

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Система керування квадрокоптером

Назва теми

КВРАКІТ.2021054.01.07.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

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

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

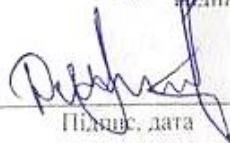
студент 3 курсу, група АКІТс-21-1


Підпис

Андрій МИРОВІЦЬКИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис, дата

Денис МАКАРИШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка


Підпис, дата

Валерій МАРТИШОК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«13» червня 2024 р.

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою АІІТ та Р
В. Мертвица

«10» січня 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Мировіцький Андрій Петрович

1 Тема роботи: Система керування квадрокоптером

керівник роботи Макаришкін Д.А., к.т.н, доцент

Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №5.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2024р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.
Огляд та класифікація дронів, і їх систем керування. Проектування
квадрокоптера та його системи керування. Алгоритмічне і програмне
забезпечення квадрокоптера. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу: 11 презентаційних слайдів.





Завдання отримав

Друш

Керівник

В. Мертвица

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

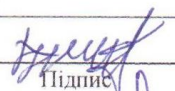
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7. Дата видачі завдання «_10_» _____ 01 _____ 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

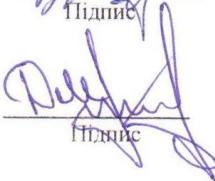
№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024р.	Виконано
2	Огляд та класифікація дронів, і їх систем керування	15.03.2024р.	Виконано
3	Проектування квадрокоптера та його системи керування	10.04.2024р.	Виконано
4	Алгоритмічне і програмне забезпечення квадрокоптера	10.05.2024р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	25.05.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	01.06.2024р.	Виконано

Студент


Підпис

Андрій МИРОВІЦЬКИЙ
Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Денис МАКАРИШКИН
Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система керування квадрокоптером».

Автор роботи: Міровіцький Андрій Петрович.

Керівник роботи: Макаришкін Денис Анатолійович.

Пояснювальна записка: 66 с., 29 рис., 41 джерело.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

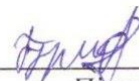
МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
КВАДРОКОПТЕРОМ, ДАТЧИК, GPS, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДВИГУНИ,
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ, КВАДРОКОПТЕР.

Метою роботи є розробка проектування та розробка системи керування квадрокоптером.

У цій роботі розроблено квадрокоптер та мікропроцесорна система автоматичного керування квадрокоптером. Спроектowana мікропроцесорна система автоматичного керування квадрокоптером реалізує: постійний моніторинг положення і висоти польоту за допомогою акселерометрів, гіроскопів і барометрів; підтримання стабільності польоту за допомогою двигунів з регуляторами швидкості; розпізнання ситуацій при наближенні до перешкод за допомогою ультразвукових та інфрачервоних датчиків; перегляд у реальному часі за польотними параметрами; підтримування різних режимів роботи системи в залежності від завдання, а саме автономний політ, слідування за об'єктом, повернення до точки старту; оптимальний алгоритм керування для забезпечення безпеки та ефективності польоту.

17.06.24





дата



Підпис

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	3
ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ДРОНІВ І ЇХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	5
1.1 Аналіз сучасних БПЛА в Україні та принцип керування	5
1.2 Керування квадрокоптером під дією зовнішніх факторів.....	14
1.3 Висновки до першого розділу.....	21
2 ПРОЕКТУВАННЯ КВАДРОКОПТЕРА ТА ЙОГО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	23
2.1 Розробка структурної схема керування квадрокоптера.....	23
2.2 Моделювання квадрокоптера	29
2.3 Обґрунтування та вибір апаратних засобів квадрокоптера.....	36
2.4 Висновки до другого розділу	43
3 АЛГОРИТМІЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КВАДРОКОПТЕРА.....	44
3.1 Алгоритмічне забезпечення квадрокоптера	44
3.2 Програмне забезпечення квадрокоптера	57
3.3 Висновки до третього розділу.....	60
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	63

КвРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ					
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Система керування квадрокоптером Пояснювальна записка
Розробив		Мировіцький А. П.		13.06.24	
Перевірив		Макаришкін Д. А.		23.06.24	
Коректор		Корецька Л. О.		13.06.24	
Р. контр.		Мартинюк В. В.		23.06.24	
					Літера
					Аркуш
					2
					66
					ХНУ, гр. АКІТс-21-1

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

GPS - Global Positioning System

БПЛА - безпілотний літальний апарат

СК – система координат

РЕБ – радіоелектронна боротьба

ІСК – інерціальна система координат

					КвРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Технології дронів та безпілотних квадрокоптерів нині є неодмінною частиною нашого сучасного світу, і вони значно впливають на розвиток економіки, культури, науки та соціального життя. Останні роки в Україні характеризуються швидким розвитком технологій дронів та відповідною інфраструктурою. Зараз на популярності набувають дрони, які володіють широким функціоналом. Їх можна використовувати в різних середовищах, особливо в тих, що є небезпечними та можуть загрожувати здоров'ю людини. Проте дрони мають високу вартість, обмежені можливості підйому та складнощі в управлінні та забезпеченні стабільності.

Метою даної кваліфікаційної роботи є побудувати функціональний квадрокоптер, який поєднує в собі як програмне, так і апаратне забезпечення, долаючи різноманітні перешкоди на цьому шляху. У роботі будуть розглянуті такі питання, складність пов'язані з інтеграцією датчиків, оцінкою апаратних компонентів і проблемами підтримки стабільності за наявності перешкод, та багато інших. Дослідження такої теми є актуальним, оскільки зростаючий інтерес до безпілотних літальних апаратів, зокрема квадрокоптерів, вимагає постійного вдосконалення технологій та методів їх застосування. Вони широко використовуються в різних галузях, таких як геодезія, сільське господарство, безпека, рятувальні операції, розвідка, розважальна індустрія та інші. Однак, забезпечення ефективного управління та надійності таких систем залишається важливим викликом. Також важливо відзначити, що квадрокоптери та інші безпілотні літальні апарати є об'єктом значних правових обговорень та регулювань у багатьох країнах. Розробка безпечних, надійних і керованих систем управління є ключовим фактором, що впливає на правову базу та суспільне сприйняття цих технологій. Крім того, у сучасних військових конфліктах значну роль відіграють безпілотні авіаційні системи, включаючи квадрокоптери. Вони можуть виконувати різноманітні завдання, від розвідки та спостереження до

					КвРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		4

транспортування вантажів і, в деяких випадках, прямого участю в бойових діях. Управління такими системами стає критично важливим аспектом їх ефективності. Здатність до автономного керування, розуміння та пристосування до навколишнього середовища може значно покращити їх здатність виконувати завдання, а також знизити ризики для людського персоналу.

Далі, в кваліфікаційній роботі буде проведено аналіз і класифікації сучасних дронів в Україні, та їх історичний розвиток. Також будуть досліджені різні системи керування дроном та їх вплив на характеристики дрона.

В іншій частині дипломної роботи буде розглянуте питання аналізу існуючих квадрокоптерів, технологій та підходів до керування квадрокоптерів. Вона включатиме огляд сучасний квадрокоптерів та систем керування та їх відповідність міжнародним стандартам.

					КВРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркущ	№ Докум.	Підпис	Дата		5

1 ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ДРОНІВ І ЇХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

1.1 Аналіз сучасних БПЛА Україні та принцип керування

Початок розробки безпілотників налічує свої початки ще у 1782 році, коли брати Етьєн і Жозеф Монгольф'є провели експеримент з підняттям у повітря кулі, наповненої димом. Куля мала діаметр 3,5 метра та вагу 154 кілограми. Цей перший експеримент тривав близько 13 хвилин і піднявся вгору на 300 метрів, пролетівши відстань понад кілометр. Після успішного запуску брати розпочали розвивати свій проект. У другому запуску кошик був прикріплений до кулі, в якому були розміщені перші пасажери - баран, качка та півень. Цей політ тривав близько 9 хвилин і пролягав на відстань близько 4,5-х кілометрів [1].

Початкові повітряні кулі, що пізніше були перейменовані у дирижаблі, відіграли важливу роль у розвитку авіації в цілому, проте безпілотники стали справжнім проривом у військовій сфері [1].

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) в Україні представляють собою вражаюче поєднання передових технологій та інноваційних рішень, що знайшли широке застосування у різних сферах. З'явлення перших БПЛА в Україні припадає на другу половину 2000-х років, коли ця технологія почала активно розвиватися в усьому світі. Протягом цього часу вони зазнали значного еволюційного зростання, ставши невід'ємною частиною багатьох сфер діяльності [1].

Сучасні БПЛА в Україні використовуються у різних галузях, включаючи військову, геодезичну, аграрну, аерофотозйомку, безпеку, рятувальні операції та інші. Вони забезпечують можливість виконання завдань, які раніше були складні або недосяжні для людини, знижуючи при цьому витрати часу, зусиль та ресурсів.

Однак, разом зі зростанням популярності БПЛА виникають і нові виклики. Питання безпеки, конфіденційності та регулювання використання БПЛА стають актуальними, вимагаючи ретельного вивчення та розробки відповідних нормативно-правових актів [1].

					КВРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркуц	№ Докум.	Підпис	Дата		6

Українські компанії та розробники продовжують активно працювати над вдосконаленням технологій БПЛА, забезпечуючи їх надійність, ефективність та безпеку в різних умовах експлуатації. Розвиток цих технологій в Україні має великий потенціал і може стати ключовим чинником у подальшому розвитку різних галузей економіки та національної безпеки [1].

В останні роки дрони поступово стали широко використовуватися в різних сценаріях життя. Безпілотники можна використовувати не тільки для військової розвідки та ведення бою, але й для цивільної аерофотозйомки та доставки.

Мультироторні БПЛА часто використовують гвинти з фіксованим кроком, тому керування рухом транспортного засобу досягається зміною відносної швидкості кожного двигуна. Радіокеровані мультикоптери стають все більш популярними для аерофотозйомки та геодезії [1].

Існує багато типів мультироторів. Зазвичай їх класифікують за кількістю використовуваних двигунів, наприклад, тримоторний мультикоптер називається трикоптером, а конфігурація також може згадуватися як Y3. Найпопулярніші мультироторні БПЛА є:

- 1) Бікоптер.
- 2) Трикоптер.
- 3) Квадрокоптер.
- 4) Пентакоптер.
- 5) Гексакоптер.
- 6) Октокоптер.

Кількість двигунів і конфігурація впливають на льотні характеристики, і кожен має свої переваги. Наприклад, чим більше двигунів, тим більше потужності та вантажопідйомності, що означає, що ви можете перевозити більше корисного вантажу. Більша кількість двигунів також означає краще резервування в разі відмови двигуна. Але недоліком є зниження енергоефективності та збільшення вартості придбання додаткового обладнання та обслуговування. Ми також обговоримо переваги коаксіального двигуна [1].

Бікоптер має два двигуни, які можна переміщати за допомогою сервоприводів до бажаних кутів нахилу (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Вигляд бікоптера

Бікоптер може бути найдешевшою конфігурацією мультикоптера серед усіх, оскільки він використовує лише два двигуни та два сервоприводи. Але це також найскладніша платформа для стабілізації в польоті. Він має найменшу вантажопідйомну силу, враховуючи той факт, що він має лише 2 двигуни.

Трикоптер (рисунок 1.2) має 3 двигуни, як правило, у формі «Y», де плечі зазвичай розташовані під кутом 120 градусів. Трикоптери також іноді можна знайти у формі «T».

Два пропелери на передніх плечах обертаються в протилежному напрямку, щоб протидіяти один одному. Задній двигун можна нахилити вліво і вправо за допомогою сервоприводу, щоб увімкнути механізм повороту. Гексакоптери та Октокоптери – це апарати з шістьма та вісьма двигунами (рисунок 1.3), які відрізняються значною надійністю і вищою ціною порівняно з іншими моделями мультикоптерів [2].



Рисунок 1.2 - Вигляд трикоптера

Вони вважаються одними з найбільш передових рішень на ринку. Великою перевагою є їхня відмовостійкість: у разі поломки вони можуть здійснити аварійне планування за рахунок працездатних двигунів. Ці апарати є дорогими, але надійними, тому їм довіряють перевезення цінного вантажу, такого як професійне відео- та фотообладнання [2].



Рисунок 1.3 - Вигляд октокоптеру та гексакоптеру

Серед багатьох різних типів БПЛА перевагами квадаторів є проста конструкція, чудова продуктивність і легке керування, тому вони стають дослідницькою точкою для дослідників (рисунок 1.4). Однак через свою особливу структуру квадатор чутливий до зовнішніх перешкод, що ускладнює

модельовання літального апарату та проектування системи керування квадатором.

Квадрокоптери - універсальні пристрої, які широко використовуються у різних галузях, починаючи від аерофотозйомки і закінчуючи перевезенням вантажів. Проте, їх експлуатація може супроводжуватися технічними та управлінськими проблемами [2].

Деякі моделі квадрокоптерів мають обмежені можливості налаштування та керування, що обмежує їхню гнучкість у використанні. Багато систем керування квадрокоптерами є закритими, ускладнюючи їх адаптацію до потреб користувача. Ті, що пропонують більшу гнучкість, часто є складними та дорогими. Це підкреслює потребу в розробці гнучкої, доступної та зручної для користувача системи керування квадрокоптером [2].



Рисунок 1.4 - Квадрокоптер для аерофотозйомки DJI Air 2S

Зазвичай квадрокоптер складається з жорсткого корпусу, який на зовнішніх кінцях має елементи для руху. Загальною конфігурацією є перехресна або

плюсова конфігурація, яка є симетричною і в якій рух реалізується двигуном BLDC (безщітковий двигун постійного струму), який обертає пропелер. Пропелер створює два істотних явища: Опір - пропелери відчують опір у поперечному напрямку від рідини, через яку вони обертаються. Інший ефект, звичайно, такий: Тяга - пропелер створює тягу, штовхаючи повітря вниз за допомогою своєї геометрії та руху. Завдяки чотирьом незалежним приводам, які створюють тягу та опір, дрон може рухатися в довільну точку, приймаючи довільну орієнтацію в горизонтальній площині, за умови, що ця орієнтація стабільна. Для більш детального розуміння показана конфігурація разом із основними визначеннями для початку моделювання (рис. 1.2). На малюнку 1.3 показано, як привід створює опір і тягу. Крутний момент τ_r є реактивним крутним моментом, спричиненим опором, який він повинен подолати, щоб створити тягу вгору, тяга, яка компенсує вплив сили тяжіння, позначеної g [2].

