне керування. DJI пропонує напіваавтономні режими, які поєднують ручне управління з автоматизованими функціями, такими як стабілізація, відстеження об'єктів (ActiveTrack), обліт перешкод та автоматичне повернення додому (Return to Home). Напіваавтономне керування робить дрони простішими в управлінні для непрофесіоналів.

Повністю автономне керування. DJI також надає можливість програмування повністю автономних польотів, де дрон виконує завдання за заздалегідь визначеним маршрутом. Це зручно для інспекції великих територій, моніторингу та картографування. Інструменти, такі як DJI Terra та DJI Pilot, дозволяють створювати маршрути та автоматично керувати дроном для збору даних.

Типи системи керування



Рис. 3.30 Приклади систем керування

Отже, дрони DJI завдяки своїм технічним можливостям, різноманітності моделей та простоті використання стали популярним рішенням у багатьох галузях.

3.2 Мультикоптер DJI Matrice 30T: технічні характеристики, сфери використання

Безпілотний апарат DJI Matrice 30T належить до промислового класу і відрізняється поєднанням портативності, потужності, високої ефективності та надійності. Особливістю моделі 30T є можливість ведення одночасно візуальної та інфрачервоної зйомки, що забезпечує легке виявлення тепло-контрастних об’єктів у складних умовах: людина, працююча техніка, вогнище загоряння, приховані дефекти в будівлях, неправильно працюючі пристрої, вузли енергосистеми [\[https://quadro.ua/wp-content/uploads/2024/05/matrice30-series_user_manual_v1.4_ua.pdf\]](https://quadro.ua/wp-content/uploads/2024/05/matrice30-series_user_manual_v1.4_ua.pdf).

Таблиця 3.1

Основні характеристики мультикоптерної системи DJI Matrice 30t

Виробник	dji
Модель	квадрокоптер
Клас	з тепловізором
Передача сигналу	Wi-Fi
Частота сигналу	2.4 GHz, 5.8 GHz
Керування	пульт ДУ
Роздільна здатність відео	4K (3840 x 2160)
Підтримка карт пам'яті	microSD до 512GB
Тривалість польоту	41 min
Радіус дії	18 km
Максимальна швидкість	23
Функції польоту	автоповернення, автопілот, сліdkуй за мною, утримання висоти, обліт перешкод, діагностика перешкод
Тип живлення моделі	Знімний акумулятор Li-Pol

Продовження таблиці 3.1

Основні характеристики мультикоптерної системи DJI Matrice 30t

Ємність акумулятору	5880 mAh
Фізичні характеристики	
Кількість активних гвинтів	4
Розміри	470 × 585 × 215 mm
Вага	3770 g

Виділяємо також такі важливі характеристики, як:

-адаптивність до навколишніх умов: Matrice 30T має захист стандарту IP55 M30, що може витримувати температури від -20°C до 50°C;

-безпека й надійність: сенсори Dual-vision і ToF розміщено на 6 боках мультикоптера; приймач ADS-B попереджає про інші літальні об'єкти;

-дублювання систем та резервне копіювання: системи резервування удосконалено, що дає можливість реалізовувати завдання за критичних обставин;

У Matrice 30T покращено систему передачі, адже 4 антени підтримують технологію OcuSync 3 Enterprise, передають трьома каналами відео з роздільною здатністю Full HD та плавно перемикаються за несприятливих умов.

Відзначаються характеристики компактності, зокрема легкість транспортування, упакування, розгортання.

Мультикоптер DJI Matrice 30T має такі камери, як ширококутні, зум-, тепловізійні камери з лазерним далекоміром, що уможливорює отримання даних у найкоротші терміни.

Розміри мультикоптера в розкладеному стані, без пропелерів становлять 470/585/215 мм (Д/Ш/В), у складеному – 365/215/195 мм (Д/Ш/В). Довжина діагональної колісної бази – 668 мм. Включно з двома батареями Matrice 30T має вагу 3770 ± 10 г, максимально допустима злітна вага становить 4000 г. Робочі частоти 24000-24835 ГГц; 5725-5850 ГГц.

Модель двигуна – 3511; модель пропелера 1671.

Клас захисту – IP55; таким чином мультикоптер захищено від потрапляння твердих тіл і частинок, а також від проникання вологи

Окремо визначаємо максимальні показники за різними критеріями:

Мах кут нахилу 35°;

Мах швидкість підйому/спуску 6 м/с, 5 м/с;

Мах швидкість зміни з нахилом 7 м/с;

Мах горизонтальна швидкість 23 м/с;

Мах опір вітру 15 м/с при зльоті, 12 м/с при посадці;

Мах час польоту 41 хвилин.



Рис. 3.31 Безпілотний літальний апарат DJI Matrice 30t

DJI Matrice – високопродуктивний дрон призначений не лише для комерційного використання, зокрема в складних умовах, а й знаходить застосування у військовій галузі. Він відзначається надійністю, здатністю працювати безперервно й довго, витримувати вплив несприятливих погодних факторів. Дистанційне управління дозволяє операторам контролювати дрон на значній відстані від зон ризику, що забезпечує їхню безпеку та знижує загрози під час виконання завдань.

Завдяки багатофункціональності й технічним характеристикам дрон здатний вирішувати широкий спектр задач.

DJI Matrice 30T має 4 модулі: ширококутну камеру, зум-камеру, лазерний далекомір і тепловізор.

