

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Навчально-науковий інститут електроенергетики
(інститут)
Електротехнічний факультет
(факультет)
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Демченко Тимофій Миколайович
(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1
(шифр)

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

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Автоматизація процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		Рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ас. Зибалов. Д.С.			
Провідний керівник	проф. Бубліков А.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	ас. Зибалов Д.С.			
Визначення моделі об'єкта керування	проф. Бубліков А.В.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	ас. Воскобойник Є.К.			
----------------	----------------------	--	--	--

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)
_____ Бублік А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

студенту Демченко Т.М. _____ академічної групи 151-19-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Автоматизація процесу керування під час посадки безпілотно
літаючого апарата затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська
політехніка» від 328-с від №08.05.2023 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	11.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	18.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	25.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування	01.06.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	05.06.2023

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Зибалов Д.С.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

04.05.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

12.06.2023

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Демченко Т.М.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 63 с., 25 рис., 17 табл., 1 додаток, 12 джерел
Дана кваліфікаційна робота є частиною комплексної роботи. Ця частина розглядає автоматизований процес керування безпілотного літаючого апарату при посадці.

Об'єкт дослідження є автоматизація процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата.

Предмет дослідження в нашому випадку є провадження автоматичних систем у процес керування під час посадки безпілотних літаючих апаратів.

Головною метою дослідження є вивчення можливостей та переваг автоматизації процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата. Дослідження спрямоване на аналіз різних аспектів автоматизованої системи керування, включаючи алгоритми, сенсорні системи, використання штучного інтелекту та інші технології, що допомагають забезпечити безпеку та ефективність процесу посадки безпілотного літаючого апарата.

Об'єктом керування є сам безпілотний літаючий апарат.

Використані методи дослідження:

- літературний аналіз для збирання і аналізу існуючих даних та наукових публікацій щодо автоматизації процесу керування під час посадки безпілотних літаючих апаратів;
- були проведені консультації з експертами в галузі автоматизації для отримання додаткових інсайтів щодо можливостей та викликів автоматизації процесу посадки;
- було проведено огляд і аналіз існуючих автоматичних систем керування, таких як системи машинного зору, навігаційні системи, системи штучного інтелекту та інші, для визначення їх потенціалу та обмежень у контексті посадки безпілотних апаратів;

- були використані комп'ютерні програми та симулятори для моделювання та віртуального тестування автоматичних систем керування під час посадки безпілотних літаючих апаратів.

Результатом аналізу технологічного процесу є визначення точки посадки, корекція положення дрону та його руху для досягнення точки посадки, контроль безпеки під час посадки, зокрема, виявлення перешкод та уникнення їх зіткнення з дроном, фіксація положення та завершення процесу посадки.

Щодо апаратних засобів ми обрали стандартний комплект, а саме мотори, електронні регулятори швидкості, акумулятор, радіопередавач, сенсори та GPS модуль.

Практичне значення - результати цього дослідження мають практичне значення для розробників та операторів безпілотних літальних апаратів. Впровадження розроблених методів та алгоритмів дозволить покращити автоматизацію процесу керування БПЛА при посадці, забезпечуючи високу точність і безпеку маневрів. Це має особливе значення в сферах, де безпілотні літальні апарати використовуються для моніторингу, пошуково-рятувальних операцій, аерофотознімання та інших застосувань.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що модель відповідає об'єкту керування і може бути використана для подальшої розробки системи керування. Отримана модель може служити основою для розробки програмного забезпечення системи керування.