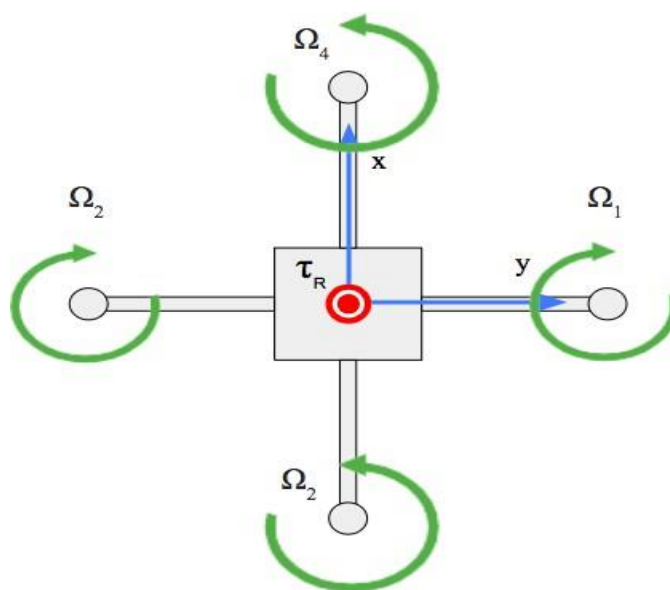


Рисунок 1.5 - Конфігурація квадрокоптера з точки зору його фіксованої системи координат тіла та напрямку кутових швидкостей приводів

Квадрокоптер створює вектор сумарної сили в потрібному напрямку, змінюючи свою орієнтацію під час створення тяги. Тяга від кожного гвинта, а також орієнтація повинні надаватися як інструкції від контролера, який визначає

обертаючи його в позитивному напрямку z , викликаючи зміну повороту, яке дорівнює CCW . Протилежна стратегія створює протилежний ефект, отже, якщо Ω_2 і Ω_4 переважають Ω_1 і Ω_3 , квадрокоптер обертатиметься CW [3].

Щоб рухати дрон у горизонтальній площині (рисунок 1.7), він нахиляється, у результаті чого сумарна сила спрямовується в потрібному напрямку. Вертикальна складова тяги компенсує вагу. Тим часом його горизонтальна рівновага досягається після досягнення швидкості, яка передбачає силу опору, яка після досягнення бажаної швидкості скасовує чисту тягу в цьому напрямку [3].

Для детального розуміння цієї роботи потрібно звернути увагу на керування квадрокоптером під дією різних зовнішніх факторів. Потрібно розуміти як саме реалізована система керування під дією цих факторів. Ефективне керування квадрокоптером може стати складним завданням під час впливу різних зовнішніх факторів, таких як погодні умови, електромагнітні перешкоди та інше [3].

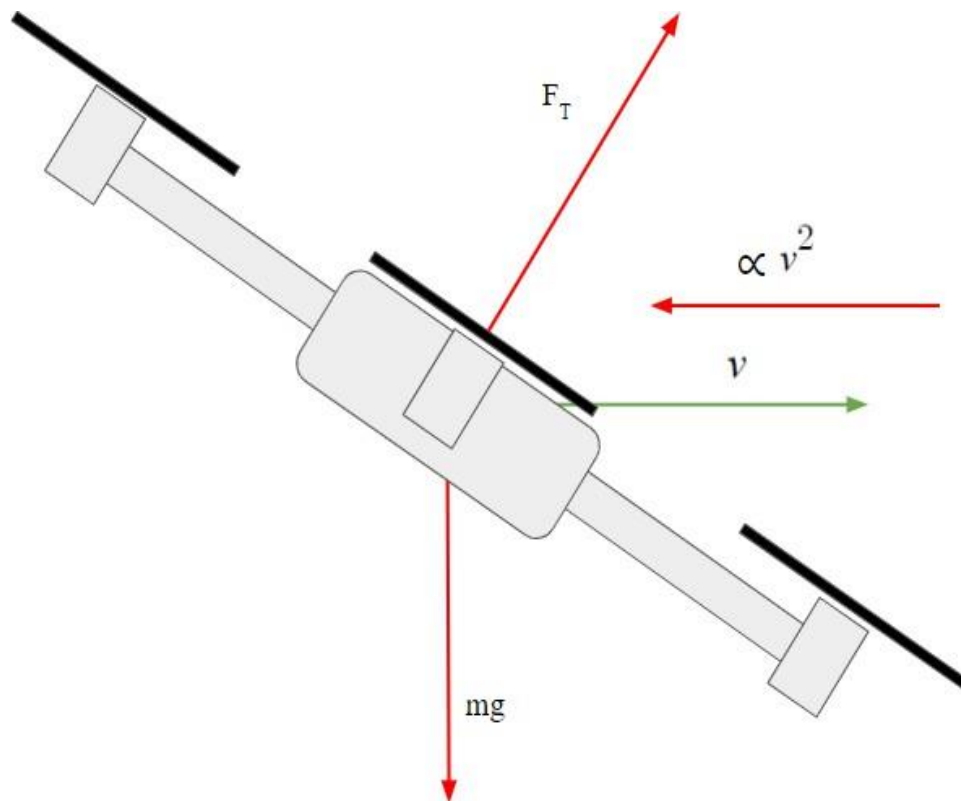


Рисунок 1.7 – Зміна положення дрона в горизонтальній площині.

місць, де присутні високовольтні лінії електропередачі або радіоактивні джерела.

Такі об'єкти можуть створювати інтерференцію у роботі електронних систем квадрокоптера, що може призвести до збоїв у зв'язку або нестабільності польоту.

Для подолання цих проблем важливо планувати маршрут польоту, уникаючи областей з високою концентрацією бездротових пристроїв або потенційно небезпечних джерел електромагнітного випромінювання. Також можна використовувати заходи захисту, такі як екранування або фільтрація сигналу, для зменшення впливу електромагнітних перешкод на роботу квадрокоптера.

Також одним із способів подолання цих проблем є використання передових систем стабілізації та автоматичного керування. Такі системи дозволяють квадрокоптеру самостійно компенсувати зовнішні впливи та зберігати стабільність польоту. Крім того, важливою є правильна підготовка та обслуговування апарата, включаючи регулярну перевірку систем та виявлення можливих проблем заздалегідь [4].

Однією з передових систем стабілізації є гіроскопічні сенсори (рисунки 1.9), які вимірюють кутові швидкості обертання квадрокоптера в просторі. Ці дані використовуються для виявлення відхилень від заданого кута та для активного коригування положення апарата. Наприклад, якщо квадрокоптер починає відхилятися від горизонтального положення, система стабілізації може автоматично активувати відповідні двигуни для компенсації цього руху та відновлення стабільності.

Ще однією передовою технологією є системи автопілота, які дозволяють квадрокоптерам виконувати програмовані маршрути та завдання без прямого втручання оператора. Ці системи використовують різноманітні алгоритми та сенсори, такі як GPS, компаси та відстанційні датчики, для навігації та керування польотом. Наприклад, квадрокоптер може бути програмований для автоматичного виконання зйомки аерофотознімків уздовж певного маршруту або для виконання пошуково-рятувальних операцій у віддалених районах [4].

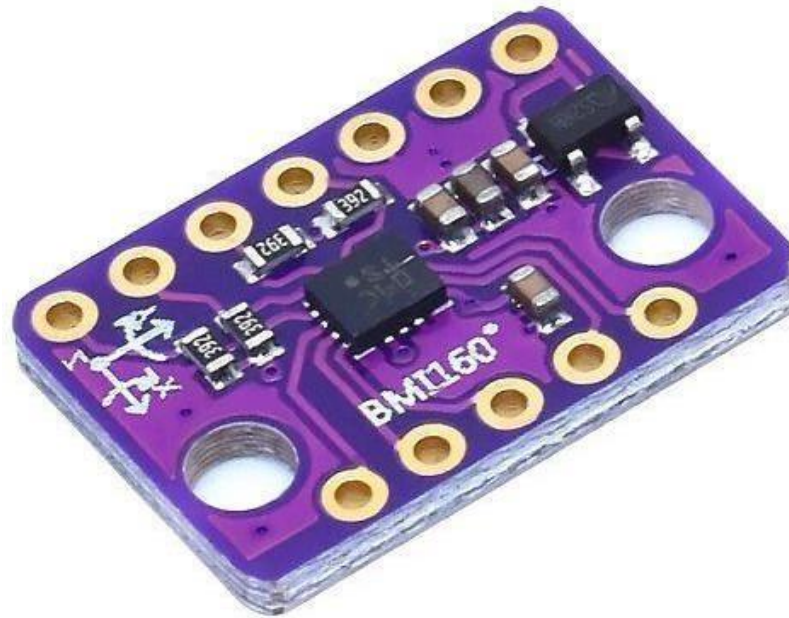


Рисунок 1.9 - Плата гіроскопічного сенсора

Прикладом передової системи стабілізації та автоматичного керування є система DJI Flight Autonomy, розроблена компанією DJI, що включає в себе низку сенсорів, включаючи висотоміри, камери для визначення відстані та датчики зіткнень. Ця система дозволяє квадрокоптерам автоматично уникати перешкод, зберігати стабільність польоту та виконувати різноманітні завдання без значного втручання оператора.

Особливою актуальною в наш час є проблема керування квадрокоптером під дією активного РЕБ. Радіоелектронні блоки (РЕБ) - це спеціальні пристрої, які використовуються для створення радіоперешкод або перехоплення радіосигналів з метою завадити нормальному функціонуванню радіоприймачів або зв'язку. Основні характеристики РЕБ включають:

1. Частотний діапазон: РЕБ можуть працювати на різних частотних діапазонах, включаючи радіочастоти, мікрохвильові діапазони та інші. Це дозволяє їм впливати на різні типи радіосистем.

2. Потужність випромінювання: РЕБ можуть мати різні рівні потужності випромінювання сигналів. Вони можуть бути як високопотужними пристроями,

що можуть перешкоджати на великі відстані, так і низькопотужними пристроями, спрямованими на обмеження зони впливу.

3. Тип модуляції: РЕБ можуть використовувати різні типи модуляції сигналу, такі як амплітудна модуляція (АМ), частотна модуляція (ЧМ), фазова модуляція (ФМ) та інші.

4. Функціональні можливості: РЕБ можуть мати різні функціональні можливості, включаючи здатність перехоплювати, перепрограмувати, блокувати або імітувати радіосигнали, а також створювати імпульсні перешкоди.

5. Модифікація сигналу: Деякі РЕБ можуть змінювати параметри сигналу, такі як частота, амплітуда, фаза тощо, для створення більш ефективних перешкод.

6. Робоча дальність: РЕБ можуть мати різні дальності дії, від кількох метрів до кількох кілометрів, в залежності від їх конструкції та призначення.

7. Захист від виявлення: Деякі РЕБ можуть мати захисні функції, які ускладнюють їх виявлення та локалізацію, що робить їх більш ефективними в бойових умовах.

Хоча РЕБ можуть мати різні конструкції та функціональні характеристики, їх основна мета полягає в створенні радіоперешкод для завадження нормальному функціонуванню радіосистем.

Активні засоби РЕБ (рисунок 1.10), такі як радіоперешкоди, можуть впливати на роботу квадрокоптера, перешкоджаючи зв'язку між оператором та апаратом. Наприклад, інтенсивний сигнал РЕБ може перешкоджати передачі команд управління або спричинити втрату зв'язку з квадрокоптером. Це може призвести до втрати контролю над апаратом та його неконтрольованого руху, що може становити загрозу для безпеки навколишнього середовища та перешкоджати виконанню польотних завдань[5].

Для захисту від активних засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) квадрокоптери використовують різні технології та методи, спрямовані на забезпечення надійності та стійкості роботи апарату у випадку впливу радіоелектронних перешкод.



Рисунок 1.10 - Сучасна система РЕБ

По-перше, деякі квадрокоптери можуть бути оснащені антенами з підвищеною стійкістю до перешкод (рисунок 1.11). Це означає, що антени мають спеціальне конструктивне виконання або матеріали, які забезпечують кращий прийом сигналів умовами електромагнітних перешкод. Наприклад, антени можуть мати спеціальне покриття або конструкцію, яка дозволяє зменшити вплив шумів та перешкод на сигнали управління, що забезпечує більш стабільний зв'язок між оператором та квадрокоптером навіть у умовах високого рівня електромагнітного шуму [6].

По-друге, для захисту від радіоперешкод використовуються алгоритми автоматичного виявлення та уникнення. Ці алгоритми вбудовані в програмне забезпечення квадрокоптера і дозволяють апарату автоматично реагувати на виявлення радіоперешкод, змінюючи свій шлях польоту для уникнення зон з інтенсивною радіоелектронною активністю. Наприклад, якщо квадрокоптер

5. Погодні умови: Вітер, дощ, сніг та інші погодні умови можуть впливати на стабільність квадрокоптера та можуть ускладнити його керування. Важливо враховувати ці фактори при плануванні та виконанні польотів.

6. Електромагнітні перешкоди: Радіоперешкоди від інших пристроїв можуть спричиняти втрату зв'язку або нестабільність керування квадрокоптером. Необхідно використовувати заходи захисту та уникати зон з інтенсивною радіоелектронною активністю.

7. Активні засоби РЕБ: Радіоелектронні блоки можуть використовуватися для створення радіоперешкод та заваджання роботі квадрокоптера. Системи захисту та уникнення перешкод можуть бути використані для забезпечення стабільного та безпечного польоту.

Усі ці аспекти важливі для забезпечення ефективного та безпечного функціонування квадрокоптерів у різних умовах експлуатації. Розуміння цих факторів дозволяє розробникам та операторам БПЛА максимально ефективно використовувати їх потенціал у різних сферах діяльності[5].

2 ПРОЕКТУВАННЯ КВАДРОКОПТЕРА ТА ЙОГО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми квадрокоптера та його системи керування

Після ознайомлення з основними принципами управління квадрокоптерами та їх властивостями, наступним етапом є розробка концепції системи управління.

Структурна схема - це візуальне представлення компонентів системи або процесу та їх взаємозв'язків. Вона демонструє структуру системи чи процесу, вказуючи на логічні зв'язки між окремими елементами. Така схема дозволяє зрозуміти, як взаємодіють різні компоненти системи або як послідовно виконуються дії у процесі. Вона може бути використана для аналізу, проектування або пояснення роботи системи чи процесу.

