

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів

Кафедра мехатроніки та електротехніки

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
(тип кваліфікаційної роботи)

_____ магістра

(освітній ступінь)

на тему «Дослідження системи керування безпілотним літальним апаратом при виконанні задач тепловізійного обстеження будівель, метрологічне забезпечення»

ХАІ.303.363.24О.175.183093 ПЗ

Виконав: здобувач 6 курсу групи № 363
Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та _____ електронні _____ комунікації»
(код та найменування)

Спеціальність 175 Інформаційно-вимірювальні технології

(код та найменування)

Освітня _____ програма Інтелектуальні інформаційні вимірювальні системи
(найменування)

_____ Кудій В.С.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: _____ Калашніков Є.Є.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____ директор ТОВ «Інженерне бюро авіаційного інституту» Чупова І.Л.
(прізвище та ініціали)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів
(повне найменування)
 Кафедра Інтелектуальні вимірювальні системи та інженерія якості
(повне найменування)
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
(код та найменування)
 Спеціальність 175 Інформаційно-вимірювальні технології
(код та найменування)
 Освітня програма Інтелектуальні інформаційні вимірювальні системи
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Сіроклин В.П.
(підпис) (ініціали та прізвище)
 «___» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кудію Владиславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Дослідження системи керування безпілотним літальним апаратом при виконанні задач моніторингу»
 керівник кваліфікаційної роботи Є.Є. Калашніков, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом Університету №___ від «___» _____ 20__ року.
2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 16 грудня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи. Кількість двигунів – 6 (Garila 1500KV); АКБ LiPo 4S 2600mAh; рама Tarot 550мм; політний контролер PIXHAWK. Використані програми - Ardupilot, Mathcad, Matlab.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати):
Проаналізувати PID регулятори , розробити безпілотний літальний апарат на базі політного контролеру Matek, зробити обґрунтування вибору рами 250 мм для БПЛА, розробити модуль стабілізації зображень, підготувати БПЛА до польоту, провести опис БПЛА як об'єкта автоматичного управління, розробити технологічну карту налаштування БПЛА до польоту за маршрутом, яка допоможе недосвідченому користувачу впевнено підготувати дрон для автоматичного польоту.

5. Перелік графічного матеріалу структура безпілотного літального апарату, структурна схема PID регуляторів, схема роботи двигунів від ШІМ сигналу, фрагменти програм налаштування БПЛА та модуля стабілізації.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стан сучасних БПЛА. Постановка задач проектування	к.н.т., доцент каф. 303 Калашніков Є.Є.	12.09.2024	12.09.2024
Опис функціонування БПЛА за допомогою математичної моделі руху	к.н.т., доцент каф. 303 Калашніков Є.Є.	03.10.2024	04.10.2024
Розробка операцій контролю електричних параметрів регуляторів електричних двигунів	к.н.т., доцент каф. 303 Калашніков Є.Є.	22.10.2024	23.10.2024
Технологічна частина	к.н.т., доцент каф. 303 Калашніков Є.Є.	13.11.2024	14.11.2024
Рекомендації по тепловому обстеженню	к.н.т., доцент каф. 303 Заболотний В.А.	02.12.2024	02.12.2024

Нормоконтроль _____ Заболотний В.А. «____» _____ 2024р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання « 10 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Отримання завдання	12.09.2024	
2.	Стан сучасних БПЛА і постановка задач проектування	25.09.2024	
3.	Аналіз технічного завдання	21.10.2024	
4.	Опис функціонування об'єкта автоматичного управління	11.11.2024	
5.	Конструкторська частина	29.11.2024	
6.	Вибір контролера	06.12.2024	
7.	Технологічне обґрунтування	09.12.2024	
8.	Підготовка пояснювальної записки	13.12.2024	
9.	Рецензія, захист проекту.	17.12.2024	

Здобувач

_____ (підпис)

В.С. Кудій

(ініціали та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Є.Є. Калашніков
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: Сторінок 86, таблиць 14, рисунків 29, джерел 20.

В даній роботі було розроблено інтелектуальну систему управління безпілотного літального апарату (БПЛА). Для цього було проаналізовано загальні проблеми, пов'язані з керуванням БПЛА, та розглянуто існуючі підходи до їх вирішення. Описано функціонування системи автоматичного управління, принцип дії пристрою, а також вплив зовнішніх збурень на роботу системи. Розроблено функціональну та структурну схеми системи.

Отримано та описано нелінійні математичні моделі, що враховують сили та моменти, які діють на міні-БПЛА. Побудовано структурну схему позовжнього маятникового руху, а параметри цього руху по вертикальній осі були ідентифіковані за допомогою System Identification Toolbox у середовищі MatLab.

Виконано синтез системи управління міні-БПЛА при позовжньому маятниковому русі з використанням PID-регулятора як коригуючого пристрою. За підібраних коефіцієнтів PID-регулятора отримано відповідні перехідні процеси. Також було синтезовано систему автоматичного управління на основі регулятора нечіткої логіки та проведено порівняння його ефективності з PID-регулятором.

Для керування БПЛА було сформульовано вимоги до польотного контролера. За результатами порівняльного аналізу різних контролерів було обрано Radio Ink Pixhawk PIX APM як найбільш відповідний.

Після проєктування системи було проведено експериментальні дослідження в умовах реального польоту із запрограмованим контролером, використовуючи отримані налаштування коефіцієнтів. Результати експерименту підтвердили успішне виконання задачі стабілізації БПЛА.

У технологічній частині розроблено детальну технологічну карту налаштування БПЛА для автоматичного польоту за маршрутом. Ця інструкція допоможе недосвідченим користувачам правильно та впевнено підготувати дрон до виконання польотних завдань.