**ЗНИЖЕННЯ, СТАБІЛІЗАЦІЯ, ОБЕРТИ, ПОСАДКА, СЕНСОРИ, СИСТЕМА
КЕРУВАННЯ, ВХІДНІ ТА ВИХІДНІ ДАНІ**

Зміст

Зміст	5
ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	8
1.1 Галузь промисловості	8
1.2 Технологічний процес	8
1.3 Об'єкт керування.....	9
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування.....	9
1.3.2 Структура об'єкта керування	9
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування.....	10
1.4 Висновки по розділу	11
2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЧПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ...	12
2.1 Розробка структурної схеми системи керування.....	12
2.2 Вибір комплектуючих та датчиків	13
2.2.1 Вибір комплектуючих дрона.....	14
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв.....	15
2.2.3 Вибір пристрою керування	17
2.2.4 Вибір пульта оператора.....	20
2.2.5 Вибір джерел живлення.....	21
2.2.5.1 Вибір джерел зв'язку	22
2.2.5.2 Датчик току та напруги	22
2.2.5.3 Датчик температури і вологості	23
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	24
2.4 Розробка електричної принципової схеми	26
2.5 Висновки за розділом	26
3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	27
3.1 Розробка математичної моделі	27
3.2 Перерахунок кутів тангажу та крену при довільній орієнтації дрону	27
3.3 Опис системи рівнянь моментів швидкості	28
3.3.1 Кути Ейлера.....	29
3.4 Моделювання динаміки дрону	30
3.5 Висновок до розділу	39

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	40
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	40
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	40
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	42
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	42
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	46
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	47
4.4.1 Амортизація основних фондів.....	48
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати.....	49
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи.....	50
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт.....	50
4.4.5 Витрати на електроенергію.....	51
4.4.6 Інші витрати	51
4.5 Висновки за розділом	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
5.1 Ергономіка	53
5.2 Застосування методу оцінки REBA Score для аналізу ергономіки	54
5.2.1 Переваги та обмеження використання методу REBA Score для автоматизації керування.....	55
5.3 Використання REBA Score для оцінки ризиків та рекомендацій	57
5.3.1 Використання REBA Score після рекомендацій та порівняння	59
5.4 Висновок до розділу	62
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	64
ДОДАТОК А.....	66
ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	67

ВСТУП

Автоматизація процесу управління під час посадки дрону є однією з ключових галузей промисловості, яка знаходить все більше застосування в сучасному світі. Дрони здатні виконувати різноманітні завдання, які раніше були доступні тільки людям, і це робить їх незамінними в різних сферах, включаючи медицину, транспорт, аграрну та промислову галузі.

Технологічний процес посадки дрону включає в себе ряд складних кроків, які потребують точного керування. Одним з ключових елементів управління є об'єкта керування, яке дозволяє відстежувати рух дрону та розміщення навколишніх об'єктів. Це дозволяє забезпечити безпечну посадку дрону та запобігти непередбачуваним ситуаціям.

Проблема посадки дрону полягає в тому, що процес є складним та вимагає великої уваги до деталей. Незначні помилки в управлінні можуть призвести до аварій, що збільшує ризик втрати дорогого обладнання. Удосконалення систем управління може допомогти уникнути цих проблем та зробити посадку дрону більш ефективною та безпечною.

Аналіз сучасного стану проблеми та існуючих систем керування є основою для вирішення поставленого завдання. Низька ефективність та складність управління посадкою дрону стає все більш актуальною проблемою, що потребує пошуку нових рішень.

Отже, удосконалення систем управління посадкою дрону є важливою та актуальною темою для подальшого розвитку промисловості та забезпечення безпеки під час використання дронів у різних галузях. Застосування автоматизованих систем управління може забезпечити більш точну та швидку посадку дрону, що зменшить ризик аварій та втрат обладнання. Крім того, може допомогти зменшити витрати на навчання пілотів, оскільки автоматизовані системи забезпечують можливість дистанційного керування дроном та мінімізують втручання пілота в процес посадки.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Галузь промисловості

Авіаційна промисловість є ключовою галуззю, де використовуються безпілотні літаючі апарати. Дана галузь охоплює виробництво, розробку та експлуатацію дронів. Основні показники діяльності авіаційної промисловості включають:

- кількість підприємств: За останні роки спостерігається зростання кількості підприємств, які займаються виробництвом та розробкою дрона. Це свідчить про зростання зацікавленості та потенціалу розвитку даної галузі;
- обсяги продукції: Завдяки розвитку технологій та автоматизації, обсяги виробництва дронів зростають. Запит на безпілотні системи забезпечує розвиток та конкурентоспроможність цієї галузі;
- напрямки застосування продукції: Безпілотні літаючі апарати застосовуються в різних сферах, таких як військова, цивільна та дослідницька діяльність. Вони використовуються для нагляду, пошуку та рятування, картографії, моніторингу довкілля та інших цілей;
- перспективи розвитку галузі: За оцінками експертів, галузь безпілотних літаючих апаратів має значний потенціал росту та розвитку. Запровадження нових технологій та методів автоматизації сприятимуть поліпшенню продуктивності та забезпеченню високих стандартів безпеки.