Структурна схема керування квадрокоптером є ключовим елементом його функціонування. Вона включає в себе комплекс компонентів, які спільно працюють для забезпечення правильного керування польотом. Ці компоненти взаємодіють між собою для забезпечення стабільності, автономності та ефективності квадрокоптера у різних умовах.

Основні компоненти структурної схеми керування:

1. Сенсори та датчики: вони грають ключову роль у забезпеченні квадрокоптера необхідною інформацією для правильного функціонування. Цей компонент відповідає за збір даних про стан квадрокоптера та його навколишнє середовище. Акселерометри вимірюють прискорення, гіроскопи - обертання, магнітометри - магнітне поле, барометри - атмосферний тиск, а GPS-приймачі визначають місцезнаходження [5].

Ці дані інтегруються для створення повної картини про те, як квадрокоптер рухається у просторі та яка обстановка навколо нього. Наприклад, акселерометри та гіроскопи визначають напрямок та швидкість руху, магнітометри допомагають

у визначенні орієнтації у відношенні до магнітного поля Землі, а GPS-приймачі забезпечують інформацію про точне місцезнаходження в просторі [5].

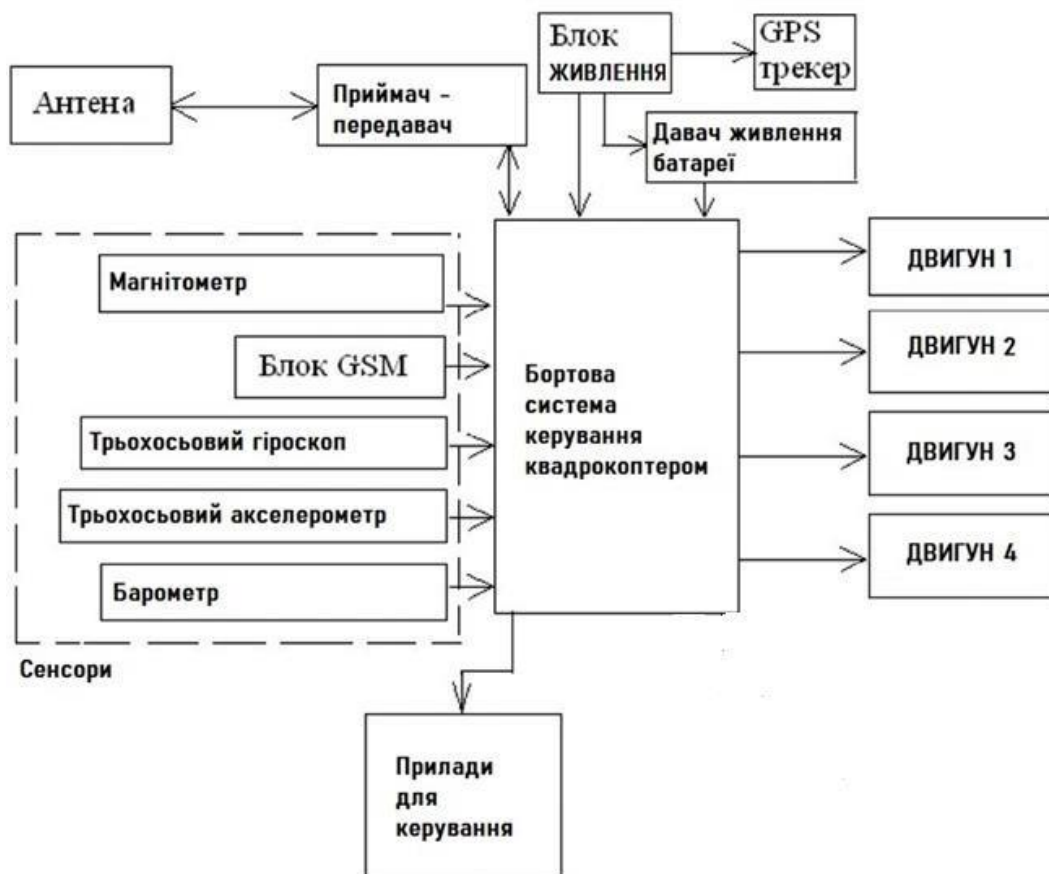


Рисунок 2.1 - Структурна схема квадрокоптера

Завдяки цим даним, керуючий блок може аналізувати поточне положення квадрокоптера і приймати відповідні рішення щодо корекції руху, стабілізації польоту та навігації. Такий підхід забезпечує квадрокоптеру необхідну стабільність та точність у різних умовах польоту.

2. Керуючий блок: керуючий блок відіграє важливу роль у системі керування квадрокоптером. Цей компонент відповідає за обробку вхідних даних, які надходять від сенсорів, і приймає рішення щодо керування квадрокоптером з урахуванням поточних умов польоту та поставлених завдань. Керуючий блок може включати в себе мікроконтролер або комп'ютер, який виконує аналіз

інформації, що надходить від сенсорів. За допомогою розрахунків та алгоритмів, вбудованих у програмне забезпечення, керуючий блок формулює оптимальні команди для стабілізації польоту, управління рухом та виконання різноманітних завдань [6].

Крім того, керуючий блок може мати систему автоматичного регулювання, яка підтримує певні параметри польоту на оптимальному рівні. Це може включати автоматичну стабілізацію, управління висотою та підтримку балансу під час польоту, який забезпечує ефективну та стабільну роботу апарата в різних умовах та завданнях.

3. Актуатори і приводи: актуатори і приводи є важливим компонентом системи керування квадрокоптером. Їх головна функція - це виконання команд, що надходять від керуючого блоку, та перетворення їх на фізичні рухи квадрокоптера. Цей процес здійснюється за допомогою двигунів та приводів, які керують рухом квадрокоптера в повітрі.

Двигуни квадрокоптера відповідають за створення тяги, необхідної для підтримки польоту та виконання різноманітних маневрів. Вони приймають вхідні сигнали від керуючого блоку та генерують необхідні оберти для керування рухом квадрокоптера по трьом основним напрямкам: вперед/назад, вліво/вправо та вгору/вниз [6].

Приводи, у свою чергу, відповідають за трансляцію обертової рухомості двигунів в лінійні рухи квадрокоптера. Вони контролюють рух кожного з двигунів окремо, регулюючи швидкість обертання пропелерів. Це дозволяє забезпечити рівномірний та стабільний політ квадрокоптера, а також виконання різних маневрів з високою точністю, та дозволяють квадрокоптеру ефективно та стабільно працювати у повітрі.

4. Алгоритм керування: будуть розроблені алгоритми для обробки даних з сенсорів та управління швидкістю обертання моторів. Серед них будуть використовуватися алгоритми PID для стабілізації польоту та алгоритми для керування маршрутом польоту. Зазвичай квадрокоптер має чотири мотори з



Рисунок 2.2 - Вигляд базового квадрокоптера

Для забезпечення відеозв'язку між оператором і квадрокоптером використовуються системи відеотрансляції. Ці системи дозволяють операторові спостерігати за польотом квадрокоптера в реальному часі через відео з камери, яка встановлена на борту апарату. Крім того, інтерфейс з оператором може включати системи телеметрії, які забезпечують збір і передачу даних про стан квадрокоптера, такі як температура двигунів, рівень заряду акумулятора, стан систем керування, забезпечує надійний та ефективний зв'язок між оператором та апаратом, а також дозволяє контролювати польот та отримувати зворотний зв'язок про його стан і параметри роботи.

6. Безпека і автономність: безпека і автономність є важливими аспектами системи керування квадрокоптером, оскільки вони забезпечують надійність та ефективність польоту, а також захист від можливих аварійних ситуацій. Однією з ключових функцій безпеки є автоматичне повернення додому при втраті зв'язку між квадрокоптером та оператором. Це означає, що у випадку втрати сигналу

радіопередавача або інших технічних проблем, квадрокоптер автоматично повертається до свого вихідного пункту, де зазвичай знаходиться оператор. Це дозволяє уникнути втрати контролю над апаратом та захистити його від потенційних аварій.

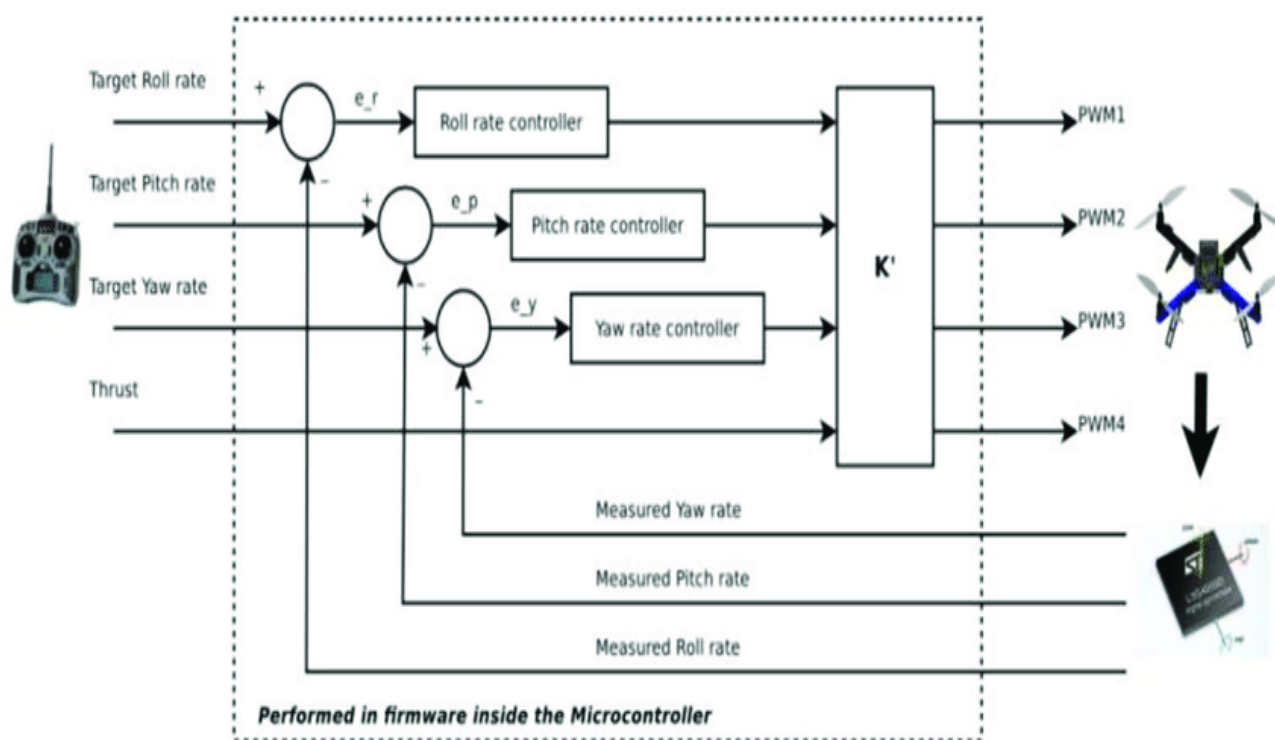


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи керування

Крім того, система керування може включати автономні функції, такі як автоматичний зліт та посадка. Це дозволяє оператору легко керувати польотом квадрокоптера без необхідності складного керування.

Наприклад, автоматичний зліт дозволяє квадрокоптеру самостійно піднятися у повітря після включення, тоді як автоматична посадка забезпечує безпечне і контрольоване приземлення після завершення польоту, зменшуючи ризик аварійних ситуацій і спрощуючи процес керування для оператора [7].

Основною ціллю є розробка системи керування, яка буде надійною, стійкою, гнучкою та легко налаштовуватись і модифікуватись.

Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата

2.2 Моделювання квадрокоптера

Моделювання квадрокоптера в програмі - це ефективний спосіб розробки та тестування нових алгоритмів керування та вивчення його поведінки в різних умовах без необхідності використання реального обладнання.

У сучасному світі, де безпілотні літальні апарати (БЛА) стають все більш поширеними в різних сферах, включаючи аерофотозйомку, дослідження, розвідку та розваги, моделювання квадрокоптера в комп'ютерних програмах набуває великої актуальності та важливості. Це завдання стає дедалі більш важливим у зв'язку з постійним розвитком технологій та зростаючою потребою в удосконаленні алгоритмів керування, вивченні поведінки квадрокоптерів у різних умовах та забезпеченні їх надійності та безпеки [7].

Однією з ключових переваг моделювання квадрокоптера в комп'ютерних програмах є можливість швидкого та ефективного тестування нових алгоритмів керування та стратегій навігації без необхідності використання реального обладнання. Це дозволяє розробникам швидко прототипувати та вдосконалювати рішення, зменшуючи час та витрати на експерименти. Крім того, моделювання квадрокоптера дозволяє вивчати його поведінку в різних умовах, включаючи різні погодні умови, терен та зовнішні впливи, що допомагає розробникам краще зрозуміти можливості та обмеження апарату та вдосконалювати його характеристики.

Моделювання квадрокоптера в комп'ютерних програмах є важливим інструментом для навчання та навчання студентів, інженерів та інших спеціалістів, які працюють у сфері безпілотних систем. Це дозволяє їм отримати практичні навички у розробці та використанні БЛА без реального ризику для обладнання та людей.

У загальному, моделювання квадрокоптера в комп'ютерних програмах відіграє важливу роль у просуванні технологій безпілотних систем, забезпеченні їх надійності та безпеки, а також у навчанні майбутніх поколінь фахівців.

швидкість або мінімальний радіус повороту, а також уникати перешкод та зон недоступності. Алгоритм адаптивного керування дозволяють квадрокоптеру адаптуватися до змінних умов польоту та навколишнього середовища. Вони можуть реагувати на зміни у вітрових умовах, турбулентності повітря чи втрати деяких датчиків [8].

Ці алгоритми керування енергозбереженням оптимізують використання енергії бортової системи квадрокоптера для максимізації часу польоту або досягнення певних завдань з мінімальними енергетичними витратами.

4. Симуляція різних умов: Симуляція різних умов польоту є важливою складовою моделювання квадрокоптера в програмах. Цей процес дозволяє імітувати різні погодні умови, висоти польоту, швидкості та інші фактори, що можуть впливати на поведінку квадрокоптера. Симуляція може відтворювати різні погодні умови, такі як сонячна погода, дощ, туман, сильний вітер тощо. Це дозволяє досліджувати, як квадрокоптер реагує на такі умови та які заходи безпеки необхідно вживати для забезпечення стабільності та безпеки польоту.