12-мегапіксельна ширококутна камера, яка дозволяє знімати фото роздільної здатності до 8K та записувати відео у форматі 4K з частотою 30 кадрів за сек.

48-мегапіксельна зум-камера має 1/2-дюймовий CMOS-датчик, оптичний зум із 5-16-кратним оптичним зумом без втрат і 200-кратним цифровим зумом. Максимальна роздільна здатність фото, як і раніше 8K, відео – 4K за 30 к/с.

Тепловізор оснащений еквівалентною фокусною відстанню 40 мм, роздільної здатності 640×512 пікселів і частотою оновлення 30 Гц. Забезпечує вимірювання температури з точністю ± 2 °C.

Лазерний далекомір визначає відстань до об'єктів на землі, дерев, будівель та інших об'єктів, а також висоту та рівень їх поверхні. Має дальність вимірювання до 1200 метрів і похибку вимірювання менше 1 м. Він функціонує за різних температур і забезпечує точне вимірювання відстаней навіть у складних умовах.

Дрон здатен розвивати максимальну швидкість до 72 км/год та підніматися на висоту до 7000 метрів, дальність польоту до 15 кілометрів. Завдяки тривалому часу автономної роботи до 41 хвилини він ідеально підходить для виконання завдань на значних відстанях.

На війні в Україні дрон Matrice 30T виконує низку критично важливих завдань:

- розвідка та спостереження: дрон дозволяє фіксувати розташування сил противника та їхніх об'єктів, надаючи військовим ключову інформацію;
- коригування артилерійського вогню: забезпечує точність ударів по цілях;
- контрбатарейна боротьба: допомагає виявляти та нейтралізувати ворожі артилерійські позиції;

- моніторинг передової: забезпечує нагляд за визначеними ділянками лінії фронту для контролю ситуації.

РОЗДІЛ IV РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ У РОБОТУ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ

4.1 Розробка рекомендацій

Візія проєкту – створити інноваційне рішення, яке змінить підхід до реагування екстрених служб на надзвичайні ситуації, зробить цей процес швидшим, ефективнішим та безпечнішим. Використання безпілотних апаратних систем (БАС) у діяльності екстрених служб не тільки підвищить оперативність, але й дозволить заощадити ресурси, зменшити ризики для людського життя та зробити процеси реагування більш точними і ефективними.

Наша візія полягає в тому, щоб за допомогою інтеграції БАС до існуючих робочих процесів екстрених служб створити систему, яка дозволить:

Швидко та ефективно реагувати. БПЛА зможуть доставляти важливу інформацію в реальному часі, що значно скоротить час на прийняття рішень і дозволить своєчасно направити ресурси на місце події.

Забезпечити безпеку та стабільність. Використання БАС дозволить знизити людські ризики, забезпечуючи дистанційне спостереження та керування, особливо в небезпечних і важкодоступних районах.

Модульність та масштабованість. Створена система буде легко адаптуватися до нових умов і вимог, дозволяючи оперативно вводити нові функції та розширювати можливості безпілотних систем у майбутньому.

Інтуїтивно зрозуміле управління, адже розробка простого в управлінні інтерфейсу забезпечить швидке освоєння технології персоналом екстрених служб без потреби в складному навчанні.

Інтеграція з існуючими системами. БАС буде легко інтегруватися з іншими технологіями та обладнанням, що вже використовується в екстрених службах, забезпечуючи безперебійну роботу та оптимізацію ресурсів.

Висока надійність і ефективність: Прототипи БАС, які ми розробляємо, повинні демонструвати стабільність роботи в складних погодних умовах і забезпечувати ефективне використання енергетичних та технічних ресурсів.

Назва: Рекомендації БАС 0.1

Мета: Розробка рекомендацій щодо впровадження безпілотних апаратних систем (БАС) у роботу екстрених служб з метою підвищення оперативності, ефективності реагування та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Тип проєкту:

Підтвердження концепції (Proof of Concept).

Таймінг: початок: листопад 2024 – завершення: грудень 2024

Методологія: ітеративний підхід із використанням Agile-методологій. Це забезпечує швидкий зворотний зв'язок, гнучкість до змін і контроль якості.

Суть проєкту:

Розробка прототипу: багатофункціональний безпілотний літальний апарат (БПЛА) середнього радіусу дії з модульною конструкцією та базовим набором функцій.

Створення рекомендацій: включення технічних і експлуатаційних вимог для використання БАС у різних сценаріях, актуальних для екстрених служб.

Ключові цілі:

Змістовні:

- створення базового прототипу БПЛА;
- реалізація ключових функцій: зліт, посадка, утримання висоти, передача відеосигналу в реальному часі;
- забезпечення модульності для подальшого розвитку;
- розробка інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу управління.

Термінові: своєчасне завершення розробки, тестування та підготовки документації.

Якісні:

- забезпечення стабільності роботи у складних умовах;
- дотримання стандартів безпеки та надійності.

Рекомендовані вимоги до технічних характеристик прототипу:

Мінімальний функціонал: зліт, посадка, утримання висоти, передача відеосигналу.

Модульна конструкція: легкість у масштабуванні та модернізації.

Надійність: робота у складних погодних умовах на великих відстанях.

Безпека: захист даних та стабільність польотів.

Сумісність: інтеграція з існуючим обладнанням і ПЗ екстрених служб.

Критерії успіху:

Технічна відповідність вимогам.

Стабільна робота у польових умовах.

Простота управління для персоналу екстрених служб.

Ефективність використання ресурсів та вкладання в бюджет.

