

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Універсальна платформа для налагодження та керування БПЛА

мультироторного типу
(тема)

Виконав:

студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-3

Роменський О. О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Хрустальова С. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту:

Зав.кафедри

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата

23.06.2024

Роменський О.О.



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«25» червня 2024р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові _____ Роменському Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Універсальна платформа для налагодження та керування БПЛА мультироторного типу
затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 544 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24.06.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи
Дані про види мультироторних систем;
Дані про відео системи;
Дані про класифікацію та методи розпізнавання об'єктів.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
Аналіз існуючих технічних рішень, та шляхів підвищення експлуатаційних характеристик БПЛА мультироторного типу;
Розробка конструкції мультироторних експериментально-тренувальних літальних апаратів для універсальної навчальної платформи;
Виготовлення діючого експериментального прототипу платформи;
Проектування відео системи та розробка програмного забезпечення;
Безпека праці.

Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(*.pptx)

Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до кваліфікаційної роботи	10.01.24	виконано
2	Вступ	25.01.24	виконано
3	Аналіз існуючих технічних рішень та шляхів підвищення експлуатаційних характеристик БПЛА	20.03.24	виконано
4	Розробка конструкції мультироторних експериментально-тренувальних літальних апаратів для універсальної навчальної платформи	17.04.24	виконано
5	Проектування відео системи та розробка програмного забезпечення	27.05.24	виконано
6	Безпека праці	29.05.24	виконано
7	Висновки	05.06.24	виконано
8	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом StrikePlagiarist	23.06.24	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	23.06.24	виконано
10	Подання роботи на рецензію	24.06.24	виконано
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри	25.06.24	виконано
12	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	26.06.24	виконано

Дата видачі завдання 10.01.2024 р.

Студент _____
(підпис)

Роменський О. О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

доцент Хрустальова С. В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 1 табл., 57 рис., 1 дод., 12 джерел.

РОЗРОБКА, БПЛ, НАВЧАЛЬНА ПЛАТФОРМА, МУЛЬТИКОПТЕРИ,
FPV, ВІДЕОСИСТЕМА.

Об'єктом розробки є процес розробки універсальної, спеціалізованої платформи, що включає в себе два оригінальні, мультироторні літальні апарати.

Предметом розробки є універсальна платформа на базі двох мультироторних літальних апаратів, що призначена для підготовки спеціалістів БПЛА.

Мета роботи полягає в створенні технічної бази для підготовки спеціалістів безпілотної авіації за рахунок розробки універсальної платформи для налагодження і керування БПЛА мультироторного типу.

В ході роботи було проаналізовано існуючі компоновки рам, проведено підбір та тестування електричних силових агрегатів. На базі цього аналізу було розроблено структуру універсальної платформи, виготовлено діючий, експериментальний зразок розробленої платформи, обрано відео систему на мультикоптери.

Результатом роботи є працююча універсальна платформа для налагодження і керування БПЛА мультироторного типу.

Також отримані результати відповідають переліку Цілей сталого розвитку, зокрема Цілі 11 Сталий розвиток міст та громад (п. 11.4 та 11.5).

THE ABSTRACT

Explanatory note: 73 p., 1 table, 57 fig., 1 add., 12 sources.

DEVELOPMENT, UAV, TRAINING PLATFORM, MULTICOPTERS, FPV, VIDEO SYSTEM.

The object of development is the process of developing a universal, specialized platform, which includes two original, multi-rotor aircraft.

The subject of development is a universal platform based on two multi-rotor aircraft intended for the training of UAV specialists.

The purpose of the work is to create a technical base for the training of unmanned aviation specialists through the development of a universal platform for setting up and controlling multi-rotor UAVs.

In the course of the work, existing frame layouts were analyzed, selection and testing of electric power units was carried out. Based on this analysis, the structure of the universal platform was developed, an operational, experimental sample of the developed platform was manufactured, and a video system for multicopters was chosen.

The result of the work is a working universal platform for setting up and controlling a multi-rotor UAV.

Also, the obtained results correspond to the list of Goals of sustainable development, in particular, Goal 11 Sustainable development of cities and communities (clauses 11.4 and 11.5).

ЗВІТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ	10
1 Постановка завдання та аналіз існуючих рішень	12
1.1 Актуальність розробки навчальної платформи для підготовки спеціалістів безпілотної авіації.....	12
1.2 Аналіз існуючих технічних рішень	13
1.3 Аналіз шляхів підвищення експлуатаційних характеристик мультироторних БПЛА	18
1.4 Визначення вимог до розроблюваної платформи	20
2 Розробка конструкції мультироторних експериментально-тренувальних літальних апаратів для універсальної навчальної платформи	23
2.1 Принцип роботи, структура, та особливості конструкції	23
2.2 Підбір стандартних, покупних агрегатів для базової комплектації навчальної платформи	32
2.2.1 Вибір базового контролера польоту	32
2.2.2. Вибір апаратури керування	34
2.3 Компоновка електричних силових агрегатів та їх тестування	35
2.4 Компоновка рами, розробка і виготовлення оригінальних деталей мультикоптерів	42
3 Проектування відео системи та розробка програмного забезпечення	47
3.1 Аналіз відео систем для встановлення на розроблюваний коптер....	49
3.2 Система розпізнавання об'єктів YOLO, характеристики та сфери використання.....	53
3.3 Розробка власного датасету на базі Ultralytics Yolo для виявлення та сегментації об'єктів на зображенні.....	57
4 Охорона праці	61

Висновки	65
Перелік посилань	66
Додаток А Демонстраційний матеріал	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

LiPo – літій-полімерні акумуляторні батареї;

ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки;

FPV – first person view;

OSD – on screen display

YOLO - You Only Look Once.

ВСТУП

Перспективним напрямком розвитку сучасної авіації є розробка та експлуатація безпілотних літальних апаратів.

На цей час відбувається зміна та удосконалення підходів що до розробки та застосування безпіотної авіаційної техніки у військовій та цивільній областях. Це сприяє появі великої кількості функціонально різних видів БПЛА. Діапазон існуючих і розроблюваних апаратів дуже широкий: від мікро- та міні-БПЛА до важких багатотонних апаратів, а також БПЛА, здатних виконувати дальні, висотні та тривалі за часом польоти. В умовах ведення повномасштабної війни особливо важливим є впровадження власних розробок у цій галузі для підвищення обороноздатності нашої держави, хоча призначення сучасних БПЛА не обмежується лише військовою областю. Стрімко розширюється і сфера їхнього цивільного застосування у таких галузях, як: нафтогазова промисловість, транспорт, будівництво, сільське господарство, зв'язок та ін..

Разом зі стрімко зростаючою кількістю БПЛА підвищується попит на кваліфікованих спеціалістів по їх обслуговуванню. Через це актуальності набуває питання створення технічної бази для удосконалення процесу вивчення мультикоптерів, отримання навичок їх побудови, налагодження, керування і подальшого виконання спеціалізованих завдань таких як: аеровідеоз'йомка, виконання автоматизованих польотів на велику відстань по заданній програмі та проведення дальніх польотів з керуванням від першого лиця за допомогою відеокамери FPV.

Мета роботи – створення технічної бази для підготовки спеціалістів безпіотної авіації за рахунок розробки універсальної платформи для налагодження і керування БПЛА мультироторного типу.

Об'єкт розробки – процес розробки універсальної, спеціалізованої платформи, що включає в себе два оригінальні, мультироторні літальні апарати.

Предмет розробки – універсальна платформа на базі двох мультироторних літальних апаратів, що призначена для підготовки спеціалістів БПЛА.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих конструкцій мультикоптерів;
- розробити структурну схему макету;
- провести підбір елементної бази та відеосистеми для платформи;
- розробити і виготовити діючий прототип платформи;
- провести налагодження параметрів електричних модулів;
- провести аналіз існуючих систем ідентифікації об'єкта;
- розробити власний датасет для ідентифікації об'єктів по відеокамері;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з

методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Актуальність розробки платформи для підготовки спеціалістів безпілотної авіації

Перспективним напрямком розвитку сучасної авіації є розробка та експлуатація безпілотних літальних апаратів.

Діапазон існуючих і розроблюваних апаратів дуже широкий: від мікро- та міні-БПЛА до важких багатотонних апаратів, а також БПЛА, здатних виконувати дальні, висотні та тривалі за часом польоти. В умовах ведення повномасштабної війни особливо важливим є впровадження власних розробок у цій галузі для підвищення обороноздатності нашої держави, хоча призначення сучасних БПЛА не обмежується лише військовою областю. Їх сфера використання досить широка [3]:

- збір інформації, як військового, так і цивільного призначення (стандоріг, мостів, трубопроводів, ліній електропередач та інше);
- вивчення ландшафту місцевості, моніторинг лісових масивів, гірських місцевостей, акваторій річок та узбережжя морів;
- доставка об'єктів у певну точку за заданим маршрутом;
- проведення відеоспостереження живої природи, вивчення ареалів проживання та шляхів міграції рідкісних видів птахів й тварин, боротьба з браконьєрством;
- ведення метеорологічних спостережень;
- допомога при проведенні будівництва різних об'єктів;
- відеоз'йомка з повітря сцен кінофільмів, репортажів, рекламних роликів;
- надання допомоги в діяльності поліції, пожежних служб та рятувальників МНС.

Умовно можливо виділити дві головні функції, які виконують БПЛА:

- проведення відеоз'йомки з використанням різних спеціалізованих відеокамер, фотоапаратів, тепловізорів;
- доставка вантажів та спеціального обладнання по заданому маршруту.

При цьому керування мультикоптером виконується або від першого лица FPV за допомогою відеокамери або по заданій програмі.

Разом зі стрімко зростаючою кількістю БПЛА підвищується попит на кваліфікованих спеціалістів по їх обслуговуванню. Вивчаючи мультироторні літальні апарати та готуючи майбутніх спеціалістів БПЛА необхідно зосередити увагу на напрацюванні навичок керування БПЛА по FPV та створенню програм польотів по заданому маршруту. Для цього потрібен спеціалізований комплекс для підготовки спеціалістів безпілотної авіації, що буде використовуватися для подальшого відпрацювання спеціалізованих польотів, роботи системи моніторингу об'єктів та системи оминання перешкод, алгоритму дій в аварійних ситуаціях, розробки та випробування аварійної парашутної системи.

У даній роботі запропоновано проект універсальної навчальної платформи для налагодження та керування БПЛА мультироторного типу, метою якого є створення технічної бази для удосконалення процесу вивчення мультикоптерів, отримання навичок їх побудови, налагодження, керування і подальшого виконання спеціалізованих завдань таких як: аеровідеоз'йомка, трекінг об'єктів за допомогою відеокамери, виконання автоматизованих польотів на велику відстань по заданій програмі та проведення дальніх польотів з керуванням від першого лица.

1.2 Аналіз існуючих технічних рішень

Безпілотний літальний апарат – це літальний апарат багаторазового використання без екіпажу на борту, керування яким здійснюється з

використанням засобів робототехніки. За принципом польоту БПЛА можливо розділити на три основні групи [4]:

- БПЛА з несучим крилом (літаки, мотодельтаплани, мотопароплани);
- БПЛА з несучим пропелером (гвинтокрили, автожири, мультикоптери);
- аеростатичні БПЛА (дирижаблі, аеростати).

Дана робота присвячена мультикоптерам – мультироторним безпілотним літальним апаратам. Головною перевагою мультикоптерів є здатність здійснювати зліт і посадку по вертикалі в будь-якому місці, де є рівний майданчик та зависати нерухомо в одній точці під час польоту.

Мультироторні системи мають від трьох до восьми несучих пропелерів, розміщених на електродвигунах кругом центральної платформи. В таких системах керування в просторі здійснюється за рахунок зміни швидкості обертів пропелерів з відповідної сторони літального апарата (рис. 1.1). Рівномірне прискорення всіх пропелерів – під'йом; прискорення пропелерів з одного боку і уповільнення з іншого – рух в сторону; прискорення пропелерів, що обертаються за годинниковою стрілкою, і уповільнення обертаючихся проти – поворот. Така конструкція забезпечує стабільність в польоті, маневреність, простоту керування, надійність.

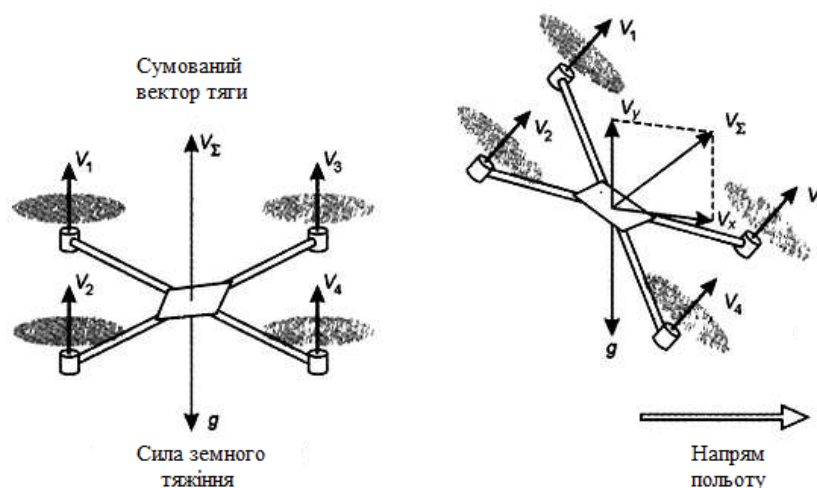


Рисунок 1.1 – Принцип польоту коптера

Від кількості несучих пропелерів мультироторного літального апарата залежить його вантажопідйомність, надійність, маневреність, стабільність польоту. Відомо, що при відмові одного двигуна 3-коптер і 4-коптер неминуче потерпають аварії, 6-коптер здійснює вимушену аварійну посадку, а 8-коптер може продовжити політ з обмеженням вантажопідйомності і маневреності. Тому комерційні коптери мають 6 і більше несучих гвинтів.

Наразі масового використання в коптерах набули електричні силові агрегати. З одного боку це спрощує конструкцію і експлуатацію коптерів, з іншого – обмежує вантажопідйомність і час польоту. Але, не зважаючи на це, коптери є досить популярними серед БПЛА, а їх розробка і модернізація є одним з головних напрямків в авіабудуванні.

Розмір коптера вимірюється по діаметру кола в яке умовно вписані його електродвигуни. Можливо виділити чотири основні класи.

Клас міні коптерів – найменші моделі коптерів розмірами від 50 до 200 мм. Такі безпілотники мають мінімальну вагу, з малим радіусом дії і підходять для пілотування в закритих приміщеннях.