Симуляція може включати різні висоти польоту, від низьких до великих. Це дозволяє досліджувати, як квадрокоптер взаємодіє з різними атмосферними умовами на різних висотах та як це впливає на його польотні характеристики. Симуляція швидкості також дозволяє встановлювати різні швидкості польоту квадрокоптера. Це важливо для вивчення його динаміки та аеродинаміки при різних швидкостях, а також для визначення оптимальних стратегій керування. Також симуляція може враховувати різні фактори, такі як маса квадрокоптера, розташування центру мас, розподіл потужності між моторами тощо. Це дозволяє вивчати вплив цих параметрів на стабільність та ефективність польоту.

5. Аналіз результатів: Після завершення симуляції важливо провести аналіз отриманих результатів для оцінки ефективності та стабільності системи керування квадрокоптером

4. FlightGear: Це відкритий авіаційний симулятор, який також можна використовувати для моделювання польотів квадрокоптерів. Він має реалістичні моделі фізики польоту, які дозволяють виконувати віртуальні польоти в різних умовах.

5. Dronocode: Це фреймворк для розробки програмного забезпечення для керування дронами, який також містить інструменти для симуляції польотів квадрокоптерів. Він дозволяє створювати та тестувати алгоритми керування в імітованих середовищах перед їх реалізацією на реальних дронах.

Ці програми надають різні можливості для моделювання квадрокоптерів, і вибір конкретної програми залежить від потреб користувача та його технічних вимог.

Для моделювання квадрокоптера була вибрана програма MATLAB, оскільки вона має низку переваг. MATLAB є потужним інструментом для розв'язання математичних завдань та проведення чисельних обчислень. Його широкі можливості у вигляді вбудованих функцій для аналізу даних, обробки сигналів, оптимізації та моделювання дозволяють створювати складні моделі квадрокоптерів та проводити дослідження їх поведінки в різних умовах. Програма має спеціалізований інструментарій для моделювання динаміки систем, що дозволяє створювати фізичні моделі квадрокоптерів та враховувати їхню поведінку в реальному часі. Це включає в себе моделювання динаміки руху, аеродинамічних ефектів, реакцій на керування та інше.

MATLAB надає низку спеціалізованих інструментів для проектування та аналізу систем керування, включаючи алгоритми стабілізації, навігації та автономного керування. Це дозволяє розробляти та випробовувати різні стратегії керування квадрокоптером у віртуальному середовищі. Також програма має велику спільноту користувачів і підтримується широким спектром інструментів та платформ. Це дозволяє легко інтегрувати програму MATLAB з іншими інструментами, такими як Simulink для моделювання систем керування або ROS

Ця система підтримує різні режими польоту, включаючи стабілізацію, акробатичний режим і режими автономного польоту. Крім того, вона має вбудовані PID-контролери, які дозволяють налаштовувати поведінку квадрокоптера

Отже, вибір SP Racing F3 + OSD як системи керування квадрокоптером обґрунтований його продуктивністю, функціональністю, надійністю та підтримкою спільноти.



Рисунок 2.5 - Модуль системи керування SP Racing F3 + OSD

Мотори: Вибір моторів залежить від розмірів та маси квадрокоптера. Необхідно обрати мотори з відповідним обертовим моментом, який забезпечить ефективну роботу квадрокоптера. Для даного квадрокоптера було обрано безколетоні трьохфазні мотори 1200KV (рисунок 2.6) оскільки вони мають низку переваг.

Мотори KV1200 відомі своєю високою швидкістю обертання та ефективністю. Завдяки високому коефіцієнту обертового моменту (KV) в 1200 обертів на хвилину за вольт, ці мотори забезпечують потужний старт і швидку реакцію на команди керування. Мотори з високим KV надають квадрокоптеру

Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата

значну потужність і тягу, що дозволяє виконувати різноманітні маневри, включаючи стрибки, обертання та швидкі рухи [8].

Сумісність з багатьма типами квадрокоптерів: Мотори KV1200 можуть бути використані з різними типами квадрокоптерів, від FPV гоночних дронів до аерофотозйомки. Їх універсальність робить їх популярним вибором серед пілотів. Мотори з високим KV часто характеризуються високою ефективністю енергоспоживання, що дозволяє подовжити час польоту квадрокоптера за рахунок меншої витрати енергії.

Мотори з 1200KV є добре збалансованими моторами, які поєднують у собі швидкість, потужність і ефективність. Це дозволяє досягати оптимальної продуктивності в різних умовах польоту.



Рисунок 2.6 - Безколеторні мотори 1200KV

Рама: При створенні квадрокоптера, вибір правильної рами є ключовим аспектом, який визначає його ефективність, міцність та стабільність у польоті. Однією з найпопулярніших рам для будівництва квадрокоптерів є рама F450 (рисунок 2.7). Рама F450 відома своєю міцністю та надійністю. Виготовлена з високоякісного матеріалу, вона може витримувати значні навантаження та удари,

що робить її ідеальним вибором для побудови стійкого квадрокоптера. Рама має стандартний розмір та кріплення, що дозволяє легко встановлювати різноманітні компоненти, такі як контролери польоту, мотори, акумулятори та інші елементи. Ця універсальність робить її популярним вибором серед будівельників квадрокоптерів [8].

Помірна вага рами дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення між міцністю та вагою квадрокоптера. Це важливо для досягнення стабільності та маневреності в польоті. Рама F450 володіє вигідним співвідношенням ціни та якості. Вона доступна за помірну ціну, та вже давно використовується в спільноті любителів квадрокоптерів, тому існує багато доступної інформації, досвіду та підтримки з її використання.



Рисунок 2.7 - Рама квадрокоптера F450

Акумулятор: Вибір правильного акумулятора для квадрокоптера є ключовим етапом у процесі створення ефективної та продуктивної системи живлення. Акумулятор LiPo Battery 2S 7.4V 1500mAh має оптимальне поєднання

напруги і ємності. Напруга 7.4V дозволяє забезпечити достатню потужність для працездатності моторів та електроніки квадрокоптера, а ємність 1500mAh забезпечує достатній час польоту без необхідності частого заряджання[9].

Акумулятор LiPo Battery 2S 7.4V 1500mAh(рисунок 2.8). володіє відносно легкою вагою, що дозволяє зменшити загальну вагу квадрокоптера. Це важливо для досягнення оптимального співвідношення між вагою та продуктивністю польоту. Більшість сучасних квадрокоптерів підтримують акумулятори LiPo Battery, оскільки вони забезпечують високу енергетичну ємність і пікові струми, необхідні для вимогливих задач. Цей акумулятор може бути оптимально сумісним з системою керування, яка підтримує такий тип акумуляторів, що дозволяє досягти максимальної продуктивності та ефективності [9].



Рисунок 2.8 - Акумулятор LiPo Battery 2S 7.4V

Регулятор швидкості: Вибір правильних регуляторів швидкості визначається кількома факторами, включаючи потужність, надійність та сумісність з іншими компонентами квадрокоптера. Регулятори швидкості XXD HW30A 30A (рисунок 2.9) мають потужність 30A, що робить їх достатньо

Вип.	Аркуц	№ Докум.	Підпис	Дата

2.3 Висновки до другого розділу

В аналізі структурної схеми системи керування квадрокоптера видно, що ця система складається з численних компонентів, які спільно працюють для досягнення мети. Вона включає в себе процес збору даних від сенсорів, їх обробку керуючим блоком, виконання команд за допомогою актуаторів та приводів, взаємодію з оператором через інтерфейс, а також забезпечення безпеки та автономності [11].

У процесі моделювання квадрокоптера в програмі MATLAB виконуються різні етапи, такі як створення віртуальної моделі, програмування фізичної моделі, розробка алгоритмів керування та симуляція різних умов польоту. Цей процес дозволяє ретельно вивчити поведінку квадрокоптера в різних сценаріях та вдосконалити алгоритми керування для досягнення ефективності й надійності [11].

При виборі апаратних компонентів для квадрокоптера в Україні враховуються різноманітні фактори, такі як технічні характеристики, надійність, вартість та доступність на ринку. У зв'язку зі швидким розвитком цієї галузі та зростаючим інтересом до безпілотної авіації, важливо продовжувати вивчення та вдосконалення систем керування для забезпечення ефективного та безпечного функціонування квадрокоптерів у різних умовах [12].

3 АЛГОРИТМІЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КВАДРОКПТЕРА

3.1 Алгоритмічне забезпечення квадрокоптера

Алгоритмічне забезпечення в контексті квадрокоптерів охоплює розробку програмного забезпечення (алгоритмів) для управління різними аспектами їх функціонування. Ці алгоритми відповідають за керування рухом, стабілізацію, навігацію, реакцію на зовнішні впливи та багато іншого. Ось деякі ключові аспекти алгоритмічного забезпечення для квадрокоптерів:

1. Системи стабілізації: Алгоритми стабілізації відповідають за підтримку стабільного положення квадрокоптера в повітрі. Вони використовують дані з гіроскопів, акселерометрів та можливо з компасів для визначення та корекції кутів орієнтації квадрокоптера.

2. Автопілоти: Автопілоти є складнішими системами, які дозволяють квадрокоптерам виконувати автономні місії, такі як проліт певним маршрутом, автоматичне виконання задач з мапування або виконання вибраних завдань без втручання оператора.

3. Алгоритми навігації: Ці алгоритми визначають оптимальний маршрут квадрокоптера до певної цілі, використовуючи глобальні позиційні дані та локальні відомості про оточуюче середовище.

4. Системи уникнення перешкод: Ці алгоритми використовуються для виявлення перешкод (наприклад, інших літальних апаратів, будівель або дерев) та планування шляху для уникнення зіткнень.

5. Реакція на зовнішні впливи: Квадрокоптери можуть бути вразливі до різних зовнішніх факторів, таких як вітер, зміни температури, опади тощо. Алгоритми реакції дозволяють квадрокоптерам адаптуватися до цих умов і зберігати стабільність та безпеку польоту.

Усі ці аспекти алгоритмічного забезпечення мають вирішальне значення для ефективного та безпечного функціонування квадрокоптерів у різних сценаріях використання. Дослідження та розвиток нових алгоритмів є важливою галуззю в області безпілотних літальних апаратів [12].

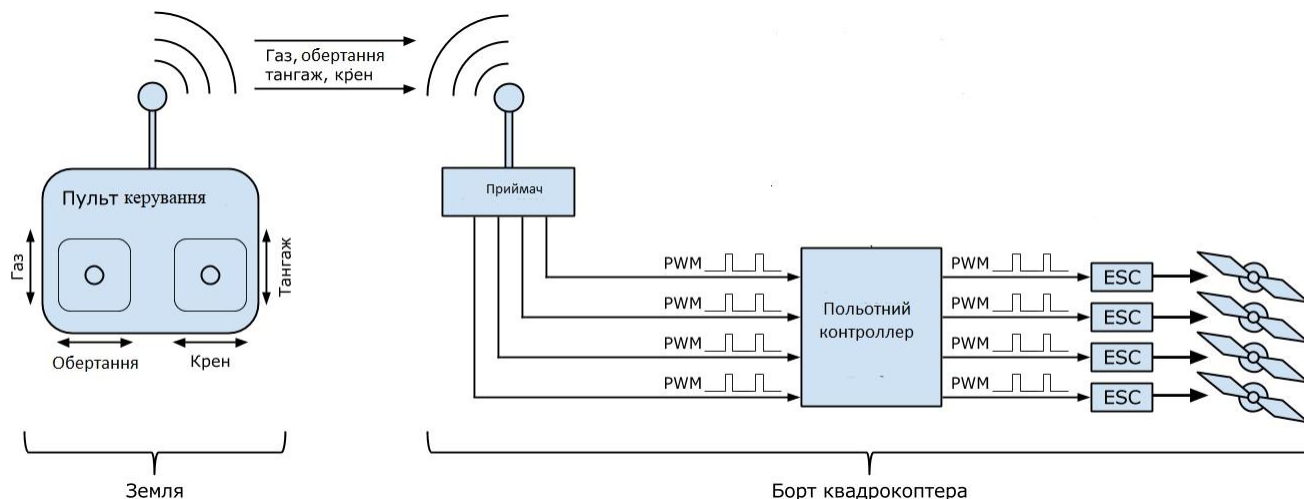


Рисунок 3.1 – Схема системи керування квадрокоптером

Алгоритм управління квадрокоптером має за мету забезпечити стійке виконання основних режимів польоту, таких як взліт, посадка, стабільний політ на місці та зміна напрямку руху. Це досягається шляхом регулювання швидкості обертання роторів двигунів. Алгоритми управління визначають оптимальні значення кутів нахилу кожного з чотирьох роторів, щоб квадрокоптер залишався у стабільному положенні або виконував потрібні маневри в залежності від команд пілота або автоматичних систем управління. Пов'яжемо прямокутну систему координат (СК) з початком у центрі мас квадрокоптера під час старту. Припускаємо, що осі цієї системи є основними осями інерції. Бак з паливом розташований в центрі мас квадрокоптера, тому зміни моменту інерції через споживання пального мізерні. На квадрокоптер діє сила тяжіння, опір повітря та регульовані сили тяги кожного з чотирьох двигунів. Кожен двигун є джерелом тяги, моменту тяги, "моменту реакції" (внаслідок розгону або гальмування пропелера двигуна) та аеродинамічного моменту, спричиненого взаємодією

пропелера з повітрям. Також наявні гіроскопічні моменти через значну швидкість обертання пропелерів [12].