Ризики:

Перевищення бюджету: низький.

Зрив дедлайнів: низький.

Невідповідність цілей: низький.

Мінімальний функціонал MVP:

Управління: зліт, посадка, утримання висоти, рух за траєкторією.

Відео: передача відеосигналу в реальному часі.

Канали комунікації та зворотного зв'язку:

Презентації: конференції, спеціалізовані заходи.

Зворотний зв'язок: через анкетування та форми Google.

Очікуваний результат:

Створення прототипу БАС, здатного виконувати основні функції, та підготовка рекомендацій для інтеграції систем у роботу екстрених служб.

Забезпечення можливостей для подальшого масштабування та впровадження інновацій.

Таблиця 4.1

Загальні відомості про проєкт

Назва	Багатоцільовий БПЛАК 0.1
Потреба	Створити новий багатоцільовий безпілотний літальний апаратний комплекс типу квадрокоптер
Стратегія	Не входить до жодної стратегії
Програма	Не входить до жодної програми
Тип проєкту	Підтвердження концепції
Методологія	Ітеративний
Таймінг (початок та кінець у форматі місяць/рік)	Початок проєкту: 11/2024 Кінець проєкту: 12/2024
Кількість функціональних релізів	1
Бюджет	CAPEX:n/a OPEX:n/a
Виконавець проєкту	Файчук Ліна Миколаївна

Таблиця 4.2

Рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у роботу екстрених служб

Назва	Рекомендації БАС 0.1
Потреба	Розробити рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у роботу екстрених служб
Тип проєкту	Підтвердження концепції
Методологія	Ітеративний
Таймінг (початок та кінець у форматі місяць/рік)	Початок проєкту: 11/2024 Кінець проєкту: 12/2024

Продовження таблиці 4.2

Рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у
роботу екстрених служб

Кількість функціональних релізів	1
Бюджет	CAPEX:n/a OPEX:n/a
Суть	Розробити рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у роботу екстрених служб для підвищення оперативності та ефективності реагування на надзвичайні ситуації.
Особливі вимоги до рекомендацій	Рекомендовані технічні вимоги: - Мінімальний функціонал: Оскільки це проєкт підтвердження концепції, необхідно сфокусуватися на реалізації мінімального набору функцій, достатнього для демонстрації потенціалу БПЛА; - Модульність: Конструкція БПЛА повинна бути модульною, що дозволить легко масштабувати та доопрацьовувати його в майбутньому; - Надійність: БПЛА повинен бути здатний працювати в складних погодних умовах та на великих відстанях; - Безпека: Особлива увага повинна бути приділена безпеці польотів та захисту даних; - Сумісність: БПЛА повинен бути сумісний з існуючим обладнанням та програмним забезпеченням..

Продовження таблиці 4.2

Рекомендації щодо впровадження безпілотних апаратних систем у
роботу екстрених служб

Особливі вимоги до рекомендацій	Рекомендовані вимоги до процесу розробки: - Ітеративний підхід: Застосування ітеративного підходу дозволить швидко отримувати зворотний зв'язок та вносити необхідні корективи; - Agile-методології: Використання Agile-методологій дозволить забезпечити гнучкість та адаптивність до змін; - Строга дисципліна: Необхідно дотримуватися встановлених термінів та бюджету; - Регулярна звітність: Проектний менеджер повинен регулярно інформувати замовника та команду про хід виконання робіт; - Контроль якості: На кожному етапі розробки необхідно проводити ретельний контроль якості.
Рекомендовані особливі вимоги до рекомендацій фінального продукту	Створити рекомендації, щодо концепції: унікальний багатоцільовий, мобільний безпілотний літальний апаратний комплекс типу квадрокоптер, середнього радіусу дії, вагопідйомністю до п/а кг, стійкістю до важких погодних умов, легкий у використанні, з можливістю донаведення.

Таблиця 4.3

Цілі критерії успішності та ризики проєкту

Цілі проєкту	Критерій успішності	
	Якісні цілі	Кількісні цілі
Щодо змісту	- створити прототип багатофункціонального безпілотного літального апарату; - реалізувати базовий набір функцій, необхідних для демонстрації концепції; - забезпечити модульну конструкцію для подальшого розвитку; - розробити інтуїтивно зрозумілий інтерфейс управління.	- реалізувати такі функції: зліт, посадка, утримання висоти, рух за заданою траєкторією, передача відеосигналу.; - досягти тривалості польоту не менше ніж n/a хвили; - забезпечити дальність польоту не менше ніж n/a км.
Щодо термінів	- дотриматися встановлених термінів виконання проєкту; - забезпечити своєчасне виконання всіх етапів розробки; - створити чіткий графік робіт та дотримуватися його.	- завершити розробку прототипу до n/a; - провести успішні випробування до n/a; - підготувати всю необхідну документацію до n/a.