1.2 Технологічний процес

Технологічний процес автоматизованої посадки дрону можна розділити на кілька етапів. Першим етапом є визначення точки посадки, що може виконуватися різними способами, наприклад, за допомогою GPS або візуального визначення.

Другий етап полягає в корекції положення дрону та його руху для досягнення точки посадки. Цей етап може бути виконаний за допомогою різних методів, таких як PID-регулювання, алгоритми навігації та інші.

Третій етап передбачає контроль безпеки під час посадки, зокрема, виявлення перешкод та уникнення їх зіткнення з дроном. Цей етап може бути забезпечений за допомогою різноманітних сенсорів, таких як датчики відстані та зіткнення, камери з високим роздільною здатністю та інші.

Після досягнення точки посадки та зниження дрону на неї, відбувається фіксація положення та завершення процесу посадки. Опис та схема технологічного процесу автоматизованої посадки дрону можуть бути складені на основі аналізу відповідних методів та технологій, що використовуються в даній галузі промисловості.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Об'єктом керування в контексті автоматизації процесу управління під час посадки дрону є сам дрон, який потребує точного і швидкого реагування на змінні умови навколишнього середовища та виконання встановлених завдань. Технологічний процес посадки дрону передбачає взаємодію дрона зі змінними факторами навколишнього середовища, такими як погода, наявність перешкод, обмеження простору тощо. Оператор керує дроном за допомогою пульта управління, але застосування систем автоматичного керування може забезпечити більш точну і ефективну посадку дрону в умовах, коли ручне керування є непрактичним або небезпечним. Об'єкт керування повинен бути забезпечений необхідними сенсорами, такими як GPS-навігація, датчики відстані і висоти, камери тощо, щоб забезпечити точне виконання завдання з посадки дрону.

1.3.2 Структура об'єкта керування



Рисунок 1 – Структурна схема

Склад структури об'єкта керування включає такі вхідні та вихідні сигнали:

Вхідні сигнали:

- Чотири BLDC-двигуни.

Вихідні сигнали:

- Прискорення дрона.
- Тиск повітря навколо дрона.
- Температура навколо дрона.
- Дані місцезнаходження GPS.
- Відеосигнал.
- Керуючий вплив оператора.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Об'єкт керування під час посадки дрону працює за принципом комплексного використання автономних систем управління та сучасних технологій інформаційної обробки даних. У даному випадку дрон взаємодіє з автоматизованою системою управління, яка отримує дані від сенсорів та камер, що знаходяться на борту дрону, і аналізує та обробляє ці дані. На підставі отриманих даних система управління приймає рішення щодо коригування траєкторії руху дрону та контролює його польот під час посадки. При цьому враховуються різні фактори, такі як погодні умови, наявні перешкоди на території посадки, стан техніки дрону та інші фактори.

Таким чином, принцип функціонування об'єкта керування полягає в управлінні дроном за допомогою автоматизованої системи, яка базується на аналізі та обробці даних в режимі реального часу.

А також, відповідно до даних, наведених у розділі 1.3.2, можна визначити наступні канали керування:

1. "Прискорення дрона → Мікроконтролер";
2. "Керуючий вплив оператора → Мікроконтролер";
3. "Мікроконтролер → BLDC двигуни".

1.4 Висновки по розділу

На основі розглянутих вище питань про технологічний процес та об'єкт керування при посадці дрону можна зробити наступні висновки:

- для автоматизації процесу управління під час посадки дрону необхідно детально проаналізувати технологічний процес та визначити об'єкт керування.
- структура об'єкта керування повинна включати всі необхідні вхідні та вихідні параметри, а також пристрої, які контролюють та змінюють ці параметри.
- для правильного функціонування об'єкта керування необхідно дослідити його режими функціонування, обмеження на параметри, вимоги до безпеки та умов експлуатації.
- формулювання задачі дослідження та напрямки планування експерименту є важливим етапом у визначенні методів дослідження та моделювання об'єкта керування.
- вимоги до кінцевої форми моделі об'єкта керування та перевірки її на адекватність є необхідним етапом у розробці автоматизованої системи управління під час посадки дрону.