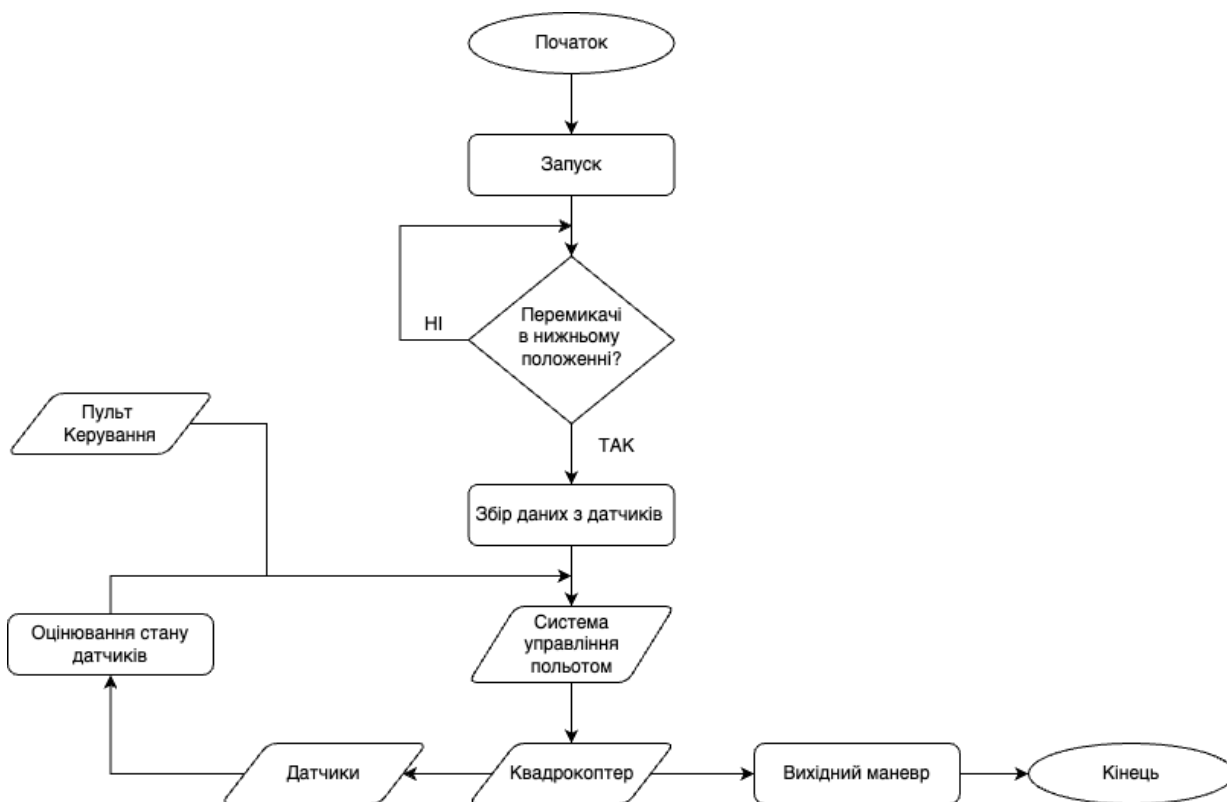


Рисунок 3.2 – Блок схема системи керування квадрокоптером

Давайте визначимо змінні стану квадрокоптера та керуючі змінні. Припустимо, що X^*, Y^*, Z^* представляють інерціальну систему координат (ІСК) з початком в точці старту, яка співпадає зі зв'язаною з квадрокоптером системою координат (ЗСК) при старті. Поточна орієнтація ЗСК відносно ІСК визначається кутами ψ, θ, γ - курсу, тангажу та крену. Вектор стану об'єкта управління та його системи управління включає: X^*, Y^*, Z^* - поточні координати центру мас квадрокоптера в ІСК [13];

VX, VY, VZ - компоненти вектору швидкості центру мас квадрокоптера;

ψ, θ, γ - кути курсу, тангажу та крену;

$\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ - проекції вектору кутової швидкості на вісі ЗСК;

$\omega_i, i = 0, 5$ - кутові швидкості обертання роторів 1-5 кожного з двигунів;

$$\theta = \Omega_2 \sin(\gamma) + \Omega_3 \cos(\gamma) \quad (3.8),$$

$$\gamma = \Omega_1 + \operatorname{tg}(\theta)(\Omega_3 \sin(\gamma) - \Omega_2 \cos(\gamma)) \quad (3.9),$$

$$\Omega_1 = (-MG_x - dH_1 + MF\Sigma_x + MA\Sigma_x) / I_{xx} \quad (3.10),$$

$$\Omega_2 = (-MG_y - dH_2 + MF\Sigma_y + MA\Sigma_y) / I_{yy} \quad (3.11),$$

$$\Omega_3 = (-MG_z - dH_3 + MF\Sigma_z + MA\Sigma_z) / I_{zz}, \quad (3.12)$$

Тут $\mathbf{MG} = (MG_x, MG_y, MG_z)$ представляє собою вектор гіроскопічного моменту, обчислений у проєкціях на осі ЗСК; $\mathbf{dH} = (dH_1, dH_2, dH_3)$ - це вектор локальної похідної кінетичного моменту двигунів; $\mathbf{MF\Sigma} = (MF\Sigma_x, MF\Sigma_y, MF\Sigma_z)$ - це сумарний момент сил тяги двигунів; $\mathbf{MA\Sigma} = (MA\Sigma_x, MA\Sigma_y, MA\Sigma_z)$ - це сумарний аеродинамічний момент, що створюється шести двигунами. Отже, рух квадрокоптера з двигунами внутрішнього згорання та електричними двигунами описується системою диференціальних рівнянь (3.1) - (3.12) з відомими початковими умовами. У цих умовах завдання управління полягає в тому, щоб встановити залежності між керуючими змінними $\varepsilon_j, j=0,5$, та компонентами вектора стану таким чином, щоб поведінка вектора стану відповідала бажаній [16]. Під час синтезу системи управління важливо враховувати обмеження на прискорення та швидкість обертання роторів двигунів квадрокоптера. На кожному етапі синтезу вектор стану квадрокоптера вважається відомим, і цю функцію зазвичай виконує бортова навігаційна система. Вона вимірює первинні динамічні характеристики та обчислює необхідні компоненти вектора стану у реальному часі для ефективного управління. При моделюванні керованого польоту основним методом є чисельне інтегрування системи диференціальних рівнянь. При цьому вибір методу та кроку інтегрування важливий, але не має критичного значення при правильному використанні. Час оновлення значень управляючих змінних зазвичай синхронізований із тактом роботи навігаційної системи, і зазвичай становить 0.01-0.02 секунди. Отже, основу алгоритму моделювання складає циклічна частина методу інтегрування системи рівнянь (3.1) - (3.12) [17]. На кожному кроці дискретного часу, який відповідає такту інтегрування, отримують значення координат X^*, Y^*, Z^* та проєкцій швидкості

або ПД – регуляторам, коефіцієнти яких визначаються методом модального управління з біноміальним розподілом коренів характеристичного рівняння відповідної замкнутої системи. Поява третіх похідних керованих змінних у ЕА пов'язана з необхідністю врахування керуючих змінних у динамічному рівнянні для керованої змінної, що вимагає переходу до системи третього порядку і використання в законі синтезу також другої похідної керованої змінної. Розглянемо регулятор, який формує потрібне значення похідної вертикального прискорення для стабілізації висоти квадрокоптера навколо заданого значення. Для цього запропоновано наступний закон управління: $\alpha Y^* = k_2 VY + k_1 VY + k_0(Y - H^*)$ [24],

Де Y і VY - вимірювання поточної висоти та вертикальної швидкості, що надходять від бортової навігаційної системи; VY може бути обчислено або оцінено за допомогою спостерігаючого пристрою або фільтра Калмана. Коефіцієнти k_2 , k_1 і k_0 визначаються за біноміальним розподілом з параметром b . Даний регулятор забезпечує стабілізацію висоти близько до заданого значення, але може бути менш ефективним при тривалому наборі/зменшенні висоти. Тому при значному відхиленні фактичної висоти від заданої для визначення αY^* використовується інший закон управління: $\alpha Y^* = k_2 VY + k_1(VY - VY_{\max} \cdot \sin(H^* - Y))$, де k_2 і k_1 також визначаються за біноміальним розподілом, а VY_{\max} - максимально допустима швидкість вертикального руху. Таким чином, ці формули забезпечують безперервне формування потрібного значення змінної αY^* , яке потім реалізується за допомогою керування ДВЗ. При переході від одного алгоритму до іншого можливий перехідний процес, який можна мінімізувати шляхом адаптації параметра b під час роботи [25].

Для стабілізації кута курсу квадрокоптера навколо заданого значення ψ^* пропонується наступний закон формування: $\sigma Y^* = k_2 \psi + k_1 \psi + k_0(\psi - \psi^*)$, (3.20) де ψ - виміряний поточний кут курсу, що надходить із бортової навігаційної системи; ψ також може обчислюватися за допомогою спостерігаючого пристрою або

фільтра Калмана. Коефіцієнти (k_1) , (k_2) , і (k_0) відповідають біноміальному розподілу з параметром (b) . Цей регулятор забезпечує стійку стабілізацію кута курсу близько до заданого значення, але може бути менш ефективним при великих відхиленнях. Тому при значному відхиленні фактичного кута курсу від заданого для визначення σY^* використовується інший закон $\sigma Y^* = k_2\psi + k_1(\psi - \psi_{\max} \text{sign}(\psi^* - \psi))$ де (k_2) і (k_1) також визначаються за біноміальним розподілом, а (ψ_{\max}) - максимально допустима швидкість обертання за кутом курсу. Таким чином, ці формули забезпечують безперервне формування потрібного значення змінної σY^* , яке потім реалізується за допомогою керування одним з роторів. При переході від одного алгоритму до іншого можливий перехідний процес, який можна мінімізувати шляхом адаптації параметра (b) під час роботи [26].

Регулятори швидкості, які генерують σX^* , σZ^* необхідні значення похідного кутового прискорення навколо поздовжньої та поперечної осі ЗСК, є необхідними для стабілізації кута тангажу квадрокоптера близько до заданого значення θ^* . $\sigma Z^* = k_2\theta + k_1\dot{\theta} + k_0(\theta - \theta^*)$, (3.21) Де θ - це вимірювання поточного кута тангажу, яке надходить від бортової навігаційної системи. Кут тангажу θ може бути обчислений за формулою $\theta = \Omega_2 \sin(\gamma) + \Omega_3 \cos(\gamma)$ на основі обчислених в системі значень кута тангажу та кутової швидкості, або оцінений за допомогою спостерегаючого пристрою (СП) або фільтра Калмана (ФК) з використанням вимірювань кута тангажу. Крім того, θ може бути обчислений за формулою, яка отримана аналітичним диференціюванням (3.8) з урахуванням чисельних значень правих частин рівнянь (3.9) – (3.13), що отримані для поточних значень кутів та кутової швидкості, або за допомогою СП або ФК. Коефіцієнти $k_2 = -3b$, $k_1 = -3b^2$, $k_0 = -b^3$ відповідають біноміальному розподілу з параметром b (у даному випадку $b = 15$) [27]. Для стабілізації кута крену квадрокоптера близько до заданого значення γ^* пропонується наступний закон формування $\sigma X^* = k_2\gamma + k_1\dot{\gamma} + k_0(\gamma - \gamma^*)$, (3.21) Де γ – це вимірювання поточного крену, яке надходить

від бортової навігаційної системи. Кут крену γ або обчислюється за формулою $\gamma = \Omega_1 + \operatorname{tg}(\theta)(\Omega_3 \sin(\gamma) - \Omega_2 \cos(\gamma))$ на основі обчислених у системі значень куту та кутової швидкості, або оцінюється за допомогою спостерігаючого пристрою (СП) або фільтра Калмана (ФК) за поточними вимірами кута крену. Крім того, $\dot{\gamma}$ також обчислюється за формулою, отриманою аналітичним диференціюванням (9) з урахуванням чисельних значень правих частин рівнянь (3.7) – (3.13), отриманих для поточних значень кутів та кутової швидкості, або за допомогою СП та ФК [28]. Коефіцієнти $k_2 = -3b$, $k_1 = -3b^2$, $k_0 = -b^3$, відповідають біноміальному розподілу з параметром (у даному випадку $b = 15$). Оскільки вважаємо, що кути тангажу і крену змінюються у незначних межах, альтернативних алгоритмів для великих розворотів немає.

Стандартна програма польоту квадрокоптера включає такі етапи: задання висоти, горизонтальний переліт до точки призначення, зависання у точці та посадка. На вході програми передаються потрібна висота H^* та координати X^* , Z^* точки призначення. Припускається, що управління виконується без помилок, тобто швидкість ротора змінюється згідно з обчисленими значеннями. Алгоритм обчислення управління роторами двигунів виконується у циклі в кожному такті управління та включає такі кроки [29]:

Обчислення необхідних значень третьої похідної висоти за формулами (3.18) та (3.19) і управління для ротора ДВЗ за формулою (3.20) (постійне управління висотою). Обчислення заданого значення кута курсу за формулою (3.22) для націлювання квадрокоптера на точку призначення. Обчислення необхідних змінних значень третьої похідної кута курсу за формулами (3.20), (3.21) і кутового прискорення ротора ЕД5 за формулою (3.23) для націлювання на точку призначення та стабілізації напрямку [30].

Якщо відстань до точки призначення більше 100 м, прийняття заданої поздовжньої та поперечної швидкості квадрокоптера та обчислення заданих значень кутів тангажу та крену за формулами (3.24), (3.25). Обчислення необхідних значень третіх похідних кутів за формулами (28), (27) і керування

					КвРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ		
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			53

роторами ЕД1-ЕД4 для маршрутного польоту за формулами (3.18), (3.19). Якщо відстань до точки призначення менше 100 м, обчислення значень кутів тангажу та крену для стабілізації квадрокоптера у точці призначення, а також необхідних значень третіх похідних кутів. При досягненні мінімальної помилки по координатах і швидкості в точці призначення, прийняття заданого значення висоти, обчислення необхідних значень третьої похідної висоти та управління для ротора ДВЗ за формулами (3.24), (3.23) [32].

Коли досягнуто задану висоту з нульовою вертикальною швидкістю, це вважається завершенням польоту. Усі ці операції виконуються на кожному етапі управління, працюючи алгоритми формування заданих значень та регулятори постійно і враховуючи поточні значення стану квадрокоптера.

Для перевірки працездатності розробленого алгоритму управління був проведений моделювальний політ квадрокоптера з такими умовами:

1. Початкова швидкість була нульовою, висота складала 50 м, а орієнтація відносно поздовжньої осі була встановлена приблизно на північ.

2. Бажана точка зависання розташовувалась на висоті 150 м і знаходилась на відстані 1700 м на північний схід від початкового положення з азимутом близько 28° .

3. Кінцева точка була розташована на висоті 10 м під точкою зависання.

4. Такт роботи системи управління збігався з тактом оновлення поточної інформації і становив 0,01 с.

5. Використовувалися наступні параметри квадрокоптера та системи управління: $I_{xx} = 1.8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{yy} = 2.8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{zz} = 3.0 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m = 18 \text{ кг}$; $J = 0.00016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_0 = 0.04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $K_F = 0.0005 \text{ н} \cdot \text{с}^2$; $K_{F0} = 0.01 \text{ н} \cdot \text{с}^2$; $K_M = 0.0001$; $K_{M0} = 0.0004$; $K_S = 0.1 \text{ н} \cdot (\text{с}/\text{м})^2$ [33].