Продовження таблиці 4.3

Цілі критерії успішності та ризику проєкту

Щодо вартості	- дотриматися затвердженого бюджету; - оптимізувати витрати на всіх етапах проєкту; - забезпечити ефективне використання ресурсів.	- не перевищити виділений бюджет у розмірі n/a грн.
Щодо якості	- забезпечити високу якість виконаних робіт; - дотримуватися встановлених стандартів якості.	- досягти рівня готовності програмного забезпечення не нижче ніж n/a%; - зменшити кількість виявлених дефектів до n/a.
	Назва ризику	Рівень
Відомості щодо ризиків:	Перевищення бюджету	Низький
	Перевищення дедлайнів	Низький
	Невиконання поставлених цілей	Низький

Таблиця 4.4

Рекомендований мінімальний функціонал MVP

Управління	Зліт та посадка	БПЛА повинен здатний злітати та сідати
	Утримання висоти	БПЛА повинен утримувати задану висоту над землею
	Рух за заданою траєкторією	БПЛА повинен бути здатний рухатися за заданою траєкторією
Відео	Передача відеосигналу	БПЛА повинен передавати відеосигнал в режимі реального часу

Продовження таблиці 4.4

Рекомендований мінімальний функціонал MVP

Категорія	Що потрібно вказати	Відповідь
Концепція / Ідея / Функціонал, який будемо перевіряти	Що ми конкретно зробимо у межах реалізації MVP?	- розробка конструкції: створення фізичного прототипу БПЛА з мінімальним набором необхідних компонентів (рама, двигуни, акумулятори, контролер польоту, RX, VTX); - розробка програмного забезпечення: створення програмного забезпечення для управління польотом, передачі відеосигналу та інших необхідних функцій або модернізація програмного забезпечення на основі джерел з відкритим програмним кодом(Inav, Betaflight, Ardupilot); - інтеграція компонентів: з'єднання всіх компонентів в єдину систему та налаштування їх взаємодії; - тестування: проведення наземних та повітряних випробувань для перевірки працездатності та ефективності прототипу; - збір даних: збір даних про характеристики польоту, споживання енергії, стабільність системи та інші параметри; - оцінка результатів: аналіз зібраних даних для оцінки відповідності прототипу поставленим вимогам та визначення напрямків подальшого розвитку.
	На підставі яких критеріїв ми прийматимемо рішення про доцільність подальшої роботи над проєктом?	- відповідність технічним характеристикам: чи відповідають отримані характеристики БПЛА заявленим вимогам; - стабільність роботи: чи працює БПЛА стабільно в різних умовах; - простота управління: наскільки інтуїтивно зрозумілим є управління БПЛА; - можливість модернізації та модульності: чи можна легко додати нові функції та розширити можливості БПЛА; - вартість розробки: чи вкладається вартість розробки MVP в запланований бюджет; - відгуки замовника: чи задовольняє прототип вимогам замовника.

Продовження таблиці 4.4

Рекомендований мінімальний функціонал MVP

Канали комунікацій із користувача ми	Для яких категорій користувачів ми робимо MVP?	Для екстрених служб.
	Як користувачі дізнаються про наш MVP?	- форуми та конференції: презентація БПЛА на спеціалізованих заходах; - соціальні мережі: створення сторінок у соціальних мережах для публікації інформації про проєкт, демонстрації можливостей БПЛА; - спеціалізовані видання: публікація статей та оглядів у профільних журналах; - конкурси та виставки: участь у конкурсах та виставках, пов'язаних з безпілотними технологіями; - прямі продажі: зв'язок з потенційними клієнтами через особисті контакти.
	Як користувачі дадуть зворотний зв'язок MVP?	- зворотний зв'язок з командою інженерів: збір відгуків через коротку Google форму, яка буде відправлятися через месенджер Signal.
Витрати на реалізацію MVP	Скільки грошей ми витратимо на MVP (оціночно)?	CAPEX:n/a OPEX:n/a
	Скільки людей буде залучено до MVP (оціночно)?	залежно від типу та розміру проєкту.
	Скільки часу у нас триватиме реалізація MVP та збір зворотного зв'язку від клієнта?	залежно від типу та розміру проєкту.

4.2 Впровадження проєкту на основі розроблених рекомендацій

Корпус БПЛА. За основу для модернізації взято Корпус готового рішення від компанії Diatone, а саме KN-104.



Рис. 4.1 Безпілотний літальний апарат Diatone KN-104

Diatone KN-104 – десяти дюймовий комплект BNF з ELRS 915 MHz на борту, відео 1.2 Ghz на 1.5 Вт. До вихідних характеристик відносимо такі: вага при зльоті 7 кг; оптимальна підйомність вантажу 3 кг, максимальна – 4 кг; швидкість підйому до 10 м/с; швидкість спуску до 18 м/с; гранична швидкість у польоті 140 км/год; гранична висота польоту (над рівнем моря) 7 км; радіус передачі відео до 20 км; робочий температурний діапазон -20 °C до +50 °C (або -4 °F до +122 °F); акумулятор із функцією Hot Swap і спеціальним кріпленням; частота для дистанційного керування: 2,4 ГГц або 915 МГц/868 МГц; система контролю польоту – Mamba F405 MK2 V2; мотори: KN 3214 730KV; діагональний розмір 440 мм; габаритні розміри: 350×350×93 мм; маса 1 кг 250 г. З даної інформації ми можемо зробити висновок, що з комплекту Diatone KN-104 нам чудово підходять такі компоненти як рама, двигуни та політний стек. Так як, система передача даних на KN-104 встановлена аналогова, що не задовольняє вище вказані вимоги, було прийняте рішення використати альтернативну цифрову систему передачі даних, що задовольняє критерії безпеки, швидкості передачі інформації.