Клас малих коптерів – поєднує літальні апарати розмірами від 250 до 450 мм, вагою 0,5 – 0,8 кг, які мають високу маневреність, можуть розганятися до 120 км/год. Цілком підходять для польотів в закритих залах і на вулиці. Часто використовуються для гонок та спортивних змагань.

Клас середніх коптерів – які мають розміри 500-650 мм, вагу від 1 кг до 2,5 кг, поєднують маневреність і вантажопідйомність. Найбільш розповсюджений клас, до якого входять спортивні, дослідницькі, навчально-тренувальні та апарати для відеоз'йомок.

Клас великих коптерів – розміри від 700 мм і більше. Мають солідну вантажопідйомність, це важкі коптери, як правило їх роблять не маневреними, тому що маневреність потребує суттєвої потужності від акумуляторної батареї. Важким прийнято вважати коптер від 2,5 кг і більше, такий літальний апарат будується з 4 - 6 - 8 двигунами, чим більше двигунів тим більш стабільний коптер в польоті. Це спеціалізовані та комерційні коптери.

В процесі еволюційного розвитку мультироторних систем сформувались різні схеми компоновки агрегатів коптерів. Класичною стала схема коптера, яка складається з центральної платформи, основи (рис. 1.2), на якій закріплюються основні модулі: контролер польоту, радіоприймач, акумулятор, модуль системи живлення, регулятори обертів електродвигунів, додаткове обладнання (GPS, відеокамера, модуль телеметрії). До платформи по периметру кріпляться від 3 до 8 променів, на яких встановлено електродвигуни з пропелерами. Шасі коптера може закріплюватися (рис. 1.3) до центральної платформи або до променів. Така компоновка мультироторних літальних апаратів зарекомендувала себе надійністю, простотою та універсальністю



Рисунок 1.2 – Класична компоновка коптера



а)



б)

Рисунок 1.3 – Кріплення шасі: а – до центральної платформи, б – до променів

Існують інші, спеціалізовані схеми компоновки коптерів в залежності від сфери використання. В якості прикладу розглянемо компоновку Н-коптера (рис. 1.4). Особливістю такої компоновки є збільшена площа платформи основи, що дає можливість закріплювати додаткове обладнання. Також при встановленні курсової відеокамери в передній частині Н-коптера, при куті огляду камери 120° в поле зору не потрапляють пропелери, що є досить корисним при відеоз'йомках.

Для мультикоптерів, що входять до складу розроблюваної універсальної навчальної платформи доцільно вибрати класичну компоновку, як найбільш універсальну, просту та зручну.



Рисунок 1.4 – Компоновка Н-коптер

Аналізуючи чисельні конструкції коптерів, приходимо до наступних висновків. Середні розміри коптерів для проведення навчання і тренування лежать в діапазоні від 450-700 мм, при цьому в залежності від конструктивних особливостей, використаних матеріалів і комплектуючих, маса таких коптерів знаходиться в межах 1200-1800 г. Для забезпечення маневреності і стабільності польоту сумарний запас тяги всіх силових агрегатів коптера повинен бути в 1,8-2 рази більше його маси.

1.3 Аналіз шляхів підвищення експлуатаційних характеристик мультироторних БПЛА

Мультикоптери є джерелом підвищеної небезпеки для людей та оточуючого середовища тому при розробці необхідно приділити максимальну увагу надійності та безпеці їх експлуатації. Разом з широкими функціональними можливостями, вони мають певні обмеження. Вантажопідйомність мультикоптера та час польоту – найважливіші характеристики літального апарата. Дійсно, якщо уявити, що мультикоптер міг би піднімати досить велику вагу і летіти при цьому довго і далеко, то ціни б цьому чуду техніки не було. В реаліях не так.

В мультироторах, як і в гвинтокрилах, підйомна сила створюється за рахунок несучих пропелерів. Вони не мають несучих аеродинамічних поверхонь, крила, аеродинамічного фюзеляжу, як у літаків і не використовують аеростатичний принцип польоту, як дирижаблі. В силу оригінальної конструкції самих літальних апаратів та алгоритмів їх керування в мультикоптерах використовуються електричні силові агрегати. Тому основними напрямками підвищення польотних характеристик мультикоптерів є:

- підвищення ефективності силових агрегатів, за рахунок оптимального підбору комплектуючих вузлів (двигунів, регуляторів обертів, пропелерів) в залежності від поставленої мети (забезпечити максимальну потужність та вантажопідйомність або максимальний час польоту);
- збільшення енергоємності джерела живлення, за рахунок використання акумуляторних батарей виготовлених по новітнім технологіям з підвищеною ємністю й струмовіддачею та зменшеною масою;
- оптимізація конструкції рами, зменшення маси літального апарата в цілому за рахунок використання більш прогресивних матеріалів та зменшення шкідливого впливу сторонніх факторів в польоті БПЛА (наприклад поривів вітру).

Практично доведено, що найбільш стабільний політ забезпечують відносно важкі апарати з більшим числом пропелерів. Вони мають кращу стійкість до вітру, прийнятну вантажопідйомність, в критичних ситуаціях (при відмові одного силового агрегату) дозволяють уникати аварій (виконувати аварійні посадки). На рисунку 1.5 представлено класичний октокоптер, та мультикоптер з коаксіальною (співвісною) схемою розташування несучих пропелерів. Кожна компоновочна схема має свої переваги і недоліки. Для підвищення вантажопід'ємності краще підходять класичні октокоптери, але вони мають більші габарити і масу. Апарати з коаксіальним розміщенням пропелерів, на відміну від класичних (один пропелер на один промінь), не повністю використовують енергію двигунів.



Рисунок 1.5 – Компоновочні схеми 8-коптера: а – класична, б – коаксильна

Вибір тієї чи іншої схеми компоновки розроблюваних мультикоптерів в першу чергу буде зроблено на основі результатів стендових випробувань силових агрегатів.

Інша проблема – це малий час польоту – швидко вичерпується запас електроенергії акумуляторів. При проектуванні мультикоптерів існує певна дилема між польотною масою літального апарата, вагою акумуляторів, вагою корисного вантажу та часом польоту. Якщо збільшити ємність акумуляторів шляхом збільшення їх кількості – збільшиться маса мультикоптера, а час польоту суттєво не зросте. Додаткова енергія акумуляторів буде витрачатись на компенсацію збільшення маси. Правильність підбору акумуляторів суттєво впливає на польотні характеристики мультикоптера.

Необхідно передбачити гнучкість конструкції, можливість варіювати польотними характеристиками в залежності від поставленого завдання, шляхом підбору комплектуючих агрегатів (акумуляторів, пропелерів, додаткового цільового обладнання).

При розробці мультикоптера доцільно приділити увагу ергономіці конструкції, зручності експлуатації та транспортування.

1.4 Визначення вимог до розроблюваного комплексу для підготовки спеціалістів безпілотної авіації

В Інтернеті є спеціалізовані форуми та співтовариства [5] де ведуться науковообгрунтовані обговорення проблем безпілотної авіації. Проаналізувавши їх, можливо сформулювати основні технічні параметри мультикоптерів:

- габаритні розміри, вимірюються по діаметру кола, в яке умовно вписані всі електродвигуни мультикоптера. Залежать від цільового призначення, кількості та розмірів несучих пропелерів, що в свою чергу впливає на максимальну вантажопід'ємність та швидкість польоту;
- акумулятори. Ключовим фактором, який визначає тривалість польоту мультикоптера є ємність акумуляторної батареї. Вимірюється ємність в міліампер на годину, чим показник вищий, тим довше мультикоптер літає на одному заряді;
- тривалість польоту. Неоднозначний параметр, оскільки він може визначатися як часом «зависання» в просторі, так і моментом, протягом якого мультикоптер активно маневрує. Основними факторами, які впливають на збільшення часу польоту є: стиль і техніка самого польоту, акумулятори та їх ємність, коефіцієнт корисного навантаження мультикоптера, тип двигунів і пропелерів;
- польотна маса. Складається з маси самого мультикоптера та маси цільового навантаження. Впливає на керованість, здатність чинити опір вітру,

час та швидкість польоту. Безпосередньо залежить від габаритів та конструкції мультикоптера;

- маса цільового навантаження. До складу цільового навантаження мультикоптера може входити комбінований варіант з відеокамери з високою роздільною здатністю (Full HD) і оптичним збільшенням, тепловізора, який дозволяє здійснювати зйомку в нічний час доби та фотоапарата. Використання гіростабілізованого підвісу помітно підвищує якість одержуваних зображень. Також мультикоптери можуть нести на собі різне вимірювальне обладнання;

- радіус дії. Максимальна відстань, на яку мультикоптер здатний полетіти з подальшим поверненням в точку зльоту. Залежить від конструкції, цільового призначення мультикоптера та енергоємності акумуляторної батареї;

- максимальна висота польоту;

- швидкість польоту. Залежить від цільового призначення, кількості та розмірів несучих пропелерів мультикоптера.

Враховуючи все вище описане та спираючись на власний досвід і досвід представлений на спеціалізованих коптерних форумах, було сформовано основні вимоги яким повинні відповідати розроблювані мультикоптери.

Для коптера-конструктора:

- бути легкозбірним, дозволяти компонувати з універсальних складових вузлів 3,4,6-коптер, по схемам + та x;

- коптер повинен мати розміри у межах 550-600 мм;

- коптер повинен мати повну споряджену масу 1200- 1800 г в залежності від комплектації;

- сумарний запас тяги силових агрегатів повинен в 1,8-2 рази перевищувати масу літального апарата;

- час польоту на одній зарядці акумулятора повинен складати 10-15 хв;

- комплекс повинен надавати можливість легко змінювати базову комплектацію агрегатів та встановлювати додаткове обладнання: GPS, відеокамеру, телеметрію тощо;

– комплекс повинен бути простим в експлуатації, технологічним у виготовленні і ремонті, використовувати доступні матеріали і комплектуючі.

Для 8-коптера:

- габарити рами в зібраному варіанті до 700 мм;
- акумулятори від 8000 мА/год до 12000 мА/год;
- тривалість польоту від 20 хв до 25 хв;
- максимальна злітна маса від 3 кг до 3,2 кг;
- радіус дії 1 км;
- максимальна висота польоту більше 50 м;
- автоматична вертикальна посадка;
- швидкість до 30 км / год;
- навігація: GPS, ГЛОНАСС;
- діапазон робочих температур від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МУЛЬТИРОТОРНИХ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ

2.1 Принцип роботи, структура, та особливості конструкції

Поява коптерів обумовлена досягненнями в області електроніки, приладобудування, використання новітніх матеріалів і технологій. Так поява малогабаритних, напівпровідникових акселерометрів, гіроскопів і барометрів дала можливість зробити досить складні системи керування, а поява потужних електродвигунів з неодимовими магнітами і літєвих акумуляторів забезпечила прийнятні вантажопідйомність і час польоту мультироторних літальних апаратів. Як правило коптери мають парну кількість несучих пропелерів. Це зумовлено, по-перше алгоритмом керування коптером, по-друге – при обертанні кожен пропелер створює реактивний момент, який прагне розвернути літальний апарат. Для компенсації цього моменту половина пропелерів обертається за годинниковою стрілкою, а інша половина – проти (рис. 2.1).

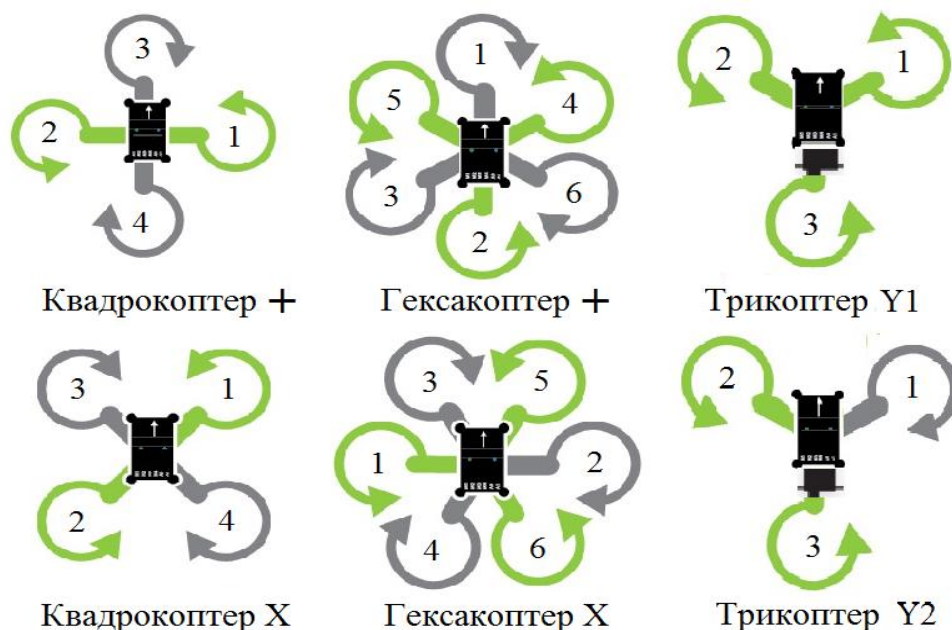


Рисунок 2.1 – Схеми розміщення несучих пропелерів в мультироторних літальних апаратах різних конструктивних схем

Виключенням є трикоптер. Існують трикоптери в яких всі три пропелери обертаються проти годинникової стрілки, або два пропелера обертаються проти годинникової стрілки, а третій – за нею. Компенсація реактивного моменту від пропелерів і керування в просторі у 3-коптера здійснюється за рахунок нахилу силового агрегату, розміщеного в хвості. Ця функція виконується спеціальним сервомеханізмом і керується контролером польоту. Тому 3-коптер є найбільш складним у керуванні серед коптерів.

Відзначимо що 4-коптер, 6-коптер, 8-коптер мають подібний алгоритм керування. Збільшення кількості несучих пропелерів сприяє більшій стабільності в польоті і вантажопідйомності.

Розглянемо принцип керування 4-коптером. Обертання пропелерів коптера в режимі реального часу керує спеціалізована обчислювальна система – польотний контролер. Для керування коптерами використовуються 4 команди: Throttle – взліт та зниження, рух в верх-вниз, Pitch – нахил, рух вперед-назад, Roll – нахил, рух вправо-вліво, Yaw – обертання в горизонтальній площині. Ці команди надходять від оператора керування по радіоканалу або, у разі автономного режиму польоту, запрограмовані в польотному контролері.