6. Для моделювання приймалися такі припущення: поточні дані, що надходять від бортової навігаційної системи та використовуються системою управління, вважалися ідеальними (без помилок та шумів); управління обертанням роторів вважалось ідеальним (без урахування інерційності, запізнення

					КвРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркул	№ Докум.	Підпис	Дата		54

та обмежень на похідну керуючих змінних); зовнішні збурення (наприклад, вітер) вважалися відсутніми, але внутрішні впливи, такі як гіроскопічні моменти, були враховані [34].

У таких умовах були отримані результати, які представлені на рисунках 3.3–3.5.

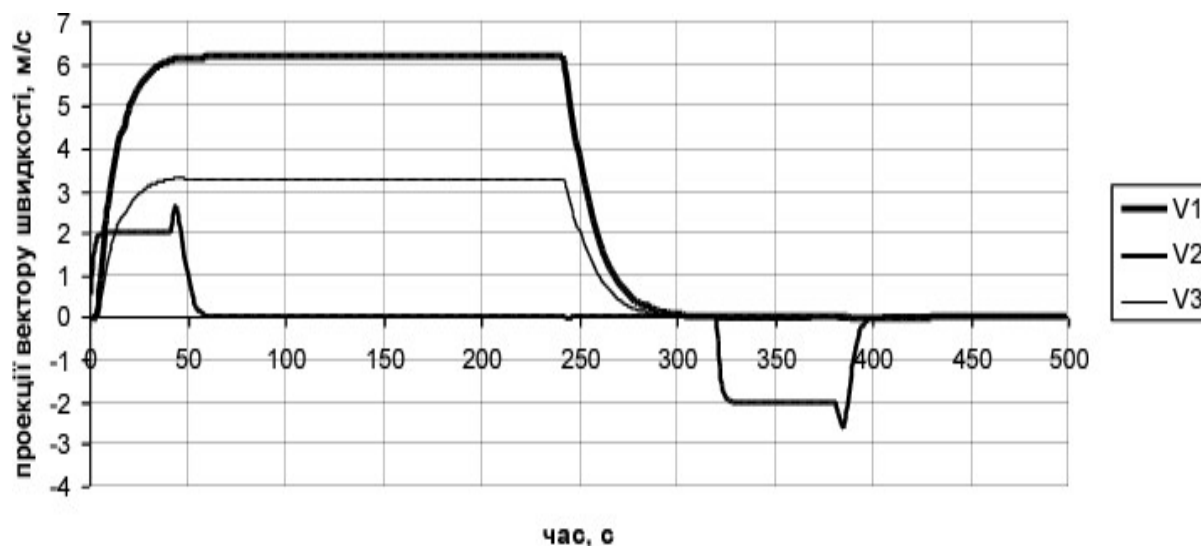


Рисунок 3.4 – Відображення координат під час польоту відносно ІСК

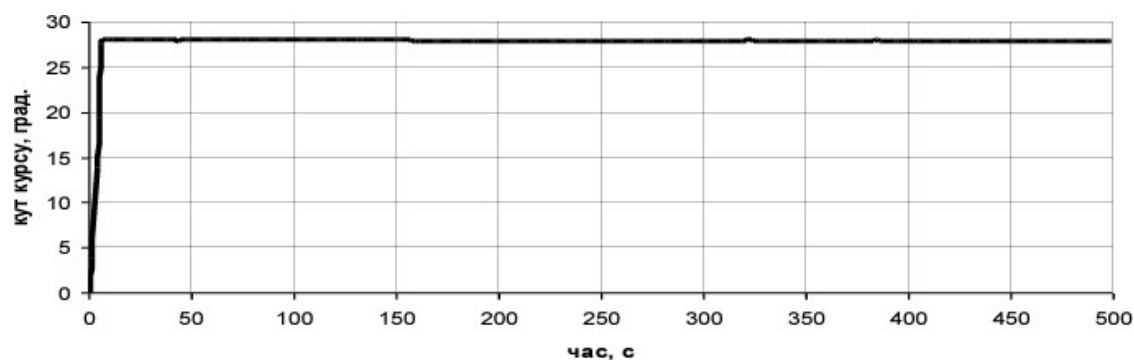


Рисунок 3.5 – поведінка V1, V2, V3 проекцій швидкості під час польоту на осі X, Y, Z

У перший кілька секунд політного відображені енергійні маневри, коли квадрокоптер активно переорієнтується з урахуванням напрямку до точки зависання. Після цього він переходить до прямолінійного польоту, під час якого

система постійно обчислює необхідний курс за поточними координатами і стабілізує його. На графіку кута тангажу спостерігається період, коли квадрокоптер нахилений вперед, що відповідає прямолінійному політу, а коли квадрокоптер зупиняється, кут тангажу стає нульовим.

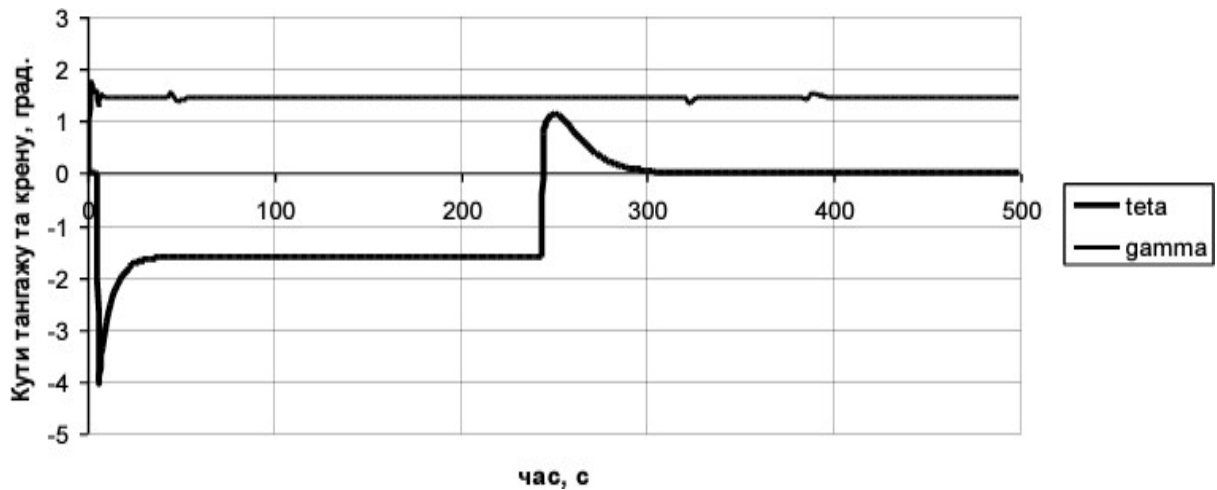


Рисунок 3.6 – Відображення кута курсу квадрокоптера під час польоту

Постійне значення кута крену пояснюється компенсацією впливу ЕД5, який додатково збиває квадрокоптер з лівого боку [35].

Результати комп'ютерного моделювання показують, що розроблена система є працездатною і може бути застосована для подальшого використання в проектуванні та вдосконаленні алгоритмів управління беспілотними літальними апаратами (БПЛА) в розглянутому контексті. Подальший розвиток можливий у напрямку врахування зовнішніх впливів, таких як вітрові умови; вдосконалення перехідних процесів при зміні режимів роботи; контроль за обмеженнями швидкості та прискорення обертання роторів; інтеграція в управляючий контур моделі бортової навігаційної системи з урахуванням характерних похибок та особливостей. Важливо враховувати, що використані у описі граничні значення для управління режимами є рекомендаційними і повинні бути налаштовані під конкретні параметри управління квадрокоптера [36].

Потрібно встановити правильні конфігурації для кожного порту відповідно до обладнання [38].

Наступним кроком є налаштування основних параметрів у вкладці "Configuration". Тут можна встановити тип дрону (квадрокоптер), вибрати протокол ESC (наприклад, DSHOT600), налаштувати частоту PID Loop та інші важливі параметри.

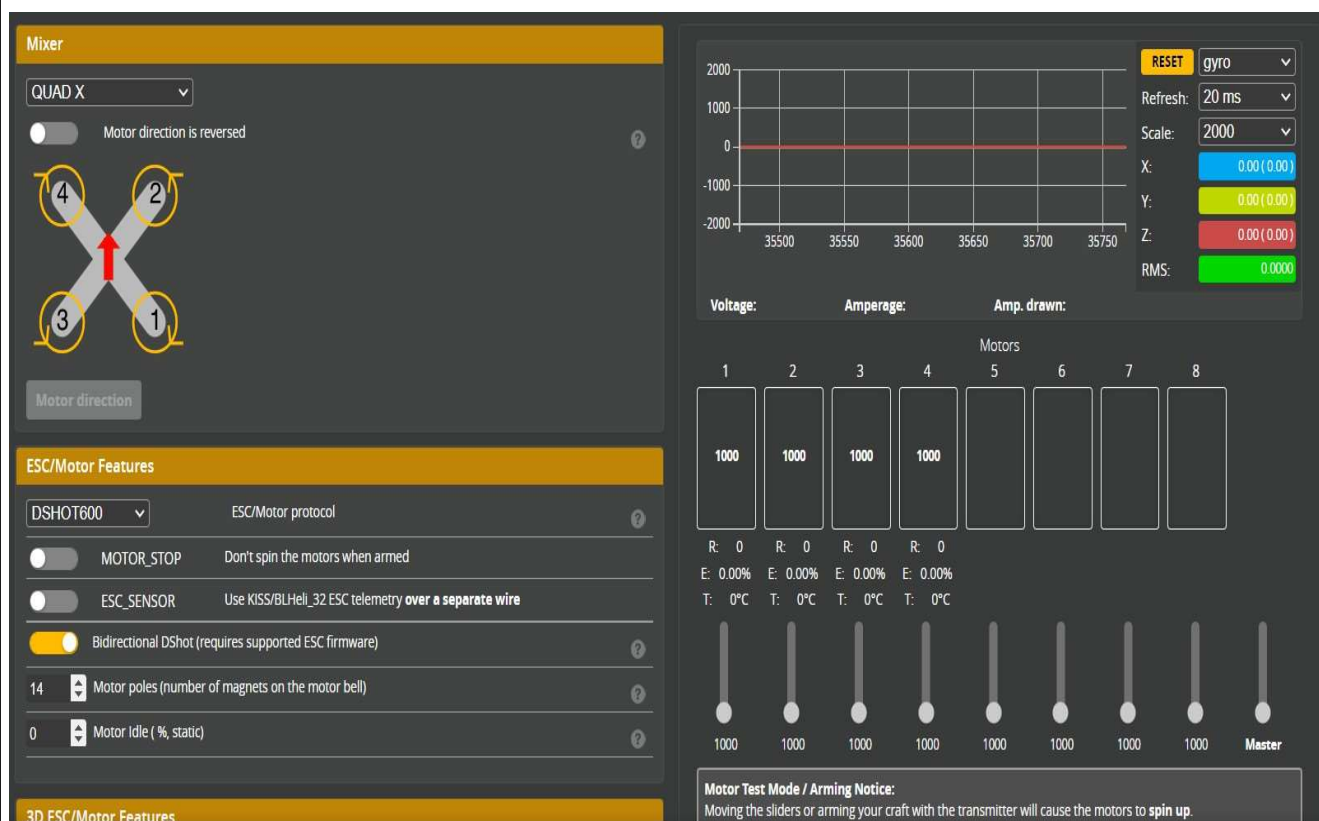


Рисунок 3.7 Конфігурація квадрокоптера в програмі Betaflight

Також потрібно переконатись, що всі налаштування відповідають характеристикам квадрокоптера. Потім потрібно перейти до вкладки "Power & Battery" для налаштування параметрів живлення. Вибрати тип акумулятора, номінальну напругу та налаштуйте порогові значення для попередження про низький заряд батареї. Це допоможе уникнути аварійних ситуацій через розряджений акумулятор під час польоту [38].

У вкладці "Failsafe" потрібно поведінку дрону у випадку втрати сигналу радіоуправління. Зазвичай встановлюється режим, за якого дрон автоматично

точного контролю та стабільності квадрокоптера. Водночас, алгоритмічне забезпечення, включаючи використання PID-регуляторів і методів модального управління, забезпечує оптимальну реакцію на зовнішні впливи та зміни стану дрону в режимі реального часу. Взаємодія апаратних і програмних компонентів гарантує надійність та безпеку польотів, а також дозволяє ефективно виконувати різноманітні завдання, покладені на безпілотні літальні апарати.

					КВРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ

Висновок: Розробка системи керування квадрокоптером в Україні є важливим кроком у напрямку розвитку авіаційних технологій та інтеграції дронів у різноманітні сфери діяльності. Ця система не лише забезпечує ефективне управління квадрокоптером, але й сприяє розвитку авіаційної промисловості, стимулює інновації та сприяє покращенню якості життя.

Завдяки розробці системи керування квадрокоптером, українські користувачі матимуть можливість використовувати дрони для різноманітних цілей, включаючи доставку, моніторинг, дослідження та багато іншого. Це робить цю систему невід'ємною частиною розвитку технологічного сектора та створює нові можливості для підприємств та індивідуальних користувачів.

Проте для подальшого розвитку системи керування квадрокоптером в Україні, необхідні додаткові зусилля у напрямку вдосконалення алгоритмів управління, підвищення безпеки та надійності дронів, а також розробки нових функцій і можливостей. Крім того, важливо забезпечити відповідність національним та міжнародним стандартам у сфері авіаційної безпеки та навігації.

Розвиток системи керування квадрокоптером в Україні є ключовим елементом у забезпеченні конкурентоспроможності країни на світовому ринку дронів. Це вимагає спільних зусиль уряду, наукових установ, технологічних компаній та інших зацікавлених сторін для створення сприятливих умов для розвитку індустрії дронів в Україні.

					КвРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ	
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		62

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Громов А. А. Керування багатокоптерними системами на основі комп'ютерного моделювання: навчальний посібник. / А. А. Громов. – Київ: Логос, 2021. – 216 с.
2. Жеребко О. І. Моделювання і керування квадрокоптерами / О. І. Жеребко, О. В. Гриценко. – Київ: КПУ, 2019. – 75 с.
3. Федосєєва Н. А. Перспективні галузі застосування безпілотних літальних апаратів / Н. А. Федосєєва. – 2019. – С. 26–29.
4. Бережний А. О. Методи та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Бережний А. О. – Харків, 2020. – 192 с.
5. Класифікація БПЛА за льотними характеристиками [Електронний ресурс] // Geoscan LTD – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/constmodule/classification/classification.html>.
6. Інгабіре А. Прикладні методи синергетичного синтезу систем керування безпілотними літальними апаратами з жорстким крилом: дис. канд. техн. наук : 2.3.1. / Інгабіре Алін – Таганрог, 2021. – 252 с.
7. Іваненко Ю. В. Огляд методів керування безпілотними літальними апаратами / Ю. В. Іваненко, О. С. Ляшенко, Т. Ф. Філімончук. // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2023. – С. 26–30.
8. Nguyen H. Control Algorithms for UAVs: A Comprehensive Survey / H. Nguyen, T. Quyen, C. Nguyen. // Industrial Networks and Intelligent Systems. – 2020. – С. 1–11.
9. Gritsenko v. Integral adaptive autopilot for an unmanned aerial vehicle / V. Gritsenko, O. Volkov. // Aviation. – 2018. – С. 129–135.