- Зміна напрямку обертання: Якщо двигун підтримує зміну напрямку обертання, можуть використовуватися команди для зміни напрямку руху, наприклад, зміна полярності сигналу або використання додаткових пінів для керування.
- Зупинка двигуна: Надсилається команда зупинки, яка вимикає живлення двигуна і припиняє його рух.

2.2 Вибір комплектуючих та датчиків

Система керування дрону використовує різні сенсори для точного визначення його положення. Для вимірювання прискорення використовується акселерометр, а для вимірювання кута нахилу - гіроскоп. Ці дані передаються до модуля MPU-6050. З метою досягнення більшої точності при визначенні положення дрона, використання додаткових сенсорів є важливим фактором. В системі присутній барометр HP206F, який допомагає компенсувати похибки в вимірюванні висоти дрона. Крім того, для коригування похибок у визначенні положення в просторі використовується GPS-модуль NEO-6N-0-001. Основні характеристики цього модуля включають:

Таблиця 2.1. Перелік датчиків та їх характеристик

№	Назва параметру	Назва датчику	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Нахил	MPU-6050	МММ ПЕ	Дис.	±250 ±500 ±1000 ±2000	0,00001	4...20 мА	1 мс	5 В	1 Вт
2	Прискорення	MPU-6050	МММ	Дис.	2g, 4g, 8g, 16g	0,00001	4...20 мА		5 В	1 Вт
3	Тиск	HP206F	ПРЕ	Циф.	300 - 1100 гектопаскаль (гПа)	±2 гПа	4...20 мА	1 с	5 В	1 Вт

Продовження таблиці 2.1

№	Назва параметру	Назва датчику	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
4	Температура	HP206F	NTC	Дис.	-40°C до +85°C.	±2°C.	4...20 мА	1 с	5 В	1 Вт
5	Положення	NEO-6N-0-001	СЗ	Дис.	-	до 5 м	4...20 мА	0.1 - 1 с	5 В	1 Вт

2.2.1 Вибір комплектуючих дрона

Рама - служить основою в пристрої дрона. Саме до цієї частини кріпляться всі інші складові девайса. У рамі передбачені отвори для кабель-менеджменту.



Рисунок 2.1 - рама дрона

Таблиця 2.2 – Характеристика рами дрона

№	Характеристика	Опис
1	Матеріал	Дюралюміній
2	Вага	Зазвичай більша, ніж у випадку з рамою з карбонового волокна
3	Міцність	Дуже міцний та стійкий матеріал, порівнюючи зі звичайний алюмінієм, що може витримувати великі навантаження та удари
4	Жорсткість	Дюралюміній є досить жорстким матеріалом, що може допомогти зменшити дрейф (відхилення від точної позиції)
5	Електропровідність	Дюралюміній є електропровідним матеріалом, що може створювати електричні перешкоди в рамці дрона та зменшувати його ефективність
6	Вартість	Дюралюміній є дешевшим матеріалом, ніж карбонові волокна, але може бути дорожчим, ніж інші металеві матеріали

Пропелери - за рахунок їх синхронізованого обертання дрон і піднімається в повітря.



Рисунок 2.2 - пропелери

Таблиця 2.3 – Характеристика пропелерів

№	Характеристика	Опис
1	Діаметр	24 дюймів
2	Кількість лопаток	4
3	Матеріал	углеволокно
4	Кут нахилу лопаток	Від 30 до 35 градусів
5	Кріплення	типове отвірне кріплення
6	Поділ нахилу лопаток	рівномірний
7	Тип роз'єму	прямий або обертовий
8	Вага	від 2 до 15 грам

2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Безколекторні двигуни мають кілька переваг порівняно з іншими типами двигунів, такими як колекторні або безколекторні:

- вища ефективність: Безколекторні двигуни мають вищу ефективність у порівнянні з колекторними двигунами. Це означає, що вони використовують енергію більш ефективно, що дає кращу продуктивність та триваліші польоти;
- більша потужність: Безколекторні двигуни зазвичай забезпечують більшу потужність в порівнянні з колекторними двигунами при тому ж розмірі та вазі. Це дозволяє досягати вищих швидкостей, здійснювати більш складні маневри та нести більше ваги;

- більша надійність: Безколекторні двигуни не мають зношуваних частин, таких як щітки та комутатори, які притаманні колекторним двигунам. Це зменшує ризик поломок та збільшує тривалість експлуатації двигуна;
- краще керування: Безколекторні двигуни дозволяють більш точне керування швидкістю та обертанням. Вони реагують швидше на команди пілота, що дозволяє здійснювати точніші маневри та керувати дроном з більшою точністю;
- менше шуму: Безколекторні двигуни генерують менше шуму порівняно з колекторними двигунами. Це особливо корисно для дронів, які використовуються у міських або шумних середовищах.