Система передачі даних БПЛА. Для передачі даних застосовано Herelink RC/HD Video, що являє собою інтегрований пульт дистанційного керування та систему бездротової цифрової передачі, яку можна використовувати з автопілотом Cube і Ardupilot. Herelink дозволяє передавати пульт дистанційного керування, відео високої чіткості та телеметричні дані на відстань до 20 км між наземною станцією та повітряним блоком. Пульт дистанційного керування Herelink має спеціальні додатки Solex TX і QGC, а повітряний блок і наземна станція мають інтегрований 8-ядерний SOC для користувача розробка додатків. Herelink 1.1 забезпечує Ethernet-з'єднання між повітряним блоком і такими пристроями, як карданні підвіси, камери та автопілоти, а також підтримує інтерфейси HDMI, SBUS і UART для введення та виведення даних. Данна система керування інтуїтивно зрозуміла та легка в освоєнні, що дозволить швидко навчати нових операторів.



Рис. 4.2 Система передачі даних Herelink

Визначаємо необхідні для реалізації проєкту характеристики: пристрій на базі Android із 5,46-дюймовим емнісним сенсорним екраном 1080P; інтегрована цифрова система передачі, що одночасно передає відео, телеметрію та контроль; спеціальне програмне забезпечення для наземних станцій Solex TX і QGC з підтримкою MAVLink для ArduPilot і PX4; подвійний самоцентруючий шарнір із ефектом Холла зі знімними ручками; HD-відео 1080P із двома цифровими відеовходами; подвійний вихід сигналу S.bus для одночасного керування

автопілотом і камерами повороту/нахилу; 6 настроюваних кнопок MAVLink і апаратне колесо Mavlink/Sbus; RC керування підвісом у спеціалізованій службі незалежно від Solex TX / QGC; прив'язка та обмін відео через наземну станцію Wi-Fi; вбудовані Arm Cortex A53 і Cortex A53 SOC як у повітряних, так і в наземних блоках для індивідуальних застосувань. Для підвищення ефективності передачі даних, ми використовуємо дві антени Maple Wireless 2.4G 9dBi, замість інтегрованих на пульті дистанційного керування, що дозволить підвищити якість та стабільність передачі пакетів між передавачами та приймачами, а направленість антени дозволить системі працювати в більш складних рельєфних умовах.

Модуль. Для реалізації проєкту та дотримання відповідності вимог використано GPS-модуль Holybro H-RTK F9P DroneCAN Rover, який є важливим елементом у розробці сучасних дронів. Він гарантує високу точність навігації та стабільність роботи системи та забезпечить стабілізацію та утримання системи у просторі.



Рис. 4.3 Система передачі даних Herelink

Його функції та значення можна виділити в кількох основних аспектах:

Високоточне позиціонування: забезпечує сантиметрову точність завдяки використанню диференціального GNSS із багатодіапазонним RTK. Це критично важливо для завдань, які вимагають точного позиціонування, наприклад,

у сільському господарстві, геодезії, картографуванні або операціях у міських умовах, де потрібно уникати перешкод.

Підтримка кількох супутникових систем: пристрій здатний одночасно приймати сигнали GPS, ГЛОНАСС, Galileo та BeiDou, що забезпечує вищу ефективність роботи у місцевостях зі складним рельєфом або у міських умовах із численними перешкодами.

Протокол DroneCAN для надійного зв'язку. DroneCAN забезпечує:

- частоту оновлення до 8 Гц для швидкої та реальної відповіді системи.
- зниження електромагнітних перешкод у порівнянні з традиційними інтерфейсами UART.
- можливість підключення кількох пристроїв через одну CAN-шину, що спрощує конструкцію дрона та розширює його функціонал.

Інтеграція з іншими системами дрона: модуль може легко працювати в зв'язці з контролерами польоту серії Pixhawk завдяки сумісності з відкритим програмним забезпеченням. Це робить його універсальним рішенням для різних типів дронів.

Додаткові функції для стабільності та зручності: компас BMM150 для орієнтації; триколірний світлодіодний індикатор для відображення статусу; процесор STM32G4 із високою продуктивністю для обробки даних у реальному часі.

Гнучкість і зручність використання: оновлення прошивки через DroneCAN GUI Tool робить модуль легко адаптованим до нових умов і потреб. Завдяки кабелю довжиною 42 см він може бути зручно встановлений у різних конфігураціях дрона.

Характеристики: приймач GNSS U-blox ZED-F9P високоточний модуль GNSS; процесор STM32G473; робоча напруга: 4,75 В~5,25 В; споживання струму ~ 250 мА; діаметр 80 мм, висота 20 мм; вага 123 г; температура -20 °С до 85 °С.

Камера. Для реалізації проєкту обрано аналогову камеру CADDXFPV Ratel Pro.



Рис. 4.4 Камера CADDXFPV Ratel Pro

Камера CADDXFPV Ratel Pro є важливим компонентом для дронів, зокрема для FPV-систем (First Person View), які забезпечують візуальний контроль і точність польотів. Її компактний і легкий дизайн (розмір 19x19 мм, вага 9,5 г) дозволяє інтегрувати камеру навіть у невеликі дрони, забезпечуючи їх мобільність та зручність у використанні. Основні переваги камери:

Висока якість зображення: завдяки роздільній здатності 1500 TVL та широкому динамічному діапазону, камера забезпечує деталізовану картинку за будь-яких умов освітлення. Це особливо важливо для пілотування в складних середовищах, таких як сутінки, нічний час або яскраве сонячне світло.

Надійність: камера має міцну конструкцію і високу якість матеріалів, що гарантує стабільну роботу навіть за несприятливих погодних умов. Робочий температурний діапазон від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$ дозволяє використовувати її у будь-яку пору року та в різних кліматичних зонах.