Синхронна зміна обертів всіх пропелерів призводить до переміщення коптера вертикально: взліт, зависання, зниження (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Принцип керування 4-коптером

Якщо змінювати оберти пропелерів нерівномірно з одного боку літального апарата, то він відхилиться від горизонтального положення в просторі і почне рухатися в протилежний бік. Наприклад, при збільшенні обертів заднього пропелера, задня частина коптера підійметься і коптер полетить вперед. За рахунок нерівномірної зміни обертів всіх пропелерів коптер має можливість летіти в будь-якому напрямку. При нахилі коптера напрям вектора тяги змінюється і коптер починає втрачати висоту, таке явище називається зісковзуванням. Для підтримки висоти при нахилах коптера, польотний контролер проводить компенсацію обертів пропелерів. Польотний контролер постійно опитує вмонтовані датчики: гіроскопи, акселерометри, барометр, сигнали радіоприймача та модуля GPS і на основі отриманих даних розраховує окремо керуючі сигнали для кожного двигуна коптера.

Якщо збільшити оберти пропелерів, що обертаються в один бік, наприклад за годинниковою стрілкою, і в рівній мірі зменшити оберти пропелерів, що обертаються проти годинникової стрілки, то сумарний вектор тяги не зміниться, але реактивний момент розкомпенсується і коптер почне повертатися в горизонтальній площині проти годинникової стрілки.

Оскільки до складу розроблюваного комплексу входять два різні мультироторні експериментально-тренувальні літальні апарати, перший з яких – це оригінальний, спеціалізований модульний конструктор для первинного ознайомлення з конструкціями мультикоптерів, а другий етап проекту - це своєрідна дослідницька платформа з поліпшеними технічними характеристиками на базі 8-коптера яка орієнтована на користувачів з певним досвідом користування мультикоптерами, розберемо окремо їх структуру і комплектацію.

Відповідно для забезпечення функціональних можливостей першого мультикоптера розроблено базову структуру літального апарата. Так як створений коптер – це спеціалізований конструктор, то в залежності від обраної схеми літального апарата структура дещо змінюється. На рисунку 2.3 представлено структуру 4-коптера, 6-коптера (рис. 2.4), 3-коптера (рис. 2.5).

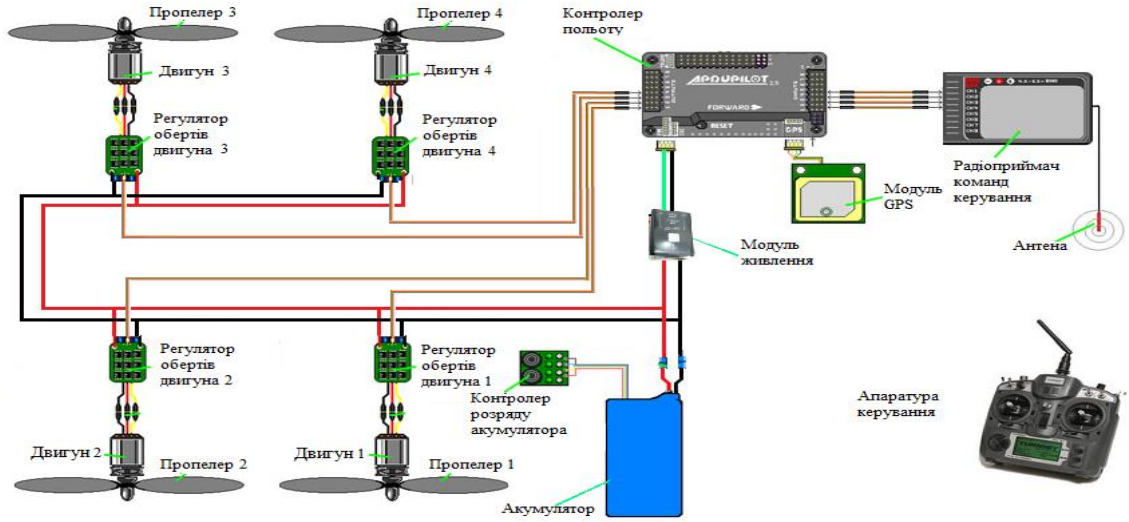


Рисунок 2.3 – Структура мультикоптера в комплектції 4-коптера.

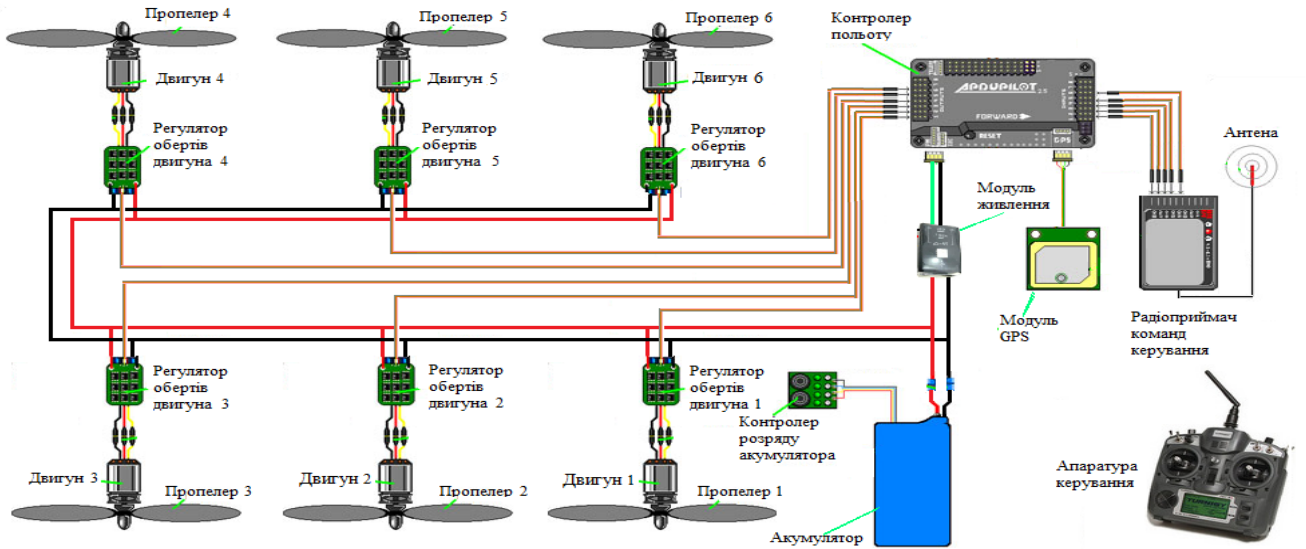


Рисунок 2.4 – Структура мультикоптера в комплектції 6-коптера.

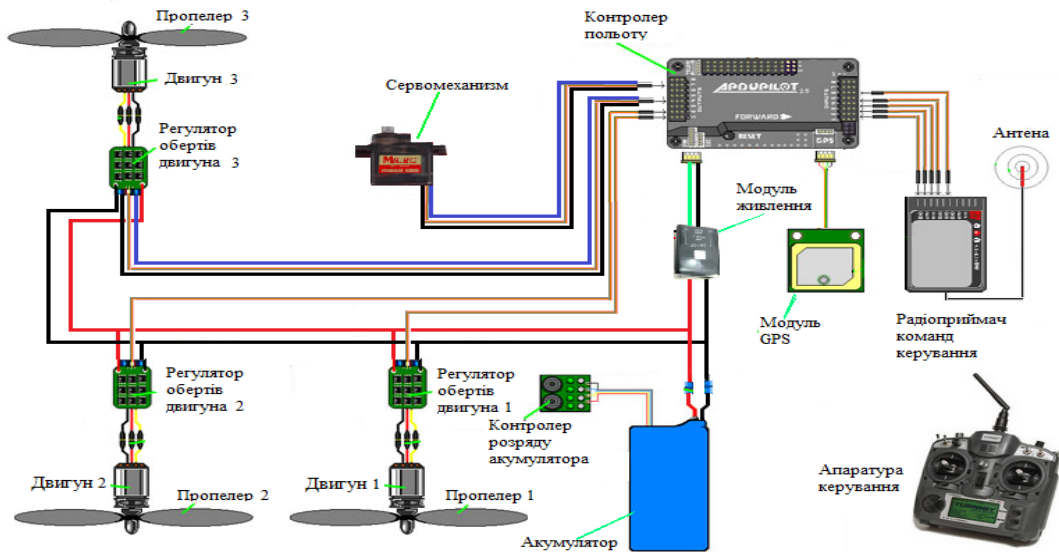


Рисунок 2.5 – Структура мультикоптера в комплектції 3-коптер.

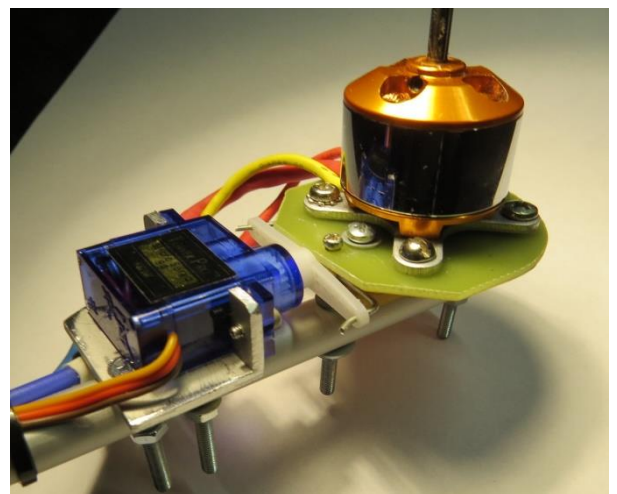
До її складу входять базові модулі: польотний контролер, радіоприймач команд керування, регулятори обертів двигунів, двигуни з пропелерами, акумулятор, контролер розряду акумулятора, модуль живлення, модуль GPS, сервопривід керування. Для розширення можливостей комплекту, в залежності від потреб, базова структура може доповнюватися додатковими модулями: системою телеметрії, відеокамерою з передавачем, гіростабілізованим підвісом та іншими.

Як вже відмічалось раніше, класична схема компоновки мультироторних літальних апаратів характеризується: простотою конструкції, надійністю та універсальністю. Тому мультикоптер скомпоновано по класичній схемі. Основу конструкції складає рама, яка в свою чергу складається з платформи та променів, закріплених по периметру. На центральній платформі встановлено обладнання необхідне для керування коптером: контролер польоту, радіоприймач команд керування, модуль живлення, акумулятор, модуль GPS, модуль телеметрії, відеокамера та інше додаткове обладнання.

Промені являються універсальними складовими вузлами. Від їх кількості і порядку встановлення залежить конфігурація літального апарата. В конструкції коптера використано промені двох типів (рис. 2.6): несучі – 6 штук і один керуючий.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд: а – несучого променя, б –керуючого променя

На несучих променях встановлено електродвигун, пропелер, регулятор обертів електродвигуна, опора шасі. На керуючому промені встановлено електродвигун, пропелер, регулятор обертів електродвигуна, сервомеханізм керування та опора шасі. Несучі промені використовуються при компоновці 4 і 6-коптера. При компоновці 3-коптера використовуються два несучі і один керуючий промені.

Для забезпечення стабільності польоту, маневровості, простоти налагодження необхідно щоб виконувались певні конструктивні умови:

- контролер польоту розташовано в геометричному центрі рами, на площині паралельній площині обертання пропелерів. Ця умова впливає на стабільність і маневровість в польоті;

- контролер керування закріплено на гумових амортизаторах для зменшення впливу вібрації на роботу акселерометрів, та підвищення стабільності польоту;

- радіоприймач команд керування закріплено на площадці контролера польоту. Для підвищення надійності, поміхозахисту, зручності зборки;

- конструкцію рами виготовлено так щоб центр мас знаходився якомога ближче до геометричного центра рами. Для цього акумуляторна батарея, як самий масивний елемент конструкції, закріплено під днищем центральної платформи. Передбачено можливість зміщувати положення акумуляторної батареї для корекції центра мас літального апарата. Допоміжні модулі монтуються за умови, щоб взаємно компенсували зміщення центра мас від геометричного центра коптера;

- модуль GPS, до складу якого входить магнітний компас, розміщується на немагнітній стійці для зменшення впливу магнітних полів від силових дротів;

- опори шасі виконані обтікаємої форми, розміщено на кінцях променів під електродвигунами. Така конструкція дає можливість спростити елементи кріплення електродвигунів і опор шасі, зменшити масу. Розширена база шасі сприяє стабільності при взльоті і посадці.

В свою чергу розроблений октокоптер побудовано за класичною (один пропелер на один промінь) восьмироторною схемою. Така конструкція значно підвищує надійність і безпеку польотів. На відміну від інших компоновочних схем (трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер) при виникненні під час польоту нештатної ситуації (відмова одного з восьми двигунів) 8-коптер продовжить політ, а при відмові двох не поряд розміщених двигунів – здійснить керовану, аварійну посадку. Подальшими кроками по підвищенню безпеки польотів буде розробка системи оминання перешкод, відпрацювання алгоритму дій в аварійних ситуаціях, встановлення аварійної парашутної системи. Разом перераховані дії дадуть нам мультикоптер безпечніший і надійніший ніж існуючі аналоги.

Найбільш розповсюдженими класичними схемами 8-коптерів є “X” (рис. 2.7) та “H” (рис. 2.8).



Рисунок 2.7 – Рама 8-коптера, типу “X”



Рисунок 2.8 – Рама 8-коптера, типу “H”

Рама типу “Х” популярні за рахунок легкості і швидкості складання, проте вони мають багато деталей, складніші в виробництві та дорожчі в порівнянні з рамами типу “Н”.

Рама типу "Н" зручна при побудові вантажних та спеціалізованих коптерів для відеозйомки та автоматизованих польотів.

До переваг такої конструкції рами можна віднести її простоту, міцність, точність розташування деталей, симетричність, відмінну збалансованість і наявність хорошої віброізоляції. Вона має більше місця для монтажу додаткового обладнання, легко і швидко розбирається для транспортування.

Вибір конструкційних матеріалів мультикоптера багато в чому залежить від розумно заданої стійкості до аварій. На практиці аварії трапляються навіть у досвідчених пілотів, а в період навчання без них не обійтися.

Стійкою до аварій є не та конструкція, яка взагалі не ламається при падінні – такої не існує, а та, у якої пошкодження у разі аварії мінімальні. Тому важливою частиною стійкої конструкції є наявність елементів, що легко руйнуються. Ці елементи повинні мати мінімальну вартість і складність виготовлення. Руйнуючись, вони поглинають енергію деформації тим самим зберігають в цілості дорогі і важливі вузли.

У ряді випадків використовуються підпружинені елементи. Класичним прикладом поглинаючого вузла є посадочні стійки. Їх навмисно роблять пружними і міцними рівно настільки, щоб при сильному ударі об землю вони поглинули максимум енергії, але не передали деформацію далі, а в крайньому випадку зламалися самі. У загальному випадку, міцність елементів конструкції повинна наростати від периферії до центру. Спочатку повинні йти амортизуючі елементи, потім зминаємі, а далі несучі і критично важливі.