Рисунок 2.3 - безколекторний двигун

Таблиця 2.4 – Характеристика безколекторного двигуна

№	Характеристика	Опис
1	Модель	QX-motor QF3027
2	KV (оборотів на вольт)	2200
3	Напруга	7.4 - 14.8 В
4	Максимальний струм	25 А
5	Максимальна потужність	370 Вт
6	Швидкість обертання	80000об/хв
7	Розміри (діаметр x висота)	30 x 27 мм
8	Вага	75 г
9	Робоча температура	-10°C до +80°C
10	Кількість полюсів	12
11	Кількість фаз	3
12	Рекомендований ESC (регулятор швидкості)	30-40

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена таблиця 2.5.

Таблиця 2.5 – Виконавчі пристрої

№	Назва параметру	Назва виконавчого пристрою	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Рух	Безколектрний двигун	BLDC	Дис.	0 - 3800 об/хв	Нелін.		1 мс	5 В	20 Вт

2.2.3 Вибір пристрою керування

PIC32MX795F512L є одним з високопродуктивних мікроконтролерів, існують кілька причин, чому він може бути кращим за інші моделі:

- висока продуктивність: PIC32MX795F512L має 32-бітне ядро MIPS з тактовою частотою до 80 МГц. Це дозволяє виконувати складні обчислення та завдання високої швидкості;
- великий обсяг пам'яті: Завдяки 512 Кбайт флеш-пам'яті та 128 Кбайт оперативної пам'яті (RAM), PIC32MX795F512L має достатньо ресурсів для зберігання програмного забезпечення, даних та буферів;
- багатофункціональність: Цей мікроконтролер має різноманітні комунікаційні інтерфейси, такі як Ethernet, USB, UART, SPI, I2C та CAN, що дозволяє забезпечити зв'язок з різними зовнішніми пристроями та периферійними пристроями;
- розширені функції безпеки: PIC32MX795F512L має функції шифрування/розшифрування AES та вбудований хеш-прискорювач (SHA-256). Це дозволяє забезпечити безпеку даних та захист від несанкціонованого доступу;
- підтримка розробки: PIC32MX795F512L має широку підтримку середовища розробки, включаючи IDE (інтегроване середовище

розробки), засновані на C/C++ мовах програмування, а також доступ до різних бібліотек та документації, що спрощує процес розробки і програмування;

- надійність та стабільність: Microchip, виробник PIC32MX795F512L, відомий своєю якістю та надійністю своїх продуктів. Це дозволяє впевнено використовувати мікроконтролер у критичних застосунках, де надійність є важливим фактором.



Рисунок 2.4 - мікроконтролер

Таблиця 2.6 – Характеристика мікроконтролеру

№	Характеристика	Опис
1	Мікроконтролер	PIC32MX795F512L
2	Архітектура	MIPS32
3	Частота тактування	До 80 МГц
4	Ядер	1
5	Пам'ять	512 Кбайт флеш-пам'яті, 128 Кбайт оперативної пам'яті (RAM)
6	Введення-виведення (I/O)	53 GPIO (General Purpose Input/Output) піни
7	Аналогові входи	16 (10-бітних ADC каналів)
8	Шини	SPI, I2C, UART, CAN, USB
9	Таймери	5 16-бітних таймерів, 1 32-бітний таймер
10	Комунікаційні інтерфейси	Ethernet, USB, UART, SPI, I2C, CAN
11	Інтерфейси пам'яті	Parallel Master Port (PMP), SQI Flash/EEPROM, External Bus Interface (EBI)
12	Розмір пакета	100-піновий TQFP
13	Живлення	3.3 В
14	Особливості	DMA контролер, шифрування/розшифрування AES, вбудований хеш-прискорювач (SHA-256), контролер переривань