Гнучкість налаштувань: перемикання між співвідношеннями сторін 16:9 і 4:3 (за замовчуванням 4:3) дозволяє адаптувати зображення відповідно до потреб користувача та характеристик екрану.

Широкий кут огляду: кут огляду 80° сприяє покращенню видимості і знижує ризик зіткнень, особливо під час польотів у складних ландшафтах або обмежених просторах.

Камера CADDXFPV Ratel Pro є ключовим інструментом для ефективного управління дроном, особливо в режимі реального часу. Її можливості дозволяють операторам: легше орієнтуватися в просторі та уникати перешкод; знімати якісне відео або фото, незалежно від часу доби; виконувати завдання з високою точністю у професійних сферах, таких як інспекція, розвідка, рятувальні операції чи спортивні змагання. Завдяки компактності, надійності та якості зображення, CADDXFPV Ratel Pro є оптимальним вибором для створення дронів, забезпечуючи бездоганний візуальний контроль і ефективність їх використання.

Для більшого огляду та ефективності використання даної камери, можливий варіант зі встановленням поворотного механізму, який буде складатися з кріплення для камери та системи сервоприводів.

4.3 Монтаж БПЛА

Крок 1: Підготовка рами

- Розпакувати раму та перевірити наявність усіх необхідних компонентів.
- Встановити стійки для моторів на раму за допомогою гвинтів та гайок.
- Переконавшись, що вони встановлені рівно.

Крок 2: Встановлення двигунів

- Приєднати двигуни до стійок за допомогою гвинтів.

Крок 3: Встановлення ESC

- Припаяти провідники ESC до двигунів. Дотримуватися схеми підключення, вказаної в інструкції до ESC.
- Зафіксувати ESC на рамі за допомогою двосторонньої стрічки або інших кріплень.

Крок 4: Встановлення приймача

- Підключити приймач системи HereLink до ESC. Звернути увагу на правильність підключення каналів.

- Закріпіть приймач на рамі.

Крок 5: Встановлення камери

- Вибрати місце для установки камери на рамі, враховуючи центр ваги дрона та бажаний кут огляду.

- Закріпити камеру за допомогою кріплення, яке йде в комплекті.

Підключити камеру до приймача.

Крок 6: Встановлення GPS модуля

- Вибрати місце для установки GPS модуля на рамі.

- Закріпити GPS модуль за допомогою кріплення. Підключити GPS модуль до приймача.

Крок 7: Встановлення батареї

- Виберіть місце для установки батареї.

- Закріпіть батарею за допомогою стрічок або інших кріплень. Підключіть батарею до ESC.

Крок 8: Прокладка проводів

- Обережно прокласти усі провідники, використовуючи термоусаджувальну трубку та ізоляційну стрічку для захисту з'єднань.

Крок 9: Налаштування системи HereLink

- За допомогою комп'ютера налаштувати пульт дистанційного керування та дрон, використовуючи програмне забезпечення Ardupilot.

- Здійснити перший тестовий політ в безпечному місці.



Рис. 4.5 Двигуни та елементи БПЛА на основі корпусу Diatone KN-104

Висновок щодо створення та впровадження проєкту дрона

Розроблений безпілотний літальний апарат (БПЛА) на основі корпусу Diatone KN-104 і обраних компонентів є сучасним та ефективним рішенням для виконання широкого спектра завдань.

Основні переваги цього дрона включають:

1. Надійність і продуктивність

Гранична швидкість польоту до 140 км/год і висота польоту до 7 км забезпечують можливість виконання завдань у різних умовах.

Рама з вуглецевого волокна забезпечить ударостійкість БПЛА та стійкість конструкції при складних погодних умовах.

2. Інноваційна система передачі даних

Використання Herelink RC/HD Video з парою антен Maple Wireless 2.4G 9dBi забезпечує стабільний цифровий зв'язок, що дозволяє передавати дані, відео та телеметрію на відстань до 20 км.

Інтеграція з автопілотами Cube і Ardupilot значно розширює функціонал і дозволяє адаптувати дрон під специфічні завдання.

3. Високоточна навігація

GPS-модуль Holybro H-RTK F9P DroneCAN Rover забезпечує позиціювання з точністю до сантиметра, що є надзвичайно важливим для виконання завдань у сфері геодезії, картографії та точкових місій.

4. Оптимальна система візуалізації

Камера CADDXFPV Ratel Pro із високою роздільною здатністю, широким динамічним діапазоном та компактністю забезпечує якісне зображення, надійність і гнучкість у використанні.

Потенціал впровадження проєкту

Завдяки інтеграції сучасних компонентів, цей дрон може бути ефективно використаний у таких сферах:

- Інспекція промислових об'єктів та інфраструктури.
- Геодезичні та картографічні дослідження.
- Моніторинг і контроль у сільському господарстві.
- Пошуково-рятувальні операції та спостереження.

Усі вибрані системи та модулі забезпечують дрону високу продуктивність, гнучкість і надійність, роблячи його універсальним інструментом для різноманітних професійних завдань.

Варіанти використання зібраного дрона:

Розвідка:

- оцінка масштабів та характеру надзвичайної ситуації.
- виявлення постраждалих та визначення оптимальних шляхів доступу до них.
- моніторинг розвитку пожеж, повеней та інших стихійних лих.

Доставка вантажів:

- швидка доставка медикаментів, продуктів харчування та інших необхідних речей у віддалені або важкодоступні райони.
- транспортування невеликих інструментів та обладнання для рятувальних робіт.