Корпуси мультикоптерів роблять з легких та міцних матеріалів, що дозволяє їм здійматися в повітря. Мультикоптери професійного рівня роблять зі скловолокна та вуглепластика. Ці матеріали стали популярними завдяки їх довговічності, легкості і простоті промислового виробництва.

Вуглепластик не такий міцний, як скловолокно, але більш гнучкий. Скловолокно відрізняється високою жорсткістю, але і більшою крихкістю. Доцільно компонувати матеріали і робити раму з вуглепластика, а зі скловолокна центральні та моторні монтажні пластини. Таким чином, поєднання вуглепластика і скловолокна буде захищати внутрішній устрій квадрокоптера від пошкоджень, і обладнання не постраждає.

Сплави алюмінію застосовуються в основному для виготовлення трубчатих деталей променів рами, стійок шасі та дрібних кріпильних елементів. Вартість таких променів, на відміну від вуглепластикових, значно менша. В разі аварії незначно погнутий промінь чи шасі можна виправити. Листовий алюміній для виготовлення центральних частин рами і моторам не застосовується через зайву вагу.

Деревина, як не дивно, є одним з кращих матеріалів для виготовлення рами експериментального коптера розміром до 700 мм, особливо його променів. Справа в тому, що промені з дерев'яних рейок погано проводять вібрацію від моторів і не мають виражених власних резонансів. Це позитивно впливає на стабільність роботи акселерометрів. Промені з деревини достатньо легкі і коштують недорого. Центральну частину рами можливо виготовити з якісної авіаційної фанери товщиною 3 мм.

Для створення діючого прототипу доцільно було використати прості матеріали, що легко оброблюються (деревина, фанера, пластмаси). При серійному виробництві більш технологічно буде використати карбонові та скловолокняні композитні матеріали, пластмаси, алюміній.

При проектуванні мультикоптера слід особливу увагу приділити правильному розміщенню електронних модулів.

Великі струми, що протікають в силових провідниках, породжують магнітне поле, навколо цих провідників, яке негативно впливає на роботу електронного компаса встановленого на платі польотного контролера. Для максимальної взаємної компенсації магнітних полів довжина позитивної та негативної шин повинна бути однаковою, мінімально можливою, пролягати

паралельно і тільки поруч. Можливе скручування силових дротів між собою, що також зменшує шкідливий вплив.

Оскільки через акумуляторну батарею протікає сумарний струм від всіх силових агрегатів, вона теж є провідником, що породжує магнітне поле навколо себе. Правильне розташування акумуляторної батареї щодо плати польотного контролера істотно знижує вплив магнітного поля.

2.2 Підбір стандартних, покупних агрегатів для базової комплектації навчальної платформи

При виборі стандартних агрегатів для базової комплектації комплексу, в першу чергу враховувалися наступні параметри:

- доступність і повнота технічної документації;
- універсальність, гнучкість використання вузлів і агрегатів, можливість модернізації конструкції;
- простота і надійність в налагодженні, і експлуатації агрегатів.

2.2.1. Вибір базового контролера польоту

Польотний контролер – це спеціалізований обчислювальний пристрій, який синхронізує роботу всіх двигунів коптера, підтримує висоту польоту, стабілізує літальний апарат в просторі, виконує команди оператора або програму польоту в автономному режимі.

До складу польотного контролера входять: центральний процесор, датчики: акселерометри, гіроскопи, барометр. Барометр надає процесору данні про висоту. Гіроскоп – данні про положення в просторі. Акселерометр підраховує інерцію (прискорення, уповільнення). Завдяки цим датчикам і програмному забезпеченню процесор виконує функцію пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора ПІД.

В якості базового польотного контролера для мультикоптерів у складі платформи обрано ARDUPILOT APM 2.8 (рис. 2.9).

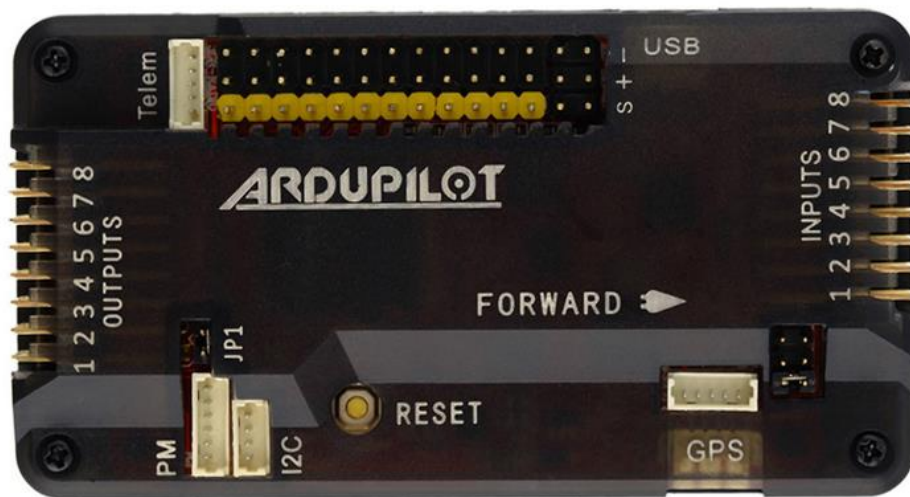


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд польотного контролера APM 2.8

Це багатофункціональний контролер призначений для керування мультироторними системами та гвинтокрилами (прошивка Arducopter), літаками (прошивка Ardupilot), та автомобілями (прошивка Ardurover).

Функціональні можливості польотного контролера APM 2.8:

- підтримка рам 3,4,6,8 – коптера, по схемам Y, X, +, H, Y6, X8;
- забезпечення 14 польотних режимів керування літальним апаратом;
- утримання позицій по GPS, повноцінний автопілот, з можливістю встановлення до 166 польотних точок та редагування маршруту в польоті;
- відкритий вихідний код програмного забезпечення, що дає можливість написання власної програми керування літальним апаратом;
- забезпечення передачі в реальному часу, телеметричних даних з борту літального апарата;
- власна система керування стабілізацією підвісу відеокамери;
- підтримка ультразвукового датчика (SONAR SENSOR) для автоматичного взльоту і посадки;
- можливість використання інфрачервоного датчика для обминання перешкод;
- підтримка датчика рівня розряду батареї;

– підтримка авіасимулятора через програмне забезпечення Mission Planer.

2.2.2. Вибір апаратури керування

Апаратура керування коптером складається з пульта керування (передавача) і приймача команд керування. Існує досить великий різновид апаратури керування. Параметри які характеризують технічні можливості апаратури керування: робоча частота 40 МГц, 433 МГц, 2,4 ГГц; протокол кодування сигналу керування PPM і PCM; дальність дії апаратури, кількість каналів керування. Вибираючи апаратуру для навчально-тренувальних польотів в межах прямої видимості слід в першу чергу звернути увагу на багатофункціональність апаратури, універсальність, можливість її модернізації, кількість каналів керування, наявність і об'єм пам'яті для налаштованих моделей, доступність технічної документації, її повноту, простоту налагодження, відгуки користувачів.

Проаналізувавши технічну інформацію було обрано апаратуру TURNIGY 9X – це дуже відома, бюджетна, можливо сказати народна апаратура (рис. 2.10). Основні її переваги: наявність досить докладної інформації по налагодженню і модернізації, широкі можливості, універсальність. Вона може використовуватися для керування: гвинтокрилами, коптерами, літаками, планерами.



Рисунок 2.10 – Комплект апаратури керування TURNIGY 9X

Робоча частота TURNIGY 9X – 2,4 ГГц, апаратура має змінні модулі передавача і приймача, що дає можливість модернізації, розширення можливостей по дальності, робочій частоті, типу кодування. TURNIGY 9X має 8 каналів керування, що дозволяє використати 5 каналів для керування коптером, а 3 канала для керування додатковим обладнанням. В пам'ять можливо занести 8 налаштованих моделей. Існує можливість зміни програмного забезпечення пульта керування в залежності від потреб.

2.3. Компоновка електричних силових агрегатів та їх тестування

Компоновка оптимального силового агрегату для мультикоптера – це параметрична оптимізація системи, де в якості параметрів виступають час польоту та польотна маса мультикоптера, максимальна струмовіддача та вага акумуляторної батареї. При розробці мультикоптера необхідно враховувати цілу низку параметрів та їх вплив один на одного.

Так сумарна тяга всіх силових агрегатів визначає вантажопідйомність мультикоптера. Розміри пропелерів обумовлюють конструкцію і габарити його в цілому. Ефективність силових агрегатів суттєво впливає на час польоту.

До складу силового агрегату мультикоптера входять: безколекторний електродвигун, регулятор обертів електродвигуна, пропелер та акумулятор.

Регулятор обертів безколекторного електродвигуна – це мікроконтролер, що призначений для керування частотою обертів та забезпечення необхідної потужності на валу двигуна. Основними параметрами регуляторів є: діапазон робочих напруг (В), максимальний допустимий робочий струм (А) та швидкість реакції. Найпопулярніші швидкісні прошивки для регуляторів – SimonK і BL-HELI.

Основними характеристиками безколекторного електродвигуна є потужність (Вт), робоча напруга (В) та кількість обертів на один вольт напруги живлення (об/В). Для мультикоптерів з діагоналлю 450-700 мм, як правило,

оптимальними є двигуни з 800-1200 об/В і пропелери діаметром 8-11 дюймів з кроком 4,3-6 дюймів.

Основними параметрами пропелерів є кількість лопатей, діаметр та їх крок. Найбільш популярні двохлопатові пропелери. Взагалі чим більше лопатей має пропелер, тим більшу тягу він створює, але багатолопатові пропелери мають нижчий коефіцієнт корисної дії, складніші у виготовленні та балансуванні.

Діаметр пропелера – це діаметр кола, утвореного при його обертанні. Чим більший діаметр пропелера, тим більша ефективність силового агрегату.

Крок пропелера – це відстань, пройдена ним за один оберт при «вгвинчуванні» в умовну тверду середу. Збільшення кроку пропелера підвищує тягу силового агрегату.

У кожному конкретному випадку потрібно проводити експериментальний підбір оптимальних пропелерів під конкретний тип двигунів та навантаження, так як пропелери навіть одного розміру від різних виробників, можуть істотно відрізнитися за динамічними характеристиками.

Перед першим використанням пропелерів проводиться їх балансування. Незбалансовані пропелери збільшують рівень вібрації літального апарату, в результаті частина енергії акумулятора марно витрачається на стабілізацію, а при певному збігу обставин можуть привести до аварії.

В мультикоптерах застосовуються спеціальні, літій-полімерні акумуляторні батареї. При виборі акумуляторів слід враховувати їх ємність, напругу та максимальний розрядний струм.

Ємність акумуляторної батареї це кількість енергії, яку може віддати батарея, при певному навантаженні, в певний відрізок часу. Вимірюється ємність в ампер годинах (А/год). Ємність акумуляторної батареї є одним з основних параметрів, що впливає на тривалість польоту.

Напруга акумуляторної батареї залежить від кількості осередків. Напруга одного осередку LiPo акумулятора 3,7 В. Поєднуючи акумулятори послідовно можна набрати достатньо велику напругу. В мультикоптерах напруга

аккумуляторної батареї обумовлена робочою напругою двигунів силових агрегатів.

Максимальний розрядний струм LiPo аккумуляторів – це здатність забезпечувати максимальний струм споживачам без будь-яких негативних наслідків для самої аккумуляторної батареї. Вимірюється в одиницях (C) та вказує у скільки разів розрядний струм перевищує ємність. Наприклад, значення 30 C для аккумулятора з ємністю 3 А /год означає, що він може видавати струм до 90 А.

Силові агрегати на основі безколекторного електродвигуна D 2212-920 об/В та регулятора обертів електродвигуна SimonK 30А бездоганно зарекомендували себе в процесі експлуатації. Вони здатні забезпечити тягу 850 гс при максимальному спожитому струмі до 12 А. При цьому, на ринку запасних частин для мультикоптерів за відношенням ціна/якість їм нема подібних. Використання в новому проекті безколекторних електродвигунів D2212-920 об/В та регуляторів обертів електродвигуна SimonK 30 А дозволить побудувати надійний літальний апарат та сприятиме уніфікації технічної бази.

В процесі компоновки та дослідження силових агрегатів буде вирішено яке їх розміщення (поряд чи один над одним (коаксиальне)) більш доцільне, яку конструкцію матимуть розроблювані мультикоптери (рис. 2.11). Для цього буде проведено:

- дослідження характеристик силового агрегата в варіанті з тягнучим пропелером;
- дослідження характеристик силового агрегата в варіанті зі штовхаючим пропелером;
- дослідження характеристик силового агрегата в варіанті зі співвісною (коаксиальною) компоновочною схемою розташування пропелерів;
- підбір оптимального пропелера.

Вимірювання параметрів проводилися за допомогою стенду для дослідження характеристик електричних силових агрегатів радіокерованих авіамоделей власної розробки (рис. 2.12).

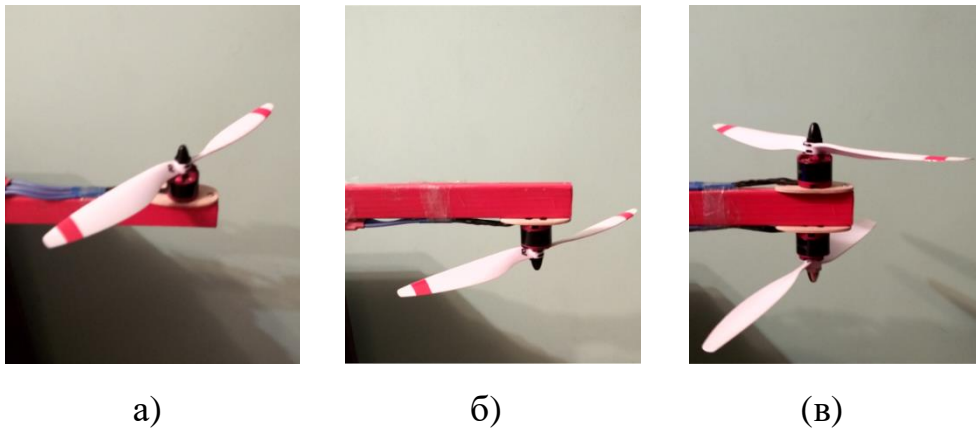


Рисунок 2.11 – Варіанти компоновки силових агрегатів для мультикоптера:
а – тягнучий пропелер, б – штовхаючий пропелер, в – коаксиальна схема

При тестуванні силових агрегатів вимірювалися наступні параметри: тяга, яку забезпечує силовий агрегат P_T (гс); спожита потужність P (Вт); сила струму I (А), кількість енергії, що віддає акумулятор W (Вт·год).