КВРАКІТ.2021054.01.07 ПЗ

10. Режими пілотування з дрона: особливості та відмінності [Електронний ресурс] // DJI Гід покупця. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.djimsk.ru/guides/2020/10/09/rezhimi-pilotirovaniya-sdrona-osbennosti-i-razlichiya/>.

11. Аполлонов Д.В., Бібікова К.І., Шибасєв В.М., Єфімова І.Є. Формування алгоритмів системи автоматичного управління перетворюваного безпілотної літального апарату // Праці МАІ. 2022. № 122. DOI: 10.34759/trd2022-122-23.

12. Калач А. В. Алгоритм розпізнавання полум'я з борту безпілотної повітряного судна / А. В. Калач, А. В. Витовтов, Т. Н. Куликова. // Вісник інституту ВПС. – 2017. – С. 86–89.

13. Серія Mavic 2 Enterprise. Посібник користувача v1.8 [Електронний ресурс] // DJI. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise/20200610/Mavic_2_Enterprise_Series_User_Manual-RU.pdf.

14. Anafi Thermal. User Guide v.6.7.0.1 [Електронний ресурс] // Parrot. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.parrot.com/assets/s3fpublic/2021-09/anafi-thermal-user-guide.pdf>.

15. Ke Lu. Flight Dynamics Modeling and Dynamic Stability Analysis of Tilt-Rotor Aircraft, International Journal of Aerospace Engineering, 2019, no. 2, pp. 1-15. DOI: 10.1155/2019/5737212.

16. Порівняння тепловізорних дронів: Anafi Thermal чи Mavic 2 Dual? [Електронний ресурс] // Drone.ua. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://drone.ua/sravnenie-teplovizornyih-dronov-anafi-thermal-ili-mavic-2-dual/>.

17. Квадрокоптер з тепловізором Autel EVO II Dual 640T V3 Rugged Bundle [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://brlab.ru/equipment/enterprise-drones/kvadrokofter-s-teplovizorom-autelevo-ii-dual-640t-v3-rugged-bundle/>.

18. Глотов В. Розробка методики підвищення точності визначення просторових координат точок об'єктів при аерозніманні з бпла / В. Глотов, М. Фис, О. Пащетник. // ISTCGCAP. – 2020. – С. 45–54.

ДОДАТОК А

Презентаційні матеріали

Система керування
квadroкоптером

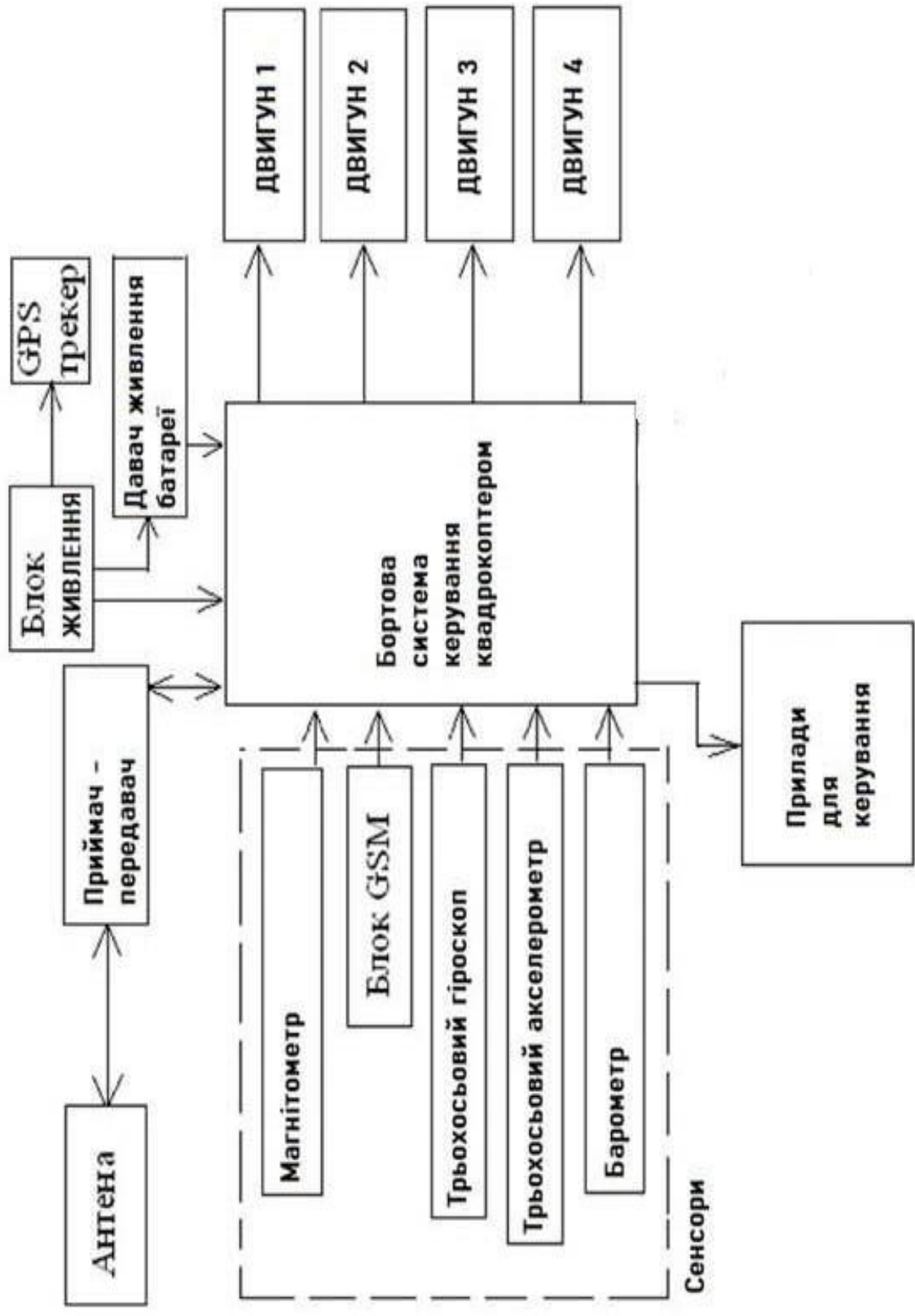
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

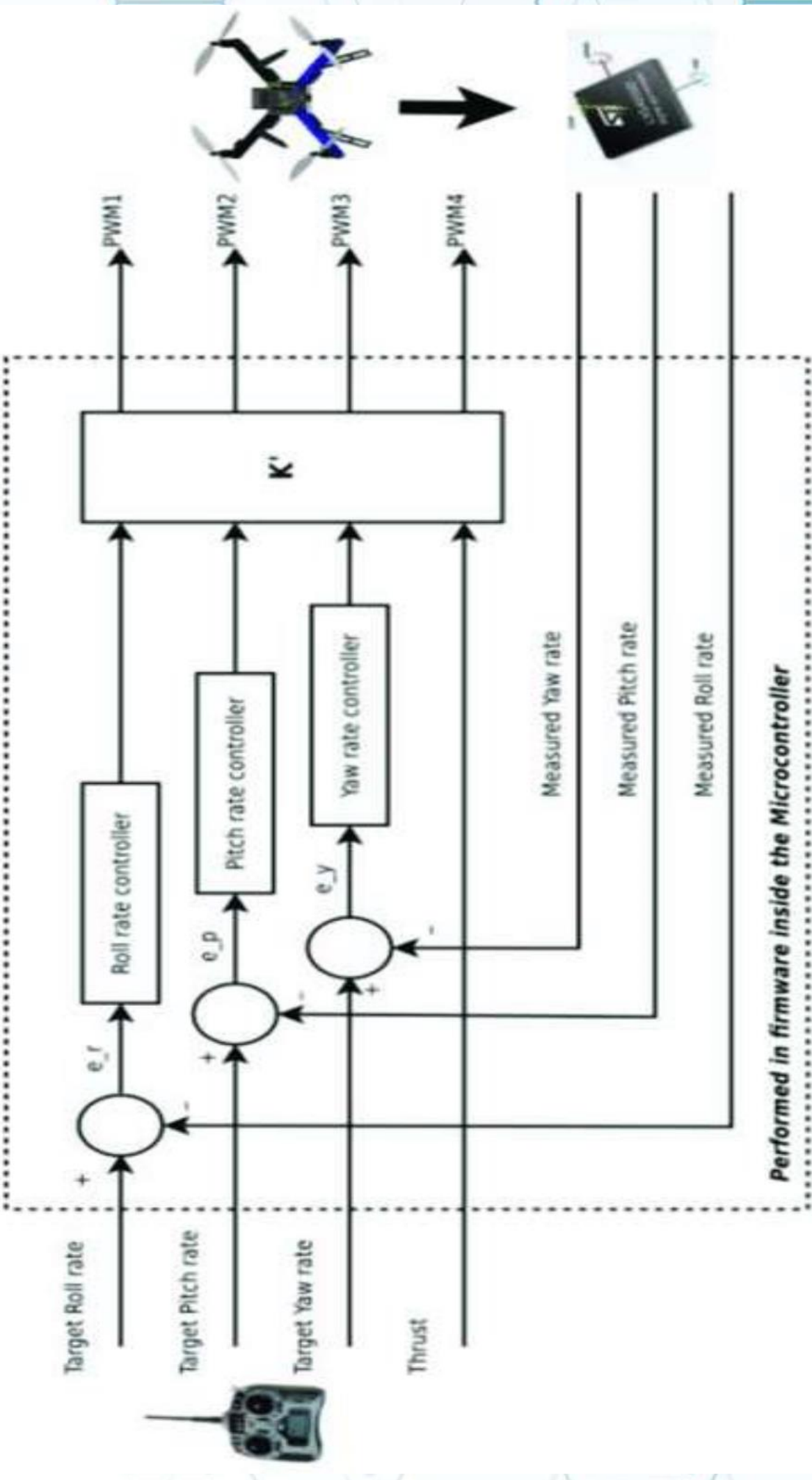
бакалавра

МЕТА

Мета розроблюваного проекту полягає в: - побудові функціонального квадрокоптера, який поєднує в собі як програмне, так і апаратне забезпечення, долаючи різноманітні перешкоди на цьому шляху.

У роботі виконана розробка і аналіз технологічної схеми, тобто принципу роботи. Було розроблено програмно-апаратне рішення для системи керування , що включає датчики .Ці дослідження представлені у вигляді алгоритму керування.






MATLAB R2017b

File View Viewpoints Navigation Rendering Simulation Recording Help

Isometric Fly



T=40.80 Fly Pos:[58.82 2.18 93.98] Dir:[-2.35 -1.63 -2.80]

Command Window

New to MATLAB? See resources for Getting Started

- Initializing: Project Path
- Setting up working folders
- Identifying shadowe
- Running: C:\Users\U
- Running: C:\Users\U
- Opening: C:\Users\USER\MATLAB\Projects\slexamples\asbQuadcopter9\mainModels\asbQuadcopter.six

Name	Value
AtmosphereBus	1x1 Bus
calib	1x1 struct
cmd	1x1 struct
Command	1x1 struct
CommandBus	1x1 Bus
Controller	1x1 struct
EnvironmentBus	1x1 Bus
estim	1x1 struct
Estimator	1x1 struct