Комунікації:

- створення тимчасових мереж зв'язку в районах, де основна інфраструктура зруйнована.

- передача голосових повідомлень та даних між членами рятувальної команди. - **Моніторинг довкілля:**

- контроль за станом навколишнього середовища, виявлення забруднень та інших екологічних проблем.

Переваги:

- швидкість та ефективність: БПЛА дозволяє оперативно отримувати необхідну інформацію та реагувати на зміни ситуації.

- безпека: зменшення ризику для життя рятувальників при проведенні небезпечних операцій.

- точність: система HereLink забезпечує високу точність позиціонування та стабільний зв'язок.

- гнучкість: модульна конструкція дозволяє адаптувати дрон до різних завдань.

- економічність: зменшення витрат на проведення рятувальних операцій.

ВИСНОВКИ

Останні десятиліття показали, що розвиток безпілотних апаратних систем (БАС) кардинально змінює різні галузі, включаючи роботу екстрених служб. Сучасні безпілотні системи дозволяють оперативно вирішувати завдання в умовах високих ризиків, що робить їх незамінними для моніторингу, координації та розвідки під час кризових ситуацій. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю швидкого реагування на природні катастрофи, техногенні аварії та інші надзвичайні події, де використання БАС сприяє підвищенню оперативності та ефективності рятувальних операцій.

У ході проведеного дослідження було розглянуто еволюцію, сучасний стан, типи та сфери застосування безпілотних апаратних систем (БАС), а також національну нормативно-правову базу, що регулює їх використання.

На основі аналізу отримано наступні результати:

Початок XX століття ознаменувався створенням перших прототипів безпілотних апаратів, орієнтованих на військові цілі. Еволюція безпілотників пройшла кілька етапів: від механічних автоматизованих систем до сучасних багатофункціональних автономних пристроїв. Удосконалення технологій, зокрема в галузях навігації, штучного інтелекту та обробки даних, значно розширило функціональні можливості БАС.

Ідентифіковано основні типи БАС: літальні, наземні, водні та підводні безпілотні системи. Встановлено їхні характерні особливості та ключові сфери використання. Розглянуто перехідні системи, які поєднують властивості різних типів БАС, забезпечуючи універсальність та ефективність виконання завдань.

Виявлено сфери використання. Безпілотні апаратні системи застосовуються у військовій справі, логістиці, сільському господарстві, охороні довкілля, будівництві, медицині, кіноіндустрії, наукових дослідженнях, рятувальних операціях, правоохоронній діяльності та багатьох інших галузях. Унікальні можливості БАС дозволяють вирішувати завдання, які є складними або

небезпечними для виконання людиною, що робить їх незамінними в багатьох сферах.

Нормативно-правове регулювання в Україні. Національна нормативно-правова база передбачає використання БАС у рамках чинного законодавства, зокрема Повітряного кодексу України, авіаційних правил та положень про використання повітряного простору. Встановлено чіткі обмеження та вимоги щодо виконання польотів, які гарантують безпеку та ефективність використання безпілотних систем.

Застосування безпілотних апаратних систем (БАС) в екстрених службах дозволяє значно підвищити ефективність реагування на надзвичайні ситуації. До основних переваг БАС належать швидкість реагування, здатність досягати важкодоступних зон, зниження ризику для рятувальників, розширення можливостей моніторингу та спостереження, а також оптимізація використання ресурсів. Проте існують і певні недоліки, зокрема обмежена тривалість польотів, залежність від погодних умов, правові обмеження, а також ризики технічних несправностей та кіберзагроз. Для забезпечення максимальної ефективності використання БАС необхідно враховувати ці фактори та постійно вдосконалювати технології та нормативно-правову базу.

Для успішного впровадження БАС в екстрених службах важливо дотримуватись високих технічних стандартів. Зокрема, необхідно забезпечити надійний зв'язок між дронами та операторами, тривалість польоту дронів не менше 30 хвилин, а також точність навігації в складних умовах. Крім того, технічні засоби повинні бути оснащені сенсорами уникнення перешкод для забезпечення безпечного польоту. Водночас, правове регулювання використання БАС потребує врахування міжнародних та національних стандартів, зокрема вимог щодо висоти польотів, дистанцій, а також захисту особистих даних. Особливо важливо враховувати вплив БАС на приватність громадян і забезпечити відповідність регламентам щодо захисту даних, таким як GDPR в Європейському Союзі.

Розробка рекомендацій щодо впровадження безпілотних апаратних систем у роботу екстрених служб є важливим кроком до підвищення ефективності та оперативності реагування на надзвичайні ситуації. Проєкт «Рекомендації БАС 0.1» має на меті створення прототипу багатофункціонального безпілотного літального апарату (БПЛА) середнього радіусу дії, що володіє базовим набором функцій і модульною конструкцією, яка дозволить згодом розширювати можливості БАС відповідно до нових потреб екстрених служб.

Проєкт було розроблено за методологією ітеративного підходу, що дозволило швидко адаптуватися до змін, враховувати зворотний зв'язок та своєчасно вносити корективи. Це сприяло створенню прототипу, який відповідає встановленим вимогам щодо зліту, посадки, утримання висоти, руху за заданою траєкторією та передачі відеосигналу в реальному часі. Всі ці функції забезпечують ефективність використання БПЛА в реальних умовах екстрених ситуацій.

Завдяки модульній конструкції, БПЛА має потенціал для подальшого розвитку, що дозволяє інтегрувати додаткові функції і технології в майбутньому. Також важливим аспектом є забезпечення стабільної роботи в складних погодних умовах, що є критичним для застосування безпілотних систем у надзвичайних ситуаціях.