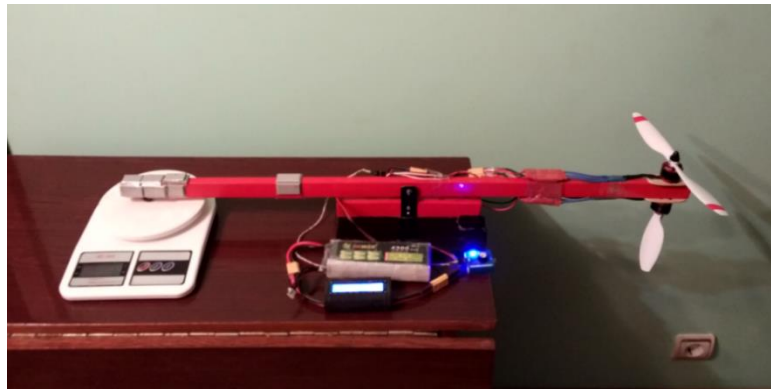


Рисунок 2.12 – Стенд для дослідження характеристик електричних силових агрегатів радіокерованих авіамоделей та мультикоптерів

Оптимально скомпонований силовий агрегат повинен мати в робочому діапазоні максимальну тягу при мінімальній спожитій потужності. Першочерговим критерієм вибору того чи іншого силового агрегату є його ефективність E (гс/Вт):

$$E = \frac{P_T}{P} \left(\frac{\text{гс}}{\text{Вт}} \right). \quad (2.1)$$

Результати вимірювань занесено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань параметрів електричних силових агрегатів для мультироторних літальних апаратів

		Тяга силового агрегата Pт гс.											
		200	250	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
Силовий агрегат D2212 920 об/В тягнучий пропелер 10x4,5	I. А.	1,87	2,47	3,87	4,83	5,64	6,91	8,01	9,51	11,1	12,3	13,4	
	P.Вт	22,2	29,4	46,5	56,3	66,7	79,6	91,4	105,2	125,4	136,7	152,4	
	Е.гс/Вт	9,09	8,5	7,5	7,1	6,7	6,3	6,01	5,7	5,38	5,12	4,92	
Силовий агрегат D2212 920 об/В тягнучий пропелер 9,4x4,3	I.А.	2	2,71	4,16	5,1	5,81	6,97	7,62					
	P.Вт	24,7	32,8	50,7	61,4	67,06	82,2	93,6					
	Е.гс/Вт	8,09	7,62	6,89	6,51	6,37	6,08	5,87					
Силовий агрегат D2212 920 об/В штовхаючий пропелер 10x4,5	I.А.	1,91	2,53	3,94	4,92	5,98	6,78	8,54	9,47				
	P.Вт	21,8	29,0	45,9	55,9	67	78,4	91,8	106				
	Е.гс/Вт	9,15	8,6	7,6	7,15	6,71	6,37	5,99	5,66				
Силовий Агрегат D2212 920 об/В штовхаючий пропелер 9,4x4,3	I. А.	2,04	2,61	4,19	5,09	6,2	7,14						
	P.Вт	24,3	32,3	50,3	60,8	74,4	82,1						
	Е.гс/Вт	8,23	7,74	6,95	6,57	6,3	6,09						
Співвісний силовий агрегат 5 D2212 920 об/В тягнучий пропелер 10x4,5; штовхаючий пропелер 10x4,5	I.А.	2,38	3,18	4,88	5,66	6,74	7,6	8,78	10,1	12,1	13,5	15,9	17,7
	P.Вт	26,9	35,3	53,7	63,1	74,2	85,9	98,7	112,3	128,8	143,1	161,3	178,9
	Е.гс/Вт	7,42	7,08	6,57	6,33	6,06	5,82	5,57	5,34	5,04	4,89	4,64	4,47
Співвісний силовий агрегат 6 D2212 920 об/В тягнучий пропелер 9,4x4,3; штовхаючий пропелер 9,4x4,3	I. А.	2,35	3,13	4,67	5,56	6,69	7,49	8,47	9,66	11,5	12,9	15,1	16,7
	P.Вт	26,1	34,3	52,0	61,4	72,4	83,7	96,1	109,2	125	140,5	156,3	170,9
	Е.гс/Вт	7,66	7,27	6,73	6,41	6,21	5,97	5,72	5,49	5,2	4,98	4,79	4,68

На рисунку 2.13 представлено графіки ефективності тестованих силових агрегатів.

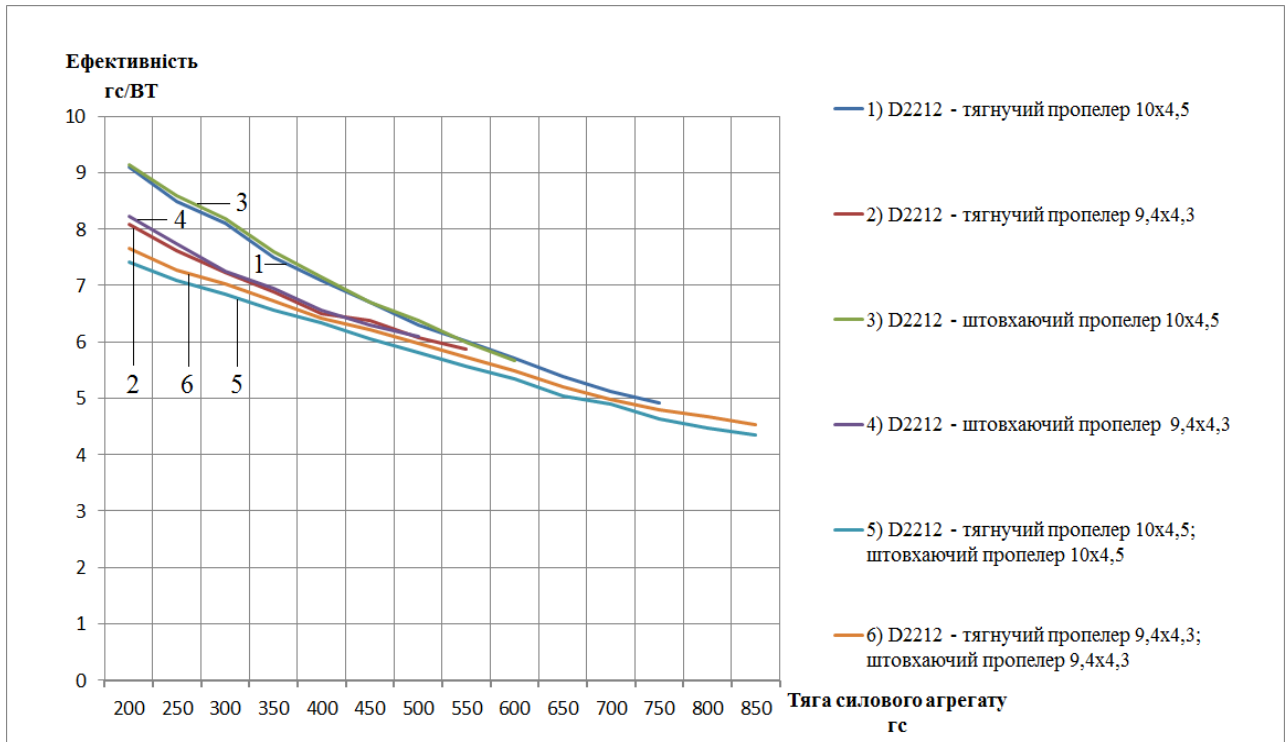


Рисунок 2.13 – Графіки ефективності тестованих силових агрегатів

Провівши попередній підрахунок ваги комплектуючих вузлів, агрегатів та корисного навантаження, встановлено польотну масу 8 коптера – $3 \div 3,2$ кг.

В режимі висіння коптера сумарна тяга усіх силових агрегатів дорівнює масі літального апарата. Для забезпечення швидкості і стабільності польоту при проектуванні середніх за розмірами мультикоптерів необхідно передбачити сумарний запас тяги всіх силових агрегатів по відношенню до маси мультикоптера в 1,5-1,75 рази. Виходячи з цієї умови, необхідна тяга одного силового агрегату 8-коптера в режимі висіння і в режимі польоту становить відповідно 0,4 кг та 0,7 кг.

Проведено порівняльний аналіз результатів стендових випробувань силових агрегатів, зроблено висновки та обрано найкращий.

Силові агрегати з пропелером розміщеним в один ряд мають кращі показники ефективності в порівнянні з коаксиальною компоновкою.

Однорядний, тягучий та штовхаючий силові агрегати мають близькі показники ефективності. Силові агрегати з пропелером $10 \times 4,5$ створюють більшу тягу та мають кращу ефективність в порівнянні з пропелером $9,5 \times 4,3$. Тому доцільно в мультикоптері, що розроблюється, для збільшення часу польоту і вантажопідйомності використати розміщення силових агрегатів з пропелером $10 \times 4,5$ в один ряд.

Середній час польоту коптера залежить від конкретних умов експлуатації і режиму польоту: взаємодії вітру, швидкості польоту, навантаження. Особливістю потужних (LiPo) акумуляторів є те, що ємність їх пов'язана з величиною струму навантаження. Зі збільшенням струму ємність зменшується. Наприклад при струмі навантаження 10 А ємність 4,2 А/год, при 20 А – 4,15 А/год, а при 50 А – 4 А/год. Щоб розрахувати середній час польоту першого коптера в режимі висіння, проводились дослідження акумуляторної батареї «POWER 4200 mAh 3S 20C» в реальному польоті за допомогою коптера-конструктора. Експерименти показали, що середня ємність акумуляторної батареї 3,97А/год, час польоту в режимі висіння становить 16,5 -18 хв та в режимі активного переміщення – 13-14 хв, при польотній масі 1,29 кг.

Розрахункова маса розроблюваного мультикоптера складає 1,52-1,55 кг. При повній польотній масі $3 \div 3,2$ кг вага цільового навантаження та акумуляторної батареї становить 1,48-1,68 кг. Акумуляторна батарея «POWER 4200 mAh 3S 20C» має масу 0,325 кг. При застосуванні 4-х таких акумуляторів можна забезпечити польотний час – 21,5-24 хв. Акумулятори з'єднуються паралельно для збільшення ємності та максимального струму акумуляторної батареї при номінальній напрузі 11,1 В, перед з'єднанням акумулятори обов'язково заряджаються і балансуються.

Дійсні показники часу польоту та вантажопідйомності будуть уточнені під час польотних випробувань.

2.3 Компоновка рами, розробка і виготовлення оригінальних деталей мультикоптерів

Розміри рами першого коптера обумовлені технічними умовами і особливостями компоновки. Так при розмірі рами $x = 600$ мм та діаметрі центральної платформи $d=200$ мм промінь буде мати довжину $a=300$ мм (рис. 2.14). Відстань в 6-коптері між сусідніми електродигунами по колу буде $b = 300$ мм. Це дозволить використовувати пропелери з максимальним розміром $D = 11$ дюймів (280 мм.), при цьому відстань між кінцями лопатей сусідніх пропелерів буде $c = 20$ мм, а відстань до центральної площадки $f=60$ мм, що забезпечить мінімальний вплив потоку повітря сусідніх пропелерів одного на другий і на центральну платформу. Відповідно розміри коптера в комплектації 4-коптера: $x=600$ мм, $a=300$ мм, $d=200$ мм, $b=424,3$ мм, $c=144,3$ мм, $D=280$ мм, $f=60$ мм (рис. 2.15). Для 3-коптера розміри рами $x=600$ мм, $a=300$ мм, $d=200$ мм, $b=519,6$ мм, $c=239,6$ мм, $D=280$ мм, $f=60$ мм (рис. 2.16).

Центральна платформа складається із двох круглих дисків $D=200$ мм, виготовлених із облеженої авіаційної фанери товщиною 3 мм. Для захисту від вологи і придання декоративного вигляду диски покриті кольоровим скотчем. Для спрощення зборки коптера на центральну платформу нанесено силуети базових модулів: контролера польоту і акумуляторної батареї

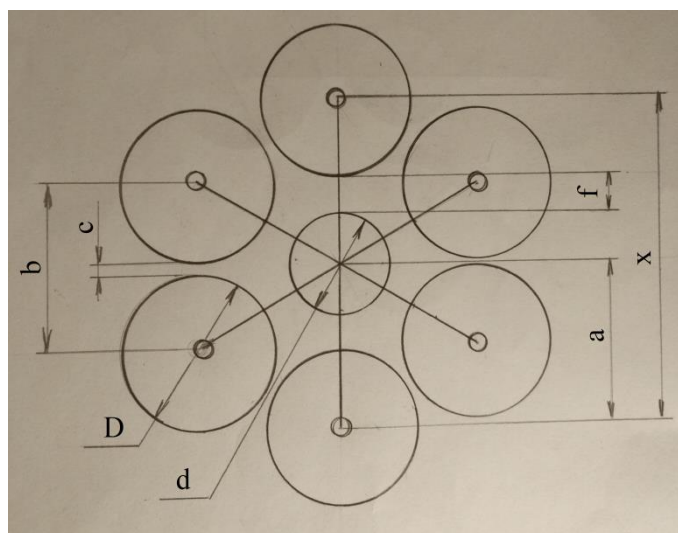


Рисунок 2.14 – Розміри рами в комплектації 6-коптер

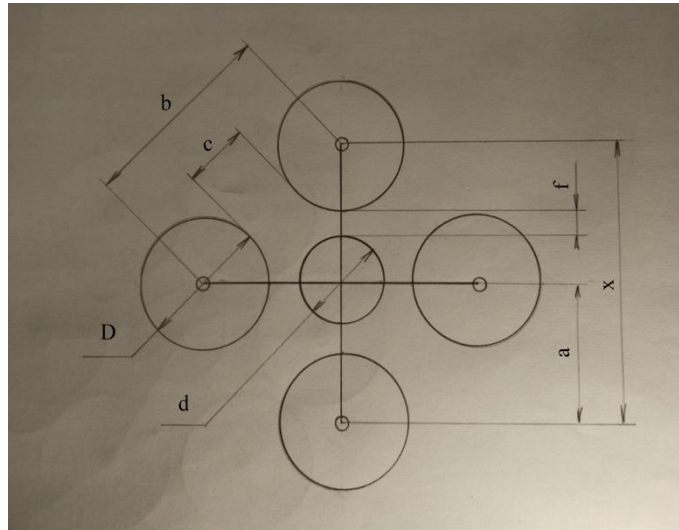


Рисунок 2.15 – Розміри рами в комплектації 4-коптер

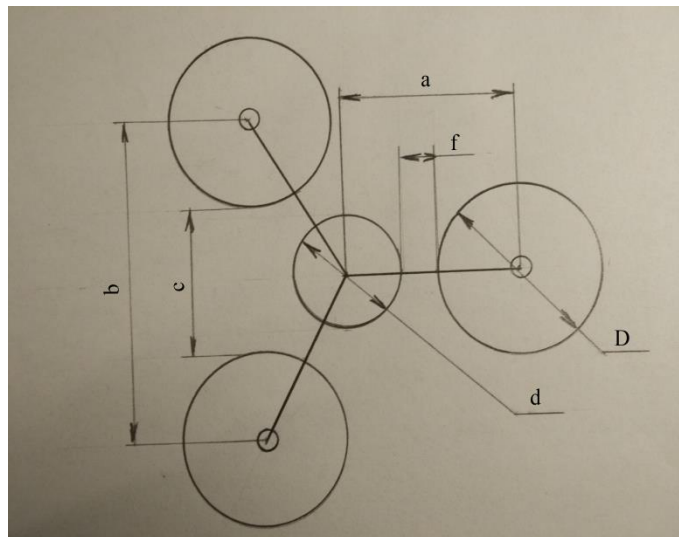


Рисунок 2.16 – Розміри рами в комплектації 3-коптер

Промені виготовлені із соснових реск, довжиною 300 мм, шириною 10 мм і висотою 12 мм.