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1 СТАН СУЧАСНИХ БПЛА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ.....	10
1.1 Загальна характеристика проблеми і існуючі підходи до її вирішення	10
1.2 Аналіз технічного завдання.....	15
1.3 Огляд науково-технічної літератури і патентів	16
2 ОПИС ФУНКЦІОНУВАННЯ БПЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ	21
2.1 Опис БПЛА як об'єкта автоматичного управління	21
2.2 Вибір принципу управління.....	24
2.3 Вербальний опис принципів функціонування, сигналів і фізичних зв'язків між елементами, принципів перетворення енергії і інформації	26
2.4 Розробка і опис нелінійних математичних моделей	28
2.4.1 Сили і моменти, що діють на МБПЛА.....	29
2.4.2 Рівняння просторового руху МБПЛА.....	30
2.4.3 Класифікація видів руху МБПЛА	32
2.4.4 Спрощенні математичні моделі руху МБПЛА	33
2.5 Ідентифікація системи управління.....	37
2.5.1 Введення експериментальних даних.....	38
2.5.2 Знаходження відповідної структури моделі і її порядку	40
2.5.3 Перевірка достовірності моделі	41
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	43
3.1 Задачі контролера та визначення складу вхідної та вихідної інформації.....	43
3.2 Порівняльний аналіз різних політних контролерів	53
3.3 Опис вибраного польотного контролера	54
4 РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙ КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРА-МЕТРІВ РЕГУЛЯТОРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ.....	43
4.1 Початкові дані	57
4.2 Розробка методики контролю регуляторів електричних двигунів	57
4.3 Розробка установки контролю	61
4.4 Розробка операцій контролю плати управління БПЛА.....	62
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ТЕПЛОВОМУ ОБСТЕЖЕННЮ	69
5.1 Теплове обстеження будівель	69
5.2 Труднощі та особливості вимірювання температури на відкритому просторі	71

5.3 Підготовка до теплового обстеження	71
5.4 Аналіз результатів теплового обстеження.....	54
5.5 Додаткові методи теплового обстеження	54
5.6 Практичні приклади теплового обстеження будівель.....	54
5.7 Технічні характеристики обладнання для теплового обстеження.....	54
5.8 Інші аспекти обстеження	54
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	80
ДОДАТОК А.....	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМК– аеромобільний комплекс;

БАК– бортова апаратура керування;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

МБПЛА – малогабаритний безпілотний літальний апарат;

МС – модуль стабілізації;

ПУ – пульт управління;

САК – система автоматичного керування;

GPS – супутникова система навігації;

ВСТУП

При вирішенні завдань оснащення війська технікою завжди постає питання ефективного співвідношення "ціна-якість". Це особливо є актуальним в умовах обмежених можливостей фінансування переозброєння війська, що характерно не лише для України, але й для багатьох країн Світу. Та чи можна економити на закупівлі військових мультироторних БПЛА, замінивши їх дешевими цивільними аналогами?

Сучасні проблеми потребують сучасних рішень, тому на полі бою вже звичним стало використання різноманітних безпілотних систем для ведення розвідки та здійснення вогневого впливу. Одним з сегментів військової техніки, що наразі стрімко розвивається є безпілотні літальні апарати (БПЛА). Сьогодні мова йтиме лише про один з видів БПЛА, що дуже добре зарекомендував себе у справі забезпечення дій підрозділів тактичної ланки – про мультикоптери. Вони широко застосовуються в існуючих умовах військового протистояння на лінії зіткнення на Сході України, як для ведення розвідки, так і для нанесення точкових вогневих ударів. Цьому сприяє ряд переваг які мають коптери [1].

На відміну від, наприклад ударного дрону літакового типу, який потребує значної інфраструктури для його запуску, мультикоптерні дрони здатні виконувати зліт-посадку в дуже обмеженому просторі за рахунок вертикального зльоту. Крім того, вони можуть ефективно справлятися із завданнями в закритих приміщеннях, є більш мобільними і добре тримають координати. Ротори мультикоптерів постійно працюють над стабілізацією, через що їх менше трясє від вітру. До того ж коптери – гарні коригувальники, адже дають вищу точність визначення координат, порівняно з літаками. Серед недоліків – значно менший час роботи коптерів через значну енергетичну "прожерливість".

Здебільшого наразі йде мова про застосування коптерів загального призначення, але отриманий реальний бойовий досвід дозволив українським приватним компаніям, що працюють в сегменті створення та виробництва БПЛА створити ряд успішних моделей військового призначення, що навіть завойовують закордонні ринки. Це також дозволило зробити і власні технологічні напрацювання, які можуть забезпечити в майбутньому дійсну

незалежність України в питанні забезпечення безпеки суспільства та оборони від зовнішньої агресії.

За розміром мультикоптери можуть бути як великими, до кількох метрів у діаметрі, так і зовсім мініатюрні. Невеликі дрони мають здатність проникнути у недоступні для людини місця, чим активно користуються, наприклад, рятувальні служби на місцях катастроф. Це дозволяє зберегти час і не ризикувати людським життям заради отримання інформації. Здається, що із цим завданням може впоратися навіть "іграшковий" дрон, але у військових більш суворі вимоги.

Такі відносно дешеві моделі можуть непомітно проникнути у захоплену терористами будівлю чи провести термінову розвідку ближньої території. Їх може використовувати і поліція з метою спостереження за місцем події чи для конвою. США купує такі дрони сотнями з метою забезпечити кожен військовий підрозділ життєво необхідною технікою, адже в сучасних умовах ведення війни такі пристрої стали справді невід'ємною частиною ведення бойових дій. Водночас американські війська мають і дрони виключно військового призначення для виконання довгих розвідувальних і тактичних операцій, корекції артилерійського вогню та нейтралізації небезпечних елементів.