Усі технічні характеристики прототипу були розроблені з урахуванням вимог безпеки, надійності та сумісності з існуючим обладнанням екстрених служб, що забезпечує легкість впровадження безпілотних систем у їхню роботу. Зокрема, передача відеосигналу в реальному часі дозволяє оперативно отримувати інформацію про ситуацію на місці, що значно прискорює прийняття рішень.

Ризики, пов'язані з перевищенням бюджету, зривом дедлайнів та невідповідністю цілей, були оцінені як низькі, завдяки чітко визначеним термінам та жорсткому контролю за виконанням кожного етапу проєкту. Це дозволило забезпечити відповідність прототипу вимогам, зберігши ефективне використання ресурсів і бюджетних коштів.

Очікуваний результат проекту полягає в створенні прототипу БАС, який буде готовий до інтеграції в роботу екстрених служб та може стати основою для подальшого масштабування та впровадження інновацій. Подальший розвиток цієї технології відкриває нові можливості для ефективного використання безпілотних апаратних систем у сферах, де швидкість реагування є критично важливою.

Розроблені рекомендації та прикладні моделі показують потенціал БАС у покращенні ефективності екстрених служб завдяки підвищенню точності збору інформації, швидкості реагування та безпеки для рятувальників. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення взаємодії між безпілотниками та наземними службами, що дозволить розширити можливості використання БАС та сприятиме їхньому впровадженню в системи управління надзвичайними ситуаціями.

Список використаної літератури

1. Державіаслужба України. Норми для експлуатації БАС. Київ, 2022.
2. Austin, R. (2010). *Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment*. John Wiley & Sons.
3. Brown, A. "Battery Life in Emergency Drones: Standards and Requirements." *Emergency Drone Technology Review*, 2020.
4. Brown, S., & Smith, J. (2021). *Legal and Ethical Challenges of Drone Usage in Emergency Services*. *Journal of Unmanned Systems*, 12(3), 245-259.
5. Chen, L., Zhao, Q., & Wang, H. (2022). *Thermal Imaging in UAV Search and Rescue Missions*. *International Journal of Robotics Research*, 31(5), 405-419.
6. Clarke, R. (2019). Origins and evolution of UAVs: Towards civilian applications. *Journal of Applied Science & Engineering Innovation*, 6(3), 34-42.
7. European Union. General Data Protection Regulation (GDPR) Compliance for UAVs. *EU Publications*, 2020.
8. Garcia, L., et al. (2021). *Ground-Based Robotics for Agriculture*. Elsevier.
9. Gertler, J. (2012). *U.S. Unmanned Aerial Systems*. Congressional Research Service.
10. ICAO. "Standards for Small Unmanned Aircraft Systems." *ICAO Guidance*, 2020.
11. Johnson, M. (2020). *Advances in Drone Technology*. Springer.
12. Kim, D., & Park, H. (2020). *Drones in Firefighting and Hazardous Material Operations*. *Fire Safety Science*, 29(1), 82-93.
13. Kumar, V., & Michael, N. (2012). Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles. *The International Journal of Robotics Research*, 31(11), 1279-1291.
14. Kumar, R., Singh, T., & Patel, V. (2022). *Weather Constraints in Drone Operations for Emergency Response*. *Disaster Management and Response*, 45(7), 345-360.
15. Le Mieux, J. (2016). How drones are being used for disaster response and relief operations. *International Journal of Disaster Risk Science*, 7(2), 121-130.

16. Lee, H., & Kim, S. (2022). *Environmental Monitoring with Aquatic Drones*. Journal of Marine Technology, 45(3), 120-135.
17. Lee, H. & Kim, S. Advancements in 5G Communication for Drone Networks. *IEEE Communications Magazine*, 2022.
18. Miller, P. (2020). *Underwater Autonomous Vehicles for Oceanographic Research*. Marine Technology Journal.
19. Miller, J., Ortega, L., & Ramirez, P. (2023). *Cybersecurity in UAVs Used by Emergency Services: A Survey*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 59(2), 850-867.
20. Roberts, C. "Privacy Implications of UAV Surveillance." *International Journal of Law and Technology*, 2021.
21. Rudra, S., Wilson, K., & Lee, J. (2021). *Efficiency of UAVs in Disaster Management*. Remote Sensing Applications, 15(2), 101-112.
22. Smith, J. (2019). *Fixed-Wing Drones for Large Scale Surveys*. Wiley.
23. Smith, J., et al. Telecommunication Standards for UAVs in Emergency Services. *Journal of Aerial Robotics*, 2021.
24. Thompson, R. (2021). *VTOL Drones and Their Application in Remote Areas*. IEEE Robotics Magazine, 10(1), 25-33.
25. Yang, B., & Li, S. (2021). *Battery Life Limitation of UAVs in Long-duration Operations*. Journal of Energy Systems, 18(6), 123-134.
26. Yu, T. et al. "Hybrid Power Solutions for Extended Drone Missions." *Journal of Unmanned Aerial Systems*, 2019.
27. Zhang, L. "Positioning Technologies for Enhanced UAV Navigation." *Journal of Navigation and Remote Sensing*, 2021.
28. Zhao, F., & Zhang, Y. (2023). *Economic Benefits of UAV Deployment in Public Safety*. Public Administration and Technology, 24(9), 610-625.

Демонстраційні матеріали