Для забезпечення захисту від вологи та придання міцності і дизайну промені обтянуті кольоровим скотчем. Скріплюється центральна платформа з променями за допомогою стандартних гвинтів у центральній частині і спеціально виготовлених хомутів по периметру, такий спосіб кріплення обумовлений потребою до рами коптера бути універсальним, швидкозбірним, надійним вузлом.

На кінцях променів встановлені опори шасі, які виготовлені із листової пластмаси товщиною 1.5 мм. Кожна опора шасі складається із двох пластин обтікаємої форми, скріплених за допомогою двохстороннього скотча на пористій основі. Така конструкція забезпечує міцність, надійність, малу масу, пружність.

Кріпляться опори шасі до променів за допомогою стандартних гвинтів і спеціальних хомутів, які одночас є елементом кріплення електродвигунів. На центральну платформу встановлюється контейнер акумулятора і захисний ковпак, які виготовлені з пінопласту. Для ідентифікації положення коптера в просторі, промені виготовлені різних кольорів: чорні, червоні, білі. Комплект оригінальних деталей мультироторного літального апарата, виготовлених власноруч представлений на (рис. 2.17).

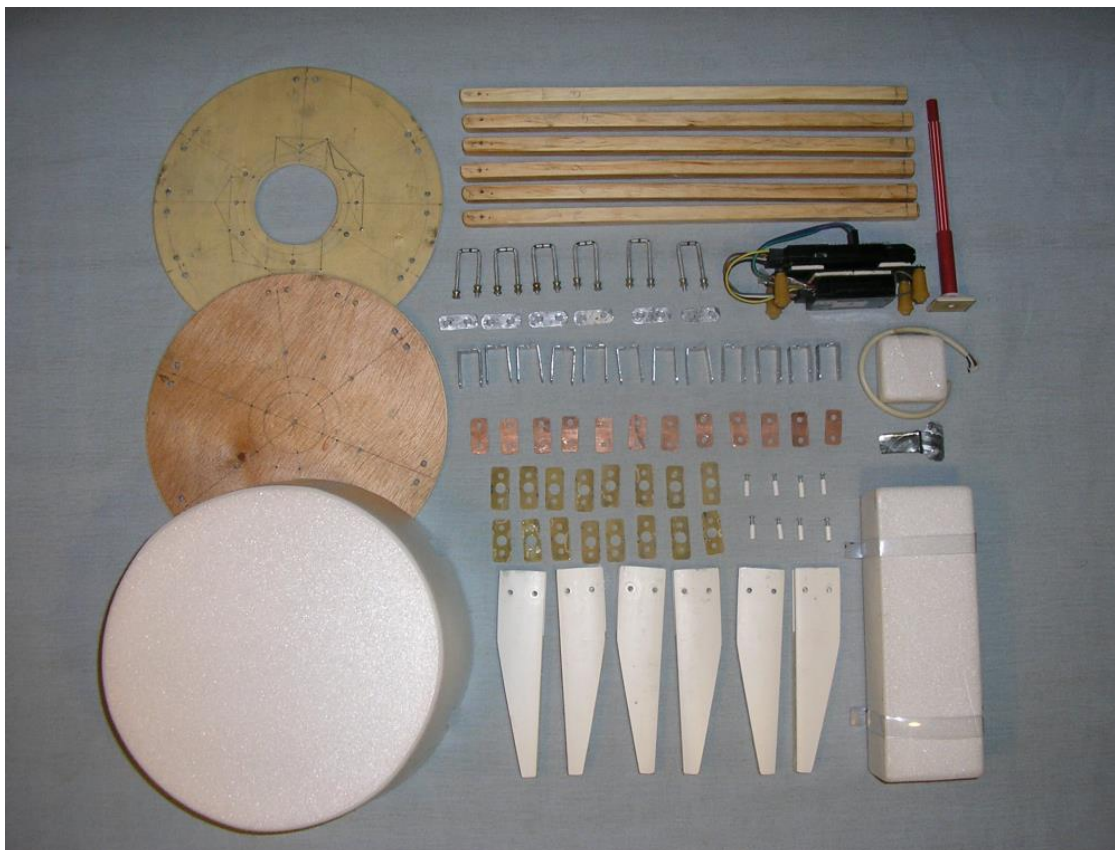


Рисунок 2.17 – Оригінальні деталі виготовлені власноруч

Зовнішній вигляд мультироторного експериментально-тренувального літального апарата в комплектації 3-коптер представлено на (рис. 2.18), в комплектації 4-коптер (рис. 2.19), в комплектації 6-коптер (рис. 2.20).



Рисунок 2.18 – Зовнішній вигляд в комплектації 3-коптер



Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд в комплектації 4-коптер



Рисунок 2.20 – Зовнішній вигляд в комплектії 6-коптер

Розміри рами 8-коптера також обумовлені деякими особливостями компоновки. Так при застосуванні пропелерів з діаметром $d = 9,5$ дюймів (240 мм) ÷ 11 дюймів (270 мм), рама має розміри $D=690$ мм. Рама складена з 4 променів, з'єднаних в формі решітки #. На їх кінцях розміщено силові агрегати. В місцях перетину променів встановлено шасі, а в центральній частині – платформа для розміщення модулів системи керування, акумуляторної батареї та цільового вантажу (рис. 2.21). Така конструкція забезпечує стійкість до поривів вітру під час польоту, а також мінімальний вплив повітряних потоків сусідніх пропелерів одного на другий і на центральну платформу. Відповідно довжина променів мультикоптера складає $L=690$ мм, а платформа має довжину $b=400$ мм та ширину $a=90$ мм.

Виготовлено промені коптера із соснових рейок, площиною перетину $S=10*12$ мм, які пройшли випробування на міцність. Центральна платформа зроблена з облегшеної авіаційної фанери товщиною $h=3$ мм.

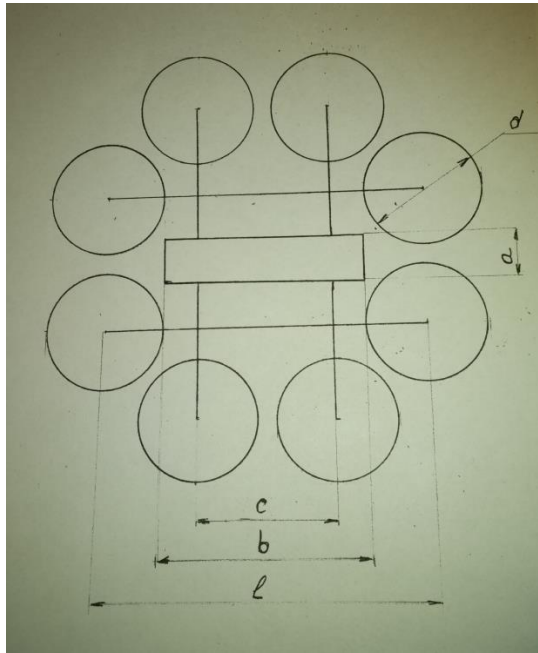


Рисунок 2.21 – Розміри рами 8-коптера

Для захисту від вологи і придання декоративного вигляду дерев'яні елементи рами покриті кольоровим скотчем. Для спрощення зборки коптера на центральну платформу нанесено силуети базових модулів.

Скріплюється рама за допомогою спеціально виготовлених хомутів. Такий спосіб кріплення обумовлений потребою до рами коптера бути універсальним, швидкозбірним і надійним вузлом.

Опори шасі виготовлено із листової пластмаси товщиною 1,5 мм. Кожна опора шасі складається з двох пластин обтічної форми, скріплених за допомогою двостороннього скотча на пористій основі. Така конструкція забезпечує міцність, надійність, малу масу, пружність. Кріпляться опори шасі до променів за допомогою стандартних гвинтів і спеціальних хомутів.

На центральну платформу встановлюється контейнер акумуляторної батареї і захисний ковпак, які виготовлені з пінопласту. Для ідентифікації положення коптера в просторі, промені виготовлені різних кольорів: чорні, червоні й білі. Комплект оригінальних деталей мультироторного літального апарата, виготовлених власноруч, представлений на (рис. 2.22).

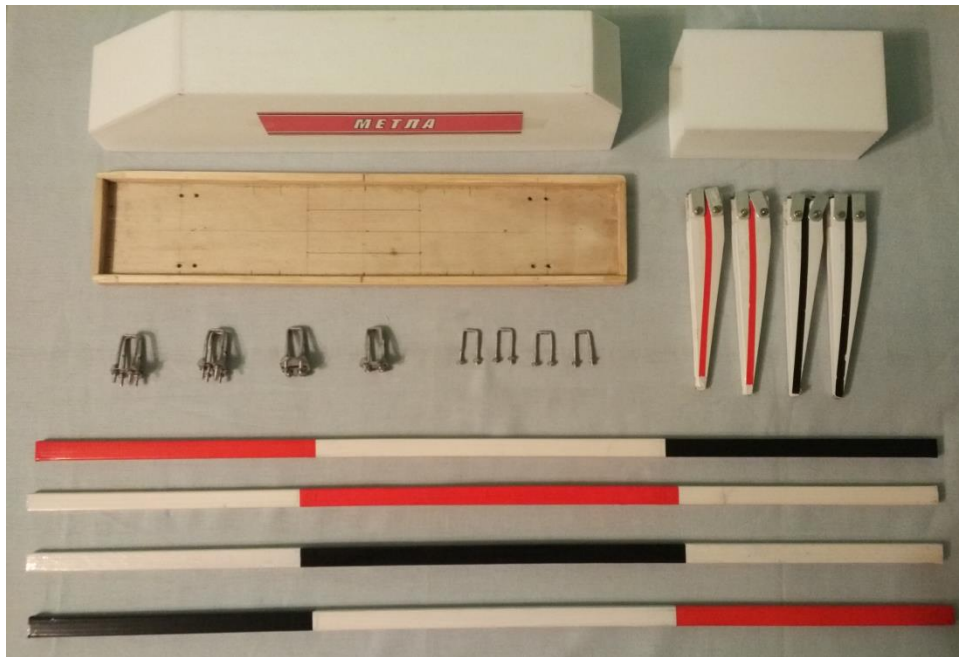


Рисунок 2.22 – Оригінальні деталі, що виготовлені власноруч

Зовнішній вигляд мультироторного експериментально-тренувального літального апарта представлено на (рис. 2.23).



Рисунок 2.23 – Зовнішній вигляд 8-коптера

Таким чином, створені конструкції рам мультикоптерів – міцні, прості та дешеві. Польотні випробування підтвердять, наскільки вони практичні у використанні.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ВІДЕО СИСТЕМИ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Аналіз відео систем для встановлення на розроблюваний коптер

Відео системи безпілотників умовно можна розділити на системи керування за технологією FPV та системи моніторингу навколишнього середовища за допомогою відеокамер, інфрочервоних камер, тепловізорів та інших пристроїв в реальному часі.

Серед ключових переваг FPV-дронів, які відрізняють їх від звичайних безпілотників можна виділити: ефект польоту для оператора, високу швидкість його реакції, точність керування, а також більш високу якість аероз'йомки (як фото, так і відео).

Навчитися керувати таким FPV-безпілотником без попереднього досвіду польотів реально, але знадобиться час й зусилля. Тому розроблювана платформа для підготовки спеціалістів безпілотної авіації стане в нагоді як навчальний тренажер.

Відзначимо, що розроблювана платформа універсальна, має можливість керування, як за заданою програмою з прив'язкою до GPS, так і в режимі FPV.

Розглянемо більш детально системи FPV.

Принцип роботи такого пристрою полягає в наступному – вмонтована камера транслює відео в реальному часі прямо на екран вашого смартфона, планшета, ноутбука, спеціальні окуляри або шолом. Точна передача здійснюється за рахунок відеокамери, передавача, антен та приймача.

Системи FPV і системи моніторингу мають спільні модулі:

- відеокамера – яка передає відеозображення на передавач для перегляду в реальному часі на екрані гарнітури. Курсова камера встановлюється в передній частині дрону та може мати різні кути огляду, як правило від 90 до 180 градусів, що дозволяє бачити куди летить дрон. Камера для моніторингу

навколишнього середовища встановлюється на триосьовий гіростабілізований підвіс;

– модуль OSD – на екрані відеогарнітури оператора виводиться інформація телеметрії (набір цифрових показників, які інформують про режими польоту, відображає потужність сигналу у відсотках, висоту польоту дрона, подолану відстань, швидкість польоту, заряд акумулятора, показує лінію горизонту та інші дані);

– відеопотік від камери передається через передавач на приймач оператора, а далі на екран смартфона, планшета, ноутбука, спеціальні окуляри або шолом. Зображення з камери для моніторингу передається якомога якісніше без додаткової інформації.

Існує два типи систем FPV – аналогові та цифрові.

Різниця між цифровим та аналоговим полягає в сигналі. Аналогова система працює безперервно змінюючи амплітуду або частоту хвилі, тоді як цифрова система перед відправкою спочатку кодує її.

Обидві системи FPV мають свої переваги і недоліки.

Аналогова технологія FPV – найстаріша, найдоступніша та найпоширеніша технологія, що забезпечує якість зображення подібну до телевізора. Зображення не дуже різке, особливо коли сигнал стає слабким на відео помітні перешкоди чи "сніг". Має дуже низьку затримку зображення, що чудово підходить для швидкісних польотів. Вона доступна в діапазонах 5,8 ГГц, 2,4 ГГц та 1,2/1,3 ГГц. Аналогове обладнання FPV несумісне з цифровим обладнанням. Великий вибір обладнання (камери, відеопередавачі, окуляри) від різних виробників, сумісність та доступні ціни сприяють її популярності.