ESC - Чому ми обрали саме цю:

- висока якість: V-Good є відомим виробником RC-компонентів, відомим своєю високою якістю виробів. ESC V-Good A32 2-6s LIPO виготовляється з використанням високоякісних компонентів, що забезпечує надійну роботу та довговічність;
- широкий діапазон напруги: Цей ESC може працювати в діапазоні напруги від 2S до 6S LIPO акумуляторів. Це дозволяє йому працювати з різними типами акумуляторів і варіантами конфігурацій, що забезпечує більшу гнучкість при виборі акумулятора;
- висока потужність: ESC V-Good A32 2-6s LIPO може обробляти великі струми і має високу потужність. Це дозволяє йому ефективно керувати рухом моделі RC, забезпечуючи потужний і стабільний привід;
- підтримка багатьох функцій: ESC V-Good A32 2-6s LIPO має різні додаткові функції, такі як режим гальмування, режим підтримки плавного розгону і зміна режиму роботи між режимами безсенсорного та сенсорного контролю. Ці функції дозволяють користувачеві налаштувати ESC під свої потреби та отримувати більш точний та контрольований рух моделі.



Рисунок 2.5 - ESC V-Good A32 2-6s LIPO

Таблиця 2.7 - Характеристика ESC V-Good A32 2-6s LIPO

№	Характеристика	Опис
1	Модель	Vgood Airplane-32
2	Підтримувані LIPO батареї	2-6s
3	Максимальний струм	100 А

Продовження таблиці 2.7

№	Характеристика	Опис
4	ВЕС (Battery Eliminator Circuit)	5.5-8V/10A
5	Підтримувана протоколи керування	PWM
6	Робоча частота	8-24KHz
7	Кількість фаз	3
8	Захист	Перевантаження, низька напруга, висока температура, коротке замикання
9	Розміри	52 x 32 мм
10	Вага	88 г

На підставі наведеного вище для пристроїв керування, та їх технічних характеристик складена таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Пристрої керування

№	Назва модулю	Назва параметра	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	PIC32MX795F 512L	Отримання, обробка даних, формування керуючого сигналу	Мікроконтролер	5 В	10 Вт
2	V-Good A32 2-6s LIPO	Формування шим сигналу	ESC	5 - 8 В	1 Вт

2.2.4 Вибір пульта оператора



Рисунок 2.6 – пульти оператора

В якості пульта оператора використовується будь який портативний ПК на системі вільдос, на який встановлено необхідне програмне забезпечення, розроблене на мові C#, або планшет.

Таблиця 2.9 - Перелік пультів оператора та їх характеристик

№	Назва панелі оператора	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Портативний ПК на базі системи Windows	220 В	Залежить від моделі
2	Планшет	100-220 В	Зазвичай від 5 до 15 ватт

2.2.5 Вибір джерел живлення

Ми взяли 16 літій-полімерних акумуляторів, спаяли їх в один великий, щоб дрону вистачало заряду та час роботи. Зробили ми це, тому що звичайні акумулятори не підходять для проекту цього, бо дрон має середній розмір, а є акумулятори для маленьких дронів, а також треба враховувати вагу дрона, щоб він піднявся без проблем, тому вирішили взяти 16 маленьких акумуляторів та спаяти їх в один.



Рисунок 2.7 – вигляд одного акумулятора

Таблиця 2.10 – характеристика спаяного акумулятора

№	Характеристика	Опис
1	Ємність	24 Аг
2	Тип акумулятора	Літій-полімер
3	Вихідна напруга	3,7 В
4	Напруга	16.8 В
5	Максимальний струм	40 А
6	Зарядний струм	0,65 А
7	Час роботи	Приблизно 1:30 годин
8	Час зарядки	Приблизно 6 годин

2.2.5.1 Вибір джерел зв'язку

Радіоканал дозволяє оператору керувати дроном та отримувати зображення з камери на відстані до кількох кілометрів, а також може бути використаний для передачі даних з датчиків, що дозволяє отримувати інформацію про стан дрона та навколишнє середовище.