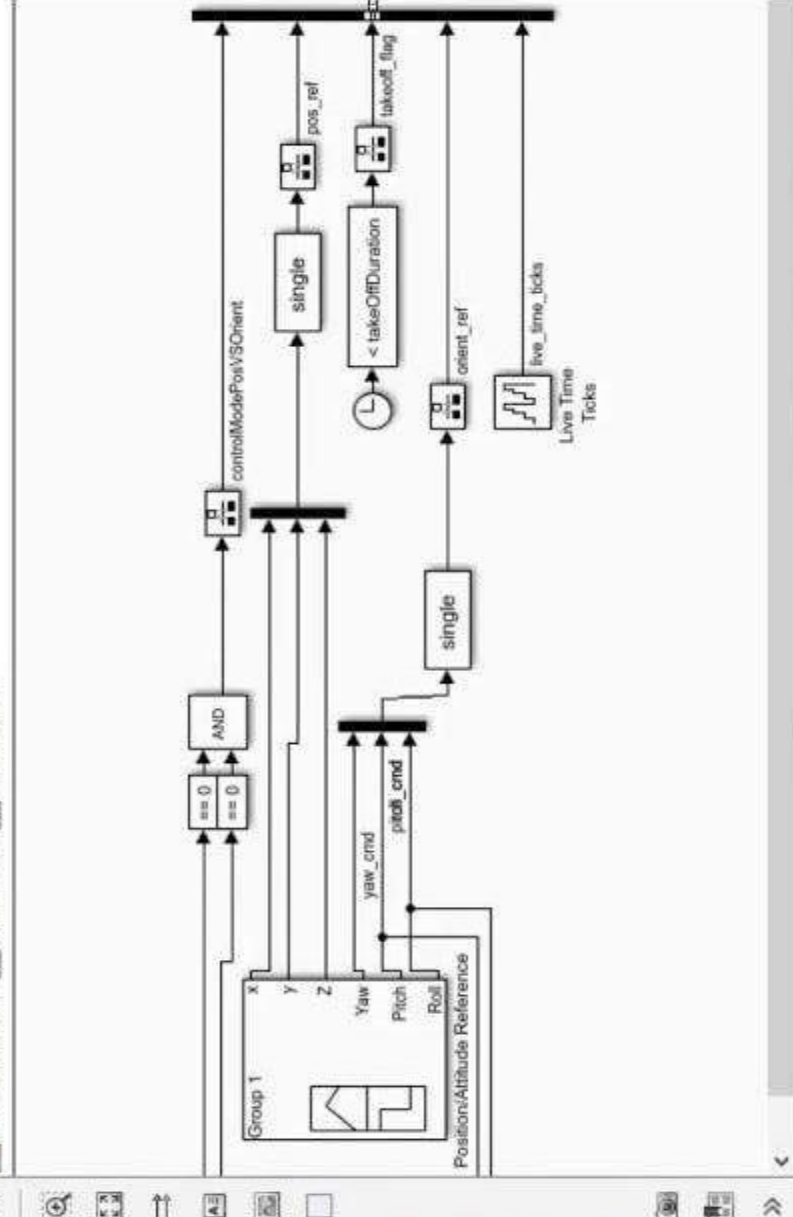
Search Documentation

asbQuadcopter/Command/Signal Builder * - Simulink

File Edit View Display Diagram Simulation Analysis Code Tools Help

Signal Builder

asbQuadcopter Command Signal Builder



controlModePosVSOrient

AND

== 0

== 0

single

single

takeOffDuration

takeoff_flag

orient_ref

live_time_ticks

Live Time Ticks

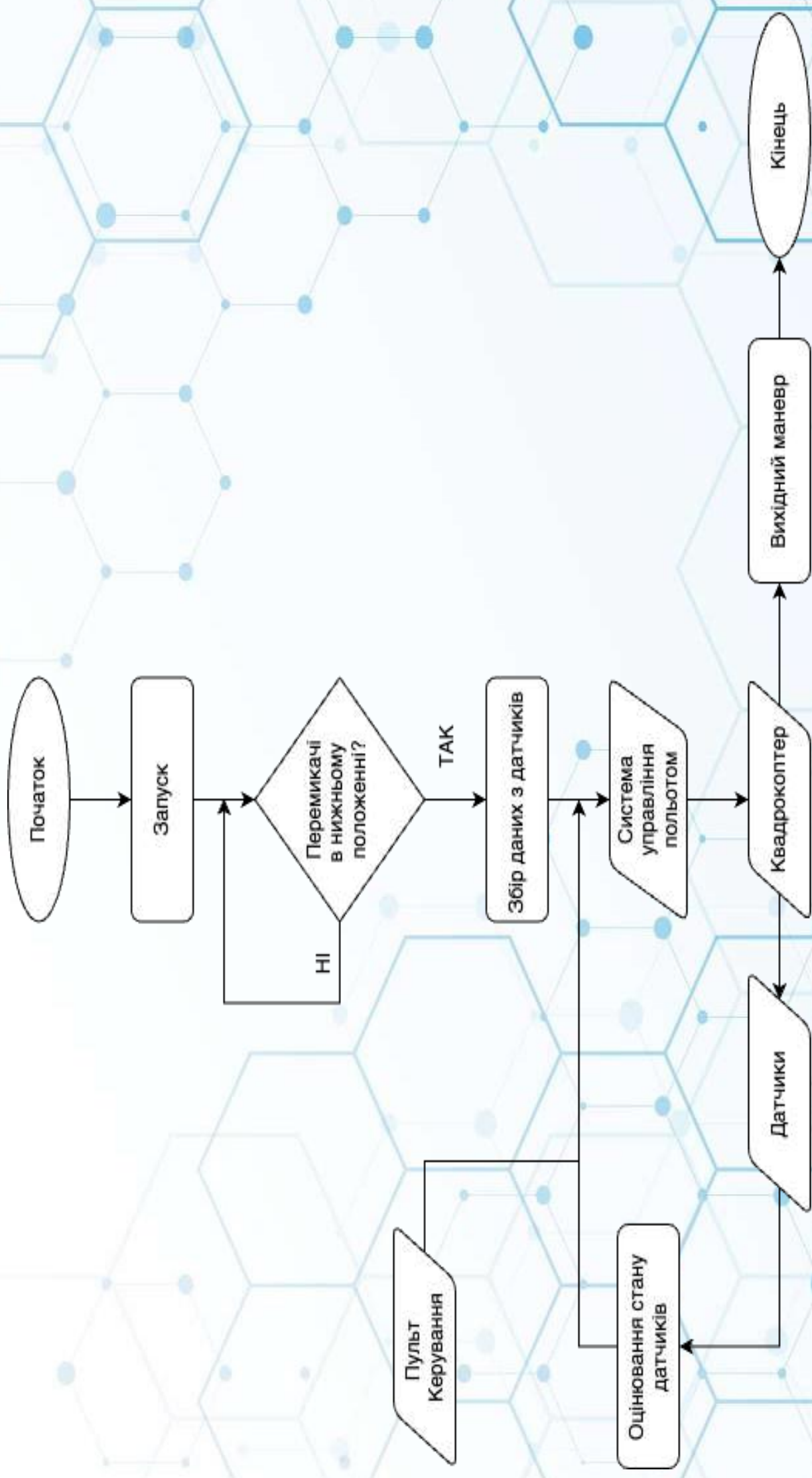
100% T=40.800

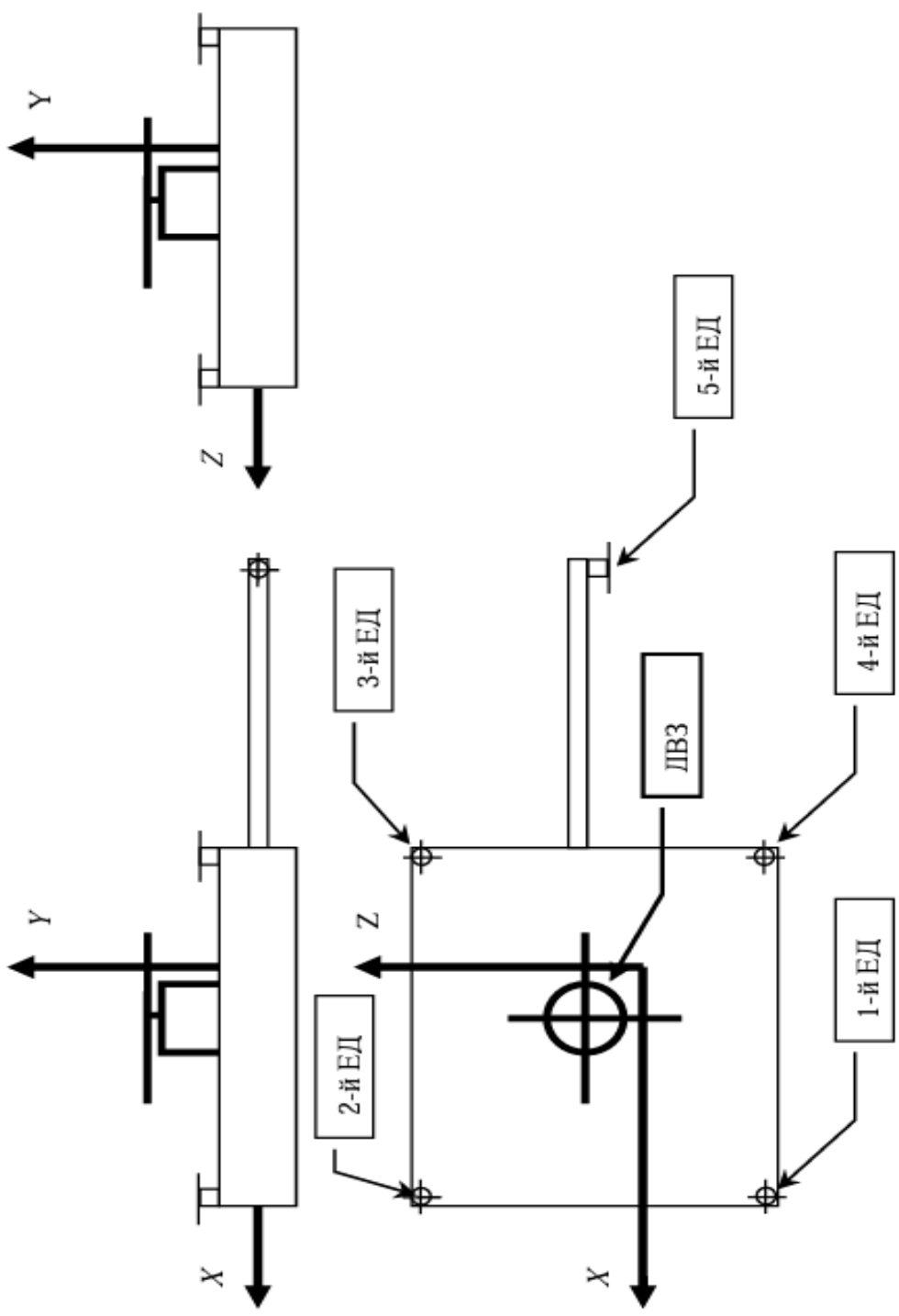
Utilities\setUpProject.m

Utilities\startVars.m

00:06:34



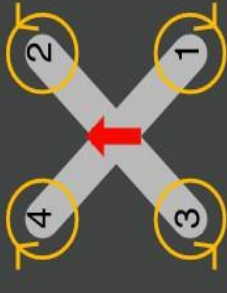




Mixer

QUAD X

Motor direction is reversed



ESC/Motor Features

DSHOT600

ESC/Motor protocol

MOTOR_STOP Don't spin the motors when armed

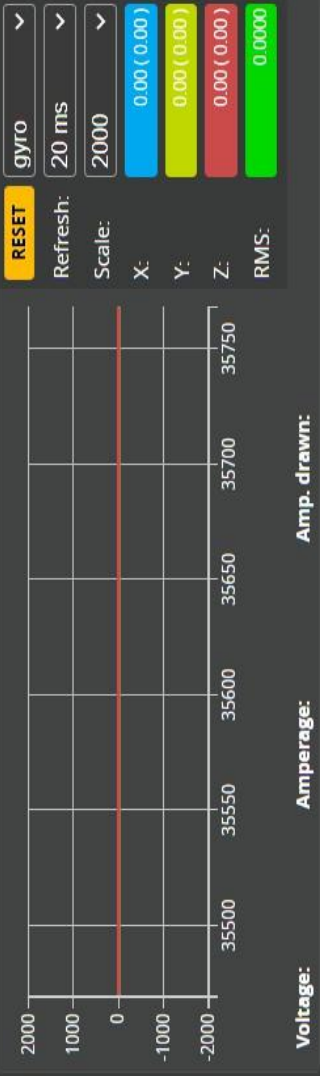
ESC_SENSOR Use KISS/BLHeli_32 ESC telemetry over a separate wire

Bidirectional DShot (requires supported ESC firmware)

14

0

3D ESC/Motor Features



Voltage:

Amperage:

Amp. drawn:

Motors



R: 0 R: 0 R: 0 R: 0
E: 0.00% E: 0.00% E: 0.00% E: 0.00%
T: 0°C T: 0°C T: 0°C T: 0°C



Motor Test Mode / Arming Notice:

Moving the sliders or arming your craft with the transmitter will cause the motors to spin up.

```

38     this.onDisconnectCallback = undefined;
39 }
40
41 handleConnect(openInfo) {
42     if (openInfo) {
43         FC.resetState();
44
45         // disconnect after 10 seconds with error if we don't get IDENT data
46         GUI.timeout_add('msp_connector', function () {
47             if (!CONFIGURATOR.connectionValid) {
48                 gui_log(i18n.getMessage('noConfigurationReceived'));
49
50                 disconnectAndCleanup();
51             }
52             }, 10000);
53
54             serial.removeEventListener('receive', readSerialAdapter);
55             serial.addEventListener('receive', readSerialAdapter);
56
57             const mspHelper = new MspHelper();
58             MSP.listen(mspHelper.process_data.bind(mspHelper));
59
60             MSP.send_message(MSPCodes.MSP_API_VERSION, false, false, () => {
61                 CONFIGURATOR.connectionValid = true;
62
63                 GUI.timeout_remove('msp_connector');
64                 console.log('Connected');
65
66                 this.onConnectCallback();
67             });
68         } else {
69             gui_log(i18n.getMessage('serialPortOpenFail'));
70             this.onFailureCallback();
71         }
72     }
73
74     handleDisconnect(detail) {
75         console.log('Disconnected', detail);
76
77         serial.removeEventListener('receive', readSerialAdapter);
78

```





Дякую за увагу !

Ім'я користувача:
Кафедра АКТІТК

ID перевірки:
1016383345

Дата перевірки:
23.06.2024 12:16:56 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
23.06.2024 12:54:09 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: **Миров цькии _антиплаг ат**

Кількість сторінок: **67** Кількість слів: **11792** Кількість символів: **91085** Розмір файлу: **1.53 MB** ID файлу: **1016193691**

841 слово позначене як "вилучене" та не враховується у підрахунку слів

3.13% Схожість

Найбільша схожість: **2.24%** з Інтернет-джерелом (<http://jds.m.khpi.edu.ua/article/download/263784/262198>)

3.12% Джерела з Інтернету **46** Сторінка **69**

0.18% Джерела з Бібліотеки **15** Сторінка **69**

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за **8** слів та **0%**)

Немає вилучених Інтернет-джерел

0% Вилученого тексту з Бібліотеки **27** Сторінка **69**

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи **55**

Sun Jun 23 11:53:50 EEST 2024, Федула Микола Васильович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 11%**

ID: 132258 Назва: БКР Система керування квадрокоптером Додано в БД: 2024-06-23 Автора: Андрій МИРОВІЦЬКИЙ Керівники: Денис МАКАРИШКІН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	84684	653	471 (1%)	7 (1%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Мировіцький Андрій Петрович

Тема: Система керування квадрокоптером

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

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: розроблено автоматизовану систему керування квадрокоптером, змодельовано умови експлуатації квадрокоптеру та можливі аварійні ситуації

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи:

У першому розділі кваліфікаційної роботи наведено основні технічні характеристики квадрокоптеру, проаналізовано існуючі типи квадрокоптерів та встановлено їх основні переваги та недоліки. У другому розділі розроблено структурну схему роботи квадрокоптера; проведено обґрунтування та вибір компонентів системи керування квадрокоптером; визначено параметри контролю. У третьому розділі розроблено алгоритм керування квадрокоптера. Наведено розрахунок параметрів системи керування. Розроблено програмне забезпечення контролера для налаштування квадрокоптера.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється огляду існуючих технічних рішень щодо людино-машинного інтерфейсу

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.


8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: _____

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Чесачи Віктор Миколайович,
канд. техн. наук, доцент кафедри кібербезпеки

"20" 06 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Мировіцький А.П.
ІІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи АКІТс-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

01.06.24

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система керування квадрокоптером
Автор: Андрій МИРОВІЦЬКИЙ
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Науковий керівник: к.т.н., доц. Денис МАКАРИШКІН
Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 3,13% і адресується до 46 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи





Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Денис МАКАРИШКІН