Цифрові FPV є новими і набирають популярності, на відміну від аналогових систем пропонують відео високої чіткості та забезпечують відмінну якість зображення. Але відповідно затримка зображення у них вища, ніж у аналогових. Цифрові системи FPV працюють на частоті 5,8 ГГц. Мають вищу ціну. Камери та відеопередавачі, розроблені для конкретної цифрової системи FPV несумісні з цифровими системами FPV інших виробників.

На рисунку 3.1 представлено порівняння зображення аналогової і цифрової FPV.



Цифрове зображення

Аналогове зображення

Рисунок 3.1 – Якість зображення цифрової та аналогової технології FPV

Найбільш поширеними зараз залишаються аналогові FPV, що використовують радіохвилі з частотою 5,8 ГГц.

Підводячи підсумок огляду слід зазначити що для FPV керування доцільно застосовувати аналогові системи середнього цінового сегменту, а для моніторингу і відеоз'йомки більш якісні аналогові системи або цифрові.

В якості базового комплекту для розроблюваної платформи було обрано:

а) курсова відеокамера CADDX H1 1200 TVL:

- 1) роздільна здатність – 1200 TVL;
- 2) зображення: 16:9 або 4/3;
- 3) лінза – 2,1 мм/160 градусів;
- 4) живлення – DC 4,5-25 В;
- 5) відеоформат: PAL, NTSC.

б) OSD Ardupilot Micro MinimOSD:

- 1) живлення 4,85–5,15 В;
- 2) відеоформат: PAL, NTSC;
- 3) керуючий контролер – ATmega328P з Arduino bootloader.

в) відеопередавач TS832 з антеною:

- 1) частота – 5,8 ГГц;
 - 2) кількість каналів – 48;
 - 3) вихідна потужність – 600 мВт;
 - 4) живлення 7,4-16 В;
 - 5) струм споживання 220 мА при 12 В;
 - 6) посилення – 2 дБ.
- г) відеоприймач RC832 з антеною:
- 1) живлення – 12 В;
 - 2) струм споживання 200 мА при 12 В;
 - 3) відеоформат – PAL, NTSC;
 - 4) посилення – 2 дБ.
- г) відеодекодер USB EasyCap:
- 1) сумісний із високошвидкісним інтерфейсом USB 2.0;
 - 2) підтримка стандартів відео: NTSC, PAL;
 - 3) аудіо вхід – Stereo (RCA);
 - 4) відео вхід: один відеовхід RCA композитний, один S-Video;
 - 5) підтримка захоплення високоякісного відео PAL – 720 * 576 25 fps, NTSC – 720*480 30 fps.

На рисунку 3.2 представлено структуру відео системи розроблюваної платформи.

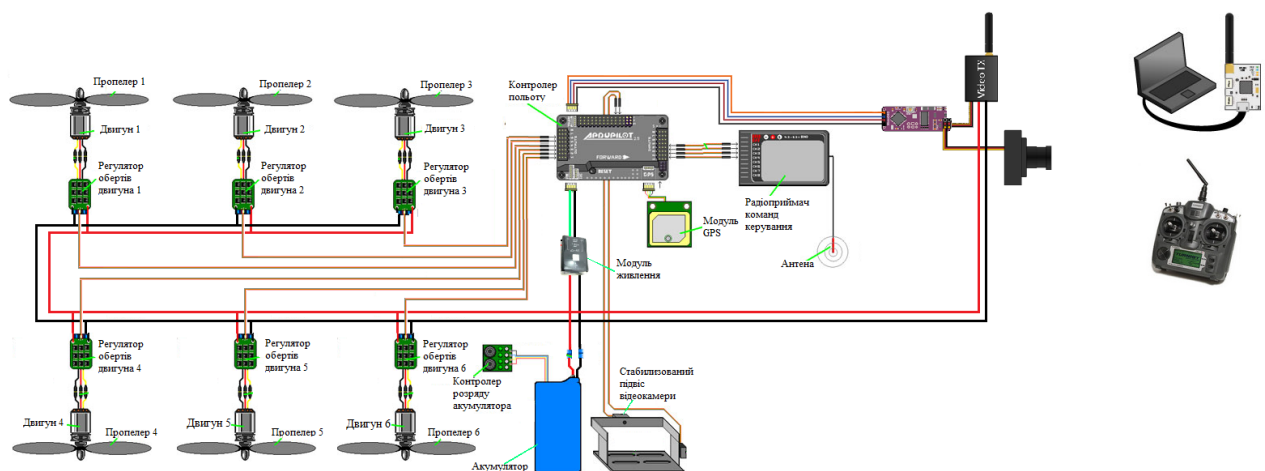


Рисунок 3.2 – Структура мультикоптера з системою відеозору

В залежності від виконуваних завдань і умов використання дрони можуть нести тільки курсову камеру, яка одночасно використовується для керування і для відеомоніторингу, так і окремі спеціалізовані моніторингові відеокамери кращої якості, обладнані окремим керуванням, передавачем та гіростабілізованим підвісом, застосовувати системи комп'ютерного зору для обробки та аналізу зображень, виявлення, та розпізнавання об'єктів, оцінки їх положення і руху.

3.2 Система розпізнавання об'єктів YOLO, характеристики та сфери використання

Оскільки сфера використання безпілотних літальних апаратів стрімко розширюється, використання системи моніторингу та розпізнавання об'єктів при розробці БПЛА є дуже актуальним і важливим завданням.

Вивчаючи існуючі моделі згорткових нейронних мереж та наукові роботи з дослідження різних детекторів [6], таких як YOLO, Faster R-CNN, RFCN, SNIPER, YRetinaNet і CenterNet.Ammar і т.д. за ключовими критеріями FPS, mAP тощо було визначено, що алгоритм Yolo цілком підходить для використання у програмах виявлення цілей у реальному часі.

Yolo – це алгоритм глибокого навчання для розпізнавання об'єктів на зображеннях або відео, розроблений Ultralytics. Основними перевагами даного алгоритму є швидкість обробки інформації та точність відображення, хоча ключовою перевагою, що вирізняє серед аналогів є “One pass detection” – одноразовий прохід через нейронну мережу для аналізу зображення, що пришвидшує обробку інформації і дає можливість працювати з відео в реальному часі. Проект постійно оновлюється, за 8 років його існування було випущено 8 повноцінних та декілька додаткових, адаптованих версій.

Механізм алгоритму виявлення об'єктів на основі YOLO полягає в тому, що вхідне зображення змінюється до відповідного розміру, а потім зображення ділиться на загальну кількість рівних $S \times S$ клітинок мережі “grid cells”, і кожна

окрема комірка мережі може виявляти об'єкти всередині неї. Якщо центр виявленої цілі потрапляє в клітинку мережі, ця клітинка мережі зробить прогноз щодо цілі. Кожна комірка мережі може мати N блоків виявлення, кожен з яких не тільки обчислює власну позицію, але й робить оцінку прогнозу. Оцінка представляє ймовірність того, що виявлена цілі присутня в прогнозованій комірці мережі.

Сфера використання алгоритму YOLO дуже широка і охоплює такі галузі досліджень, як виявлення об'єктів розмітки дорожнього руху, обладнання ліній електропередач, поверхонь будівель, ідентифікація та класифікація цих будівель, супроводження рухомої цілі тощо [7].

Наприклад змішана мережа виявлення YOLO (PMA-YOLO) [8], за рахунок збору даних про віброгасник лінії електропередач за допомогою БПЛА та створення набору даних для навчання та тестування моделі, дозволяє в складних середовищах точно ідентифікувати, класифікувати та локалізувати об'єкти, такі як: стовпи ліній електропередач, ізолятори, електричні компоненти, пташині гнізда, вимикачі. Результати тестування показали, що модель може виявляти гасники вібрації різного технічного стану з точністю 93,8% (рис. 3.3). Успішне виявлення та класифікація різного обладнання та засобів у лініях електропередач закладає технічну основу для побудови майбутніх інтелектуальних енергосистем.



Рисунок 3.3 – Результати мережі PMA-YOLO з виявлення стану гасників коливань

Адаптований алгоритм YOLOv3 для виявлення малих БПЛА в повітряному просторі дозволяє ефективно відслідковувати маловисотні БПЛА в складних середовищах (рис. 3.4) і може бути успішно застосований у дослідницькій галузі боротьби з дронами для керування БПЛА в повітряному просторі на низькій висоті [9].



Рисунок 3.4 – Результати адаптованого алгоритму YOLOv3 для виявлення БПЛА

Для подальшого регулювання та відстеження різноманітних видів транспорту було розглянуто кілька досліджень у сфері транспорту. Наприклад запропонований метод на основі алгоритму YOLOv4 для виявлення транспортних засобів на основі аерофотознімків (рис. 3.5) та метод автоматичного виявлення та відстеження транспортних засобів у міському середовищі БПЛА на основі YOLOv4 та алгоритму DeepSORT [10]. Дослідження мали чудові результати вирішення задачі розпізнавання та класифікації моторизованих і немоторизованих транспортних засобів на основі наборів даних зображень та фактично уможливили автоматичне виявлення та

відстеження міських транспортних засобів. Точна ідентифікація та класифікація транспортних засобів і немоторизованих транспортних засобів дозволяє швидко реагувати на будь-які порушення правил дорожнього руху, що дозволить в перспективі запровадити систему інтелектуального управління дорожнім рухом.



Рисунок 3.5 – Зображення отримане з БПЛА – а; результат виявлення об'єктів з зображення – б

Інтелектуальне управління міським трафіком – це не лише моніторинг автотранспорту і немоторних транспортних засобів. Важливим напрямком застосування технології є програми управління станом міських доріг. В даному випадку показано результат роботи алгоритму на основі YOLOv3 для виявлення центральної позначки шосе БПЛА, YOLO- Highway (рис. 3.6) [11].



Рисунок 3.6 – Результати виявлення дорожньої розмітки для різних умов навколишнього середовища

Ще один заснований на YOLOv4 метод визначення місцезнаходження сміття в парках за допомогою дронів [12]. Результати експерименту показали, що дрони можуть виявляти сміття та збирати дані про місцезнаходження сміття у фіксованій зоні, одночасно позначаючи місце сміття на карті, щоб прибиральники могли бачити їх для легкого прибирання (рис.3.7). Результати

система передає на наземну платформу моніторингу через Інтернет, щоб допомогти державним установам у впровадженні планів управління.



Рисунок 3.7 – Результати виявлення сміття по запису відеокамери з БПЛА

3.3. Розробка власного датасету на базі Ultralytics Yolo для виявлення та сегментації об'єктів на зображенні

В умовах дії військового стану використання дронів для виконання військових завдань набуло масового характеру. Одним з ключових завдань є розвідка та відслідковування пересувань сил противника. Тому дуже актуальним є впровадження системи ідентифікації військових об'єктів по відео та їх сегментація.

Для цього було створено власний датасет на базі Ultralytics YOLOv8. Навчання нейронної мережі можливе як на локальному сервері так і на сторонніх ресурсах. Для показовості процесу було обрано сервіс CVAT, де було створено проект з задачами train та validation (рис. 3.8).

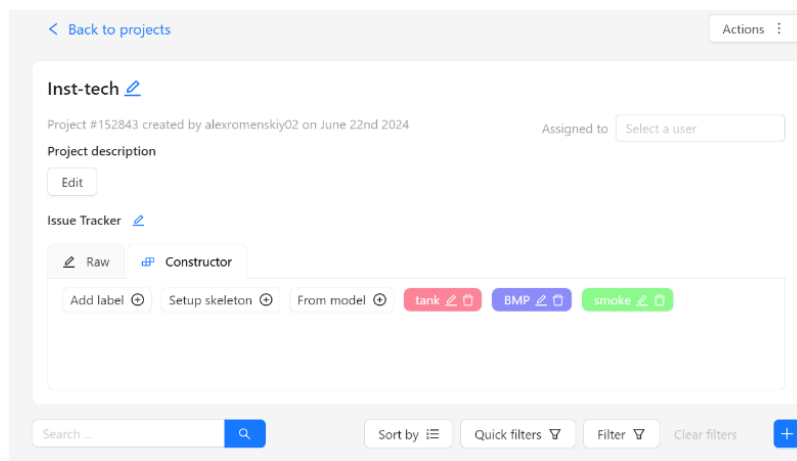


Рисунок 3.8 – Проект створення власного датасету у сервісі CVAT

Робота проводилась за трьома класами, а саме: tank, bmp та smoke. Оскільки для виконання ідентифікації дуже важливим є відображення не тільки пересувань техніки, але й моніторинг сторонніх димів.

Для виконання taskів було створено базу фото з кадрів відео пересувань військової техніки, які було взято з відкритого доступу. Нарізання на кадри було виконано за допомогою програми FFMPEG (рис. 3.9).

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
Duration: 00:00:49.39, start: 0.000000, bitrate: 1776 kb/s
Stream #0:0[0x1](und): Video: h264 (High) (avc1 / 0x31637661), yuv420p(tv, bt709, progressive), 1920x1080 [SAR 1:1 DAR 16:9], 1644 kb/s, 25 fps, 25 tbr, 12800 tbn (default)
Metadata:
  handler_name    : ISO Media file produced by Google Inc.
  vendor_id      : [0][0][0][0]
Stream #0:1[0x2](eng): Audio: aac (LC) (mp4a / 0x6134706D), 44100 Hz, stereo, fltp, 127 kb/s (default)
Metadata:
  handler_name    : ISO Media file produced by Google Inc.
  vendor_id      : [0][0][0][0]
Stream mapping:
  Stream #0:0 -> #0:0 (h264 (native) -> png (native))
Press [q] to stop, [?] for help
Output #0, image2, to 'img_train/6_img%03d.png':
  Metadata:
    major_brand   : isom
    minor_version : 512
    compatible_brands: isomiso2avc1mp41
    encoder       : Lavf61.3.104
Stream #0:0(und): Video: png, rgb24(pc, gbr/bt709/bt709, progressive), 1920x1080 [SAR 1:1 DAR 16:9], q=2-31, 200 kb/s, 1.50 fps, 1.50 tbn (default)
Metadata:
  handler_name    : ISO Media file produced by Google Inc.
  vendor_id      : [0][0][0][0]
  encoder        : Lavc61.8.100 png
[out#0/image2 @ 00000203b55b0480] video:121273KiB audio:0KiB subtitle:0KiB other streams:0KiB global headers:0KiB muxing
overhead: unknown
frame= 74 fps= 22 q=-0.0 Lsize=N/A time=00:00:49.33 bitrate=N/A speed=14.4x
C:\Users\Vic\Desktop\yolo8\Відео для yolo>

```

Рисунок 3.9 – Нарізання відео на фрейми програмою FFMPEG

Результат роботи програми показано на рисунку 3.10.

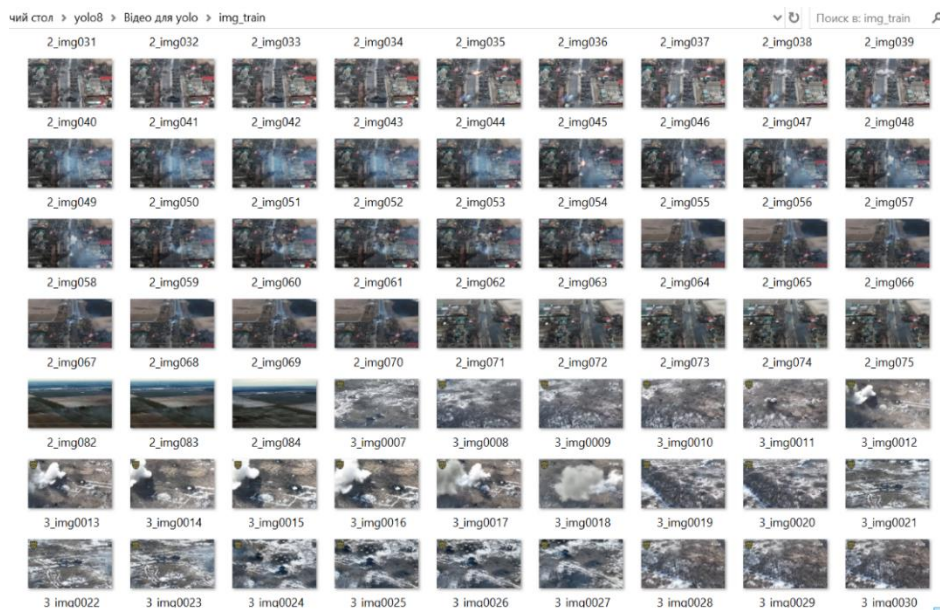


Рисунок 3.10 – База фото для тренування нейронної мережі

Після створення бази фото, отримані фото було розподілено для виконання тасків train та validation. Завантажено на сервіс у відповідні підпроекти, де проведено виконання розмітки об'єктів на цих фото (рис. 3.11). Розмітку для сегментації об'єктів проведено з використання інструменту polygon.



Рисунок 3.11 – Розмітка об'єктів у сервісі CVAT

Виконавши розмітку, виконаний проект було завантажено у цільову папку. Після чого оброблено і переведено у формат для навчання мережі YOLO. Процес навчання мережі YOLO з використанням створеного датасету фото представлено на рисунку 3.12.

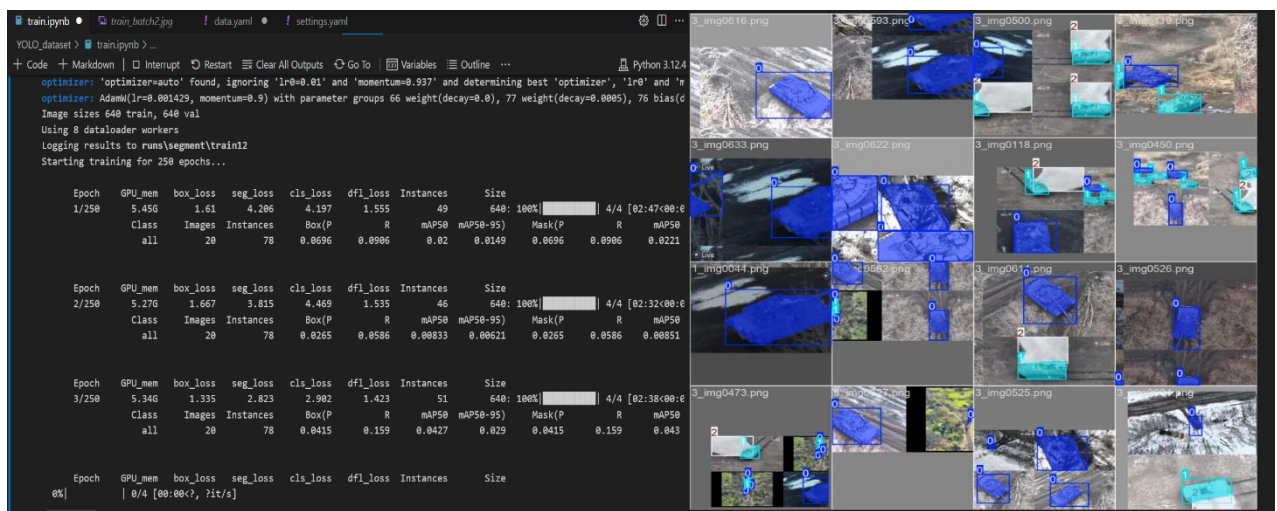


Рисунок 3.12 – Навчання нейронної мережі YOLO

В результаті проведення навчання було отримано наступні передбачення нейронної мережі (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Передбачення мережі за класами “tank” та “BMP”

В перспективі подальшого розвитку слід зазначити, що для вищезазначених цілей, а саме трекінгу певного, конкретного об’єкту і його відстеження найкраще відходить Single object tracking, для алгоритмів якого не є потрібним навчання за класами, він віслідковує обраний нами об’єкт в bounding box на кожному фреймі. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на реалізацію цієї моделі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основною метою охорони праці є запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням, аваріям та іншим небезпечним ситуаціям на робочому місці. Законодавча база, яка регулює питання охорони праці в Україні, включає Закон України "Про охорону праці" [13], відповідні постанови Кабінету Міністрів України, накази Міністерства охорони здоров'я України, а також державні стандарти та інші нормативно-правові акти, що визначають вимоги до безпеки праці.

4.1 Аналіз умов праці

Процес розробки системи автоматизації для дистанційного керування роботом-розмінувальником включає кілька основних етапів: проектування, виготовлення готових зразків, тестування та налаштування. Кожен з цих етапів має свої специфічні умови праці та ризики для здоров'я і безпеки працівників. При аналізі умов праці на підприємстві, де здійснюється розробка, необхідно враховувати наявність потенційно шкідливих і небезпечних факторів. До таких факторів відносяться:

- робота з електронним обладнанням під напругою: це може призвести до ураження електричним струмом, тому для мінімізації ризиків необхідно забезпечити наявність ізоляційних матеріалів, заземлення та регулярне проведення технічних оглядів обладнання. Крім того, всі працівники повинні пройти спеціальне навчання з електробезпеки;

- використання комп'ютерів і моніторів: тривала робота з комп'ютером може призвести до перенапруження очей, зниження зору, а також проблем з опорно-руховим апаратом через неправильну посадку або використання невідповідних меблів. Для запобігання цим проблемам необхідно організувати робочі місця згідно з ергономічними вимогами,

забезпечити належне освітлення та проводити регулярні перерви для зняття напруги очей;

- шкідливі випромінювання: робота з електронними пристроями може бути пов'язана з впливом електромагнітного випромінювання. Для мінімізації негативного впливу рекомендується використовувати захисні екрани, а також дотримуватися безпечних відстаней при роботі з обладнанням;

- температурний режим: невідповідні температурні умови можуть негативно вплинути на продуктивність праці та здоров'я працівників. Необхідно підтримувати оптимальний температурний режим у приміщеннях, де здійснюється розробка, за допомогою систем кондиціонування та опалення;

- психологічне навантаження через високу інтенсивність роботи, тісні терміни виконання завдань, а також відповідальність за результати можуть викликати стресові ситуації та психоемоційне перенапруження. Важливо забезпечити підтримку психологічного комфорту працівників, створити доброзичливу атмосферу в колективі, а також організувати можливість консультування з психологом;

- шумове забруднення: під час роботи з деякими видами обладнання можливий підвищений рівень шуму, що може призвести до зниження концентрації та слухових проблем. Використання засобів захисту слуху та організація звукоізоляційних заходів дозволить зменшити негативний вплив шуму.

Для ефективного аналізу умов праці необхідно проводити регулярні оцінки робочих місць, включаючи вимірювання параметрів мікроклімату, рівня шуму, освітленості та інших факторів, що впливають на здоров'я та безпеку працівників. На основі отриманих результатів розробляються рекомендації щодо покращення умов праці, які включають впровадження сучасних технологій, модернізацію обладнання та вдосконалення організаційних процесів.

4.2 Методи запобігання та усунення негативних факторів

4.2.1 Засоби колективного та індивідуального захисту

Для забезпечення належного рівня безпеки на робочих місцях використовуються різноманітні засоби колективного та індивідуального захисту. Засоби колективного захисту включають встановлення захисних кожухів та екранів на робочих місцях з підвищеним рівнем шуму або випромінювання, а також використання вентиляційних систем для забезпечення якісного повітрообміну в приміщенні.

Індивідуальні засоби захисту включають захисні окуляри для роботи з електронним обладнанням, ергономічні крісла та спеціальні підставки для моніторів, що дозволяють уникнути перенапруження спини та шиї, а також захисні рукавиці для роботи з інструментами під напругою. Всі ці засоби повинні відповідати стандартам безпеки та бути зручними у використанні, що сприяє їх регулярному застосуванню працівниками.

4.2.2 Надзвичайні ситуації та аварійна готовність

Аналіз потенційних аварійних ситуацій включає оцінку ризиків, пов'язаних з перебоями в електропостачанні, пожежами або короткими замиканнями електронного обладнання, а також поломками або несправностями обладнання під час тестування розроблених мультикоптерів. Для запобігання таким ситуаціям та мінімізації їх наслідків необхідно розробити план дій у разі надзвичайних ситуацій. Цей план включає регулярне проведення навчань з евакуації, наявність аварійних виходів та маршрутів евакуації, обладнання робочих місць первинними засобами пожежогасіння, встановлення пожежної сигналізації та наявність аптечок першої допомоги на робочих місцях. Крім того, важливо забезпечити співпрацю з місцевими службами порятунку та медичними закладами для оперативного реагування на надзвичайні ситуації.

4.2.3 Організація роботи з охорони праці

Організація роботи з охорони праці на підприємстві включає створення спеціалізованого відділу або призначення відповідальної особи, яка буде займатися питаннями безпеки праці. Основними завданнями цього відділу або особи є проведення регулярних інструктажів з охорони праці для всіх працівників, організація навчань та тренінгів з безпечного виконання робіт, а також періодичний контроль і аудит умов праці на робочих місцях. Інструктажі з охорони праці включають ознайомлення працівників з основними вимогами безпеки, правилами використання засобів захисту та діями у разі виникнення аварійних ситуацій. Навчання та тренінги дозволяють підвищити рівень знань працівників щодо безпечного виконання робіт та сприяють формуванню навичок швидкого реагування на небезпечні ситуації.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи було створення технічної бази для підготовки спеціалістів безпілотної авіації за рахунок розробки універсальної платформи для налагодження і керування БПЛА мультироторного типу.

В ході виконання роботи було проведено аналіз наукової літератури у сфері безпілотної авіації, було розглянуто існуючі методи класифікації дронів та різні комплектації, визначено шляхи покращення технічних параметрів коптерів.

Були виконані наступні завдання:

- розроблено структурні схеми розроблюваних літальних апаратів;
- проведено підбір купованих електричних модулів;
- проведено аналіз електричних силових агрегатів за рахунок тестування на створеному власноруч стенді;
- виготовлено оригінальні деталі;
- розраховано фізичні параметри розроблюваних мультикоптерів;
- визначено основні польотні характеристики;
- проведено аналіз існуючих відеосистем для подальшого встановлення на розроблювану платформу;
- виготовлено діючий макет розроблюваної платформи для підготовки спеціалістів безпілотної авіації.
- проведено аналіз існуючих відеосистем встановлюваних на БПЛА;
- проведено підбір відеосистеми на розроблювану платформу;
- проведено аналіз існуючих систем ідентифікації і моніторингу;
- розроблено власний датасет для ідентифікації спеціалізованої техніки.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено і виготовлено діючий прототип універсальної платформи для налагодження і керування БПЛА мультироторного типу, яку буде використано в якості технічної бази для підготовки спеціалістів безпілотної авіації, що в кінцевому результаті посприє розвитку безпілотної авіації нашої держави.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
3. Шабалін А. О., Рубльов П. К. Аналіз сфер застосування та особливостей конструкцій мультикоптерів // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2021). Вип. №2 // збірник студентських наукових статей. Харків : ХНУРЕ, 2021. С.135.
4. Гуцул Т., Жежера І., Ткач В. Особливості класифікації та методів вибору БПЛА // Технічні науки та технології. 2022. №4(30). С. 201-212.
5. Discussions // DIY Drones: the leading community for personal UAVs. URL: <https://diydrones.com/forum/topics> (дата звернення: 14.05.2022).
6. Невлюдов І. Ш. Аналіз існуючих алгоритмів розпізнавання безлічі об'єктів на зображенні та відео потоці/ Невлюдов І. Ш., Гурін Д.В.// Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації-2023: матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 28-29 жовтня 2023 р.-Одеса, 2023 р.–С.203
7. Chunling Chen YOLO-Based UAV Technology: A Review of the Research and Its Applications/ Chunling Chen , Ziyue Zheng , Tongyu Xu , Shuang Guo, Shuai Feng, Weixiang Yao, Yubin Lan// Drones – 2023. – Vol 7(3) –P.190.

8. Wenxia Bao Detection of Abnormal Vibration Dampers on Transmission Lines in UAV Remote Sensing Images with PMA-YOLO/Wenxia Bao, Yangxun Ren, Nian Wang, Gensheng Hu, Xianjun Yang// Remote Sensing – 2021. – Vol 13(10) – P.4134.
9. Hu Y. Object detection of UAV for anti-UAV based on improved YOLO v3/ Hu Y., Wu X., Zheng G., Liu X.// Chinese Control Conference: proceedings of the 38th conference, 27–30 July 2019 - Guangzhou, 2019 - P. 8386–8390.
10. Liu X. Vision-based target detection, tracking, and positioning algorithm for unmanned aerial vehicle/ Liu, X.; Zhang, Z. A// Wireless Communications and Mobile Computing – 2021. – P. 1–12.
11. Zhao Z. YOLO-Highway: An improved highway center marking detection model for unmanned aerial vehicle autonomous flight/ Zhao Z., Han J., Song L. // Mathematical Problems in Engineering – 2021. – P.1–14.
12. Kraft M. Autonomous, onboard vision-based trash and litter detection in low altitude aerial images collected by an unmanned aerial vehicle/ Kraft M., Piechocki M., Ptak B., Walas K.// Remote Sensing – 2021. – Vol 13 – P. 965.
13. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII : станом на 1 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> – 13.06.2024.