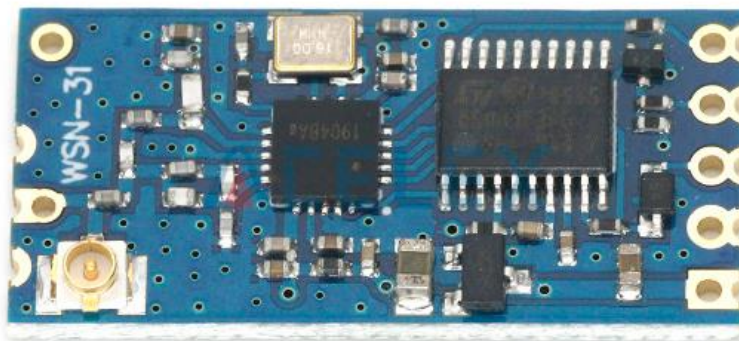


Рисунок 2.8 - радіоканал

Таблиця 2.11 – характеристика радіоканала

№	Характеристика	Опис
1	Модель	WSN-31
2	Дальність передачі	До 15 км в залежності від умов середовища
3	Частотний діапазон	862-1020 МГц
4	Пропускна здатність	Від 0,3 кбіт / с до 50 кбіт / с
5	Інтерфейс передачі	SPI, UART, I2C
6	Робоча напруга	Від 3.3 V до 5.5 V
7	Потужність передачі	Від 5 мВт до 1 Вт
8	Споживання енергії	Від 25 mA в режимі очікування до 30 mA
9	Робоча температура	Від -40°C до +85°C
10	Захист від перешкод	FEC, CRC, спектральне розширення
11	Захист від перепадів напруги	Вбудований регулятор напруги

2.2.5.2 Датчик току та напруги

Цей датчик було обрано задля таких цілей:

- вимірювання струму, що споживається дроном. Це дозволяє контролювати споживану енергію та оцінювати роботу акумулятора;
- вимірювання напруги в системі живлення дрона. Це дає можливість контролювати стан живлення, переконатися, що напруга належним чином підтримується та не перевищує допустимі межі;

- реалізація захисту від перевантаження. Якщо струм перевищує задане значення, система може взяти заходів для запобігання пошкодженням акумулятора або інших компонентів;
- здійснювати діагностику системи живлення дрона та контролювати його роботу. Це допомагає виявляти потенційні проблеми з живленням та покращувати ефективність роботи дрона.



Рисунок 2.9 - Датчик току та напруги

Таблиця 2.12 - характеристика датчика току та напруги

№	Характеристика	Опис
1	Модель	INA219
2	Інтерфейс зв'язку	I2C
3	Напруга живлення	3.3 В або 5 В постійного струму
4	Максимальний допустимий струм	Від 1 А до 5 А
5	Діапазон вимірювання напруги	0-26 В (програмовано)
6	Точність вимірювань	12-бітний ADC для току і напруги
7	Точність калібрування	±0.5%
8	Захисні функції	Захист від перенапруги, захист від короткого замикання

2.2.5.3 Датчик температури і вологості

Датчик АНТ10 може допомогти дрону виявляти та реагувати на зміни кліматичних умов, такі як зростання вологості або падіння температури. Це може бути корисним для запобігання ушкодженню обладнання дрона або

попередження про небезпечні погодні умови, такі як густий туман або сильний дощ.



Рисунок 2.10 - Високоточний датчик температури і вологості

Таблиця 2.13 – характеристика датчика температури і вологості

№	Характеристика	Опис
1	Модель	АНТ10
2	Діапазон робочої температури	-40°C до +85°C
3	Діапазон вимірювання вологості	0% - 100% RH
4	Точність вимірювання температури	±0.3°C (від -20°C до +60°C)
5	Точність вимірювання вологості	±2% RH
6	Інтерфейс зв'язку	I2C
7	Напруга живлення	2.3V - 5.5V
8	Споживана потужність	< 3 μW
9	Розміри	3mm x 3mm x 0.9mm

2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Виходячи з вищезазначеного технологічного процесу можна описати функціональну схему автоматизації:

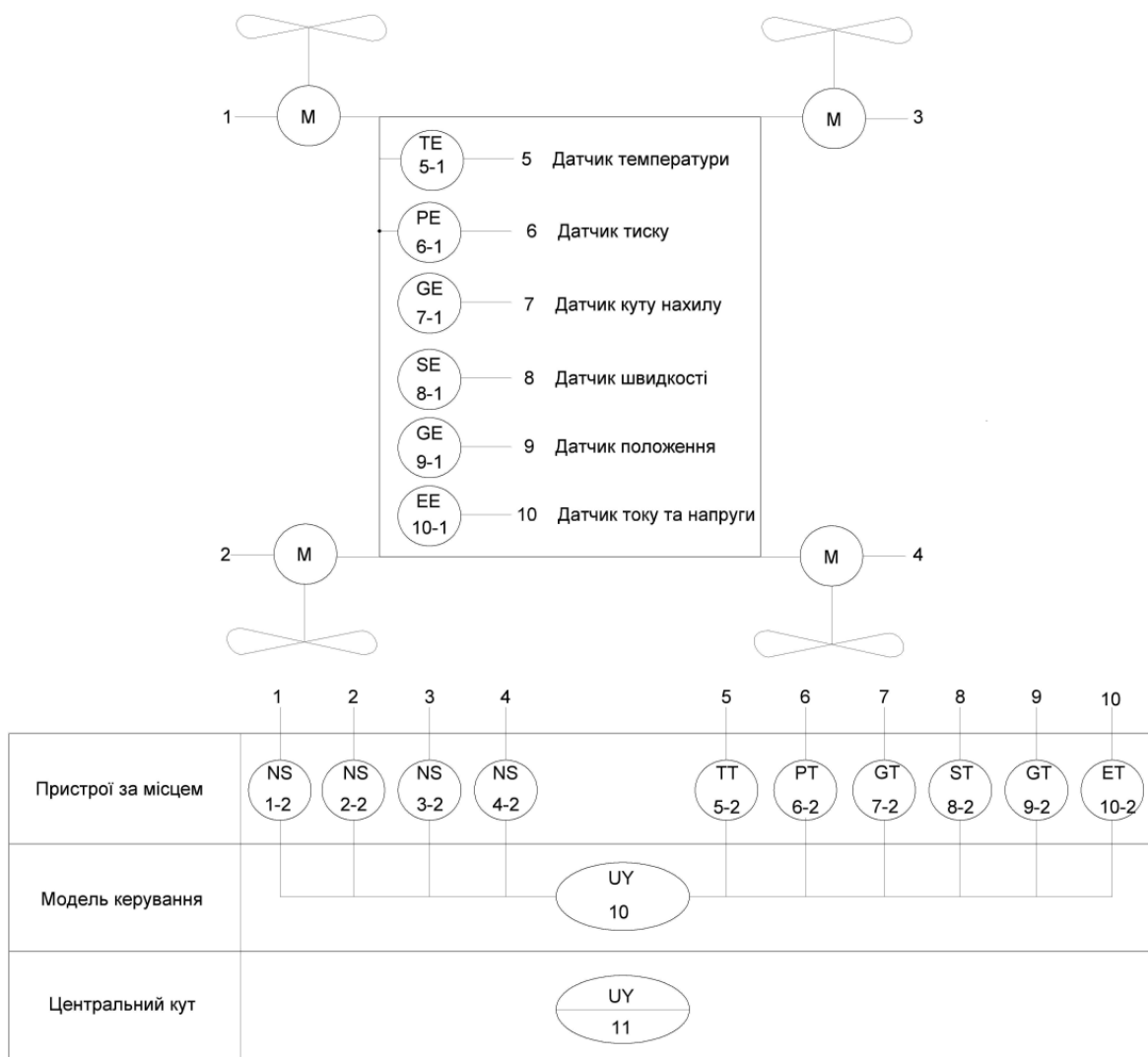


Рисунок 2.11 - Функціональна схема

У підсистемі використовується мікроконтролер PIC32MX795F512L як пристрій керування. Мікроконтролер безпосередньо підключається до виконавчої системи і отримує дані з датчиків за допомогою інтерфейсів UART та SPI. Оператор також може впливати на систему за допомогою пульта керування, який передає сигнали через бездротовий UART зв'язок.

Всередині мікроконтролера дані піддаються фільтрації та порівнюються з попередніми значеннями. З отриманими даними застосовується ПІД-регулятор для обробки і розрахунку ШІМ-сигналу, необхідного для досягнення потрібної частоти обертання двигунів.

2.4 Розробка електричної принципової схеми

На основі розробленої функціональної схеми автоматизації була розроблена принципова електрична схема об'єкту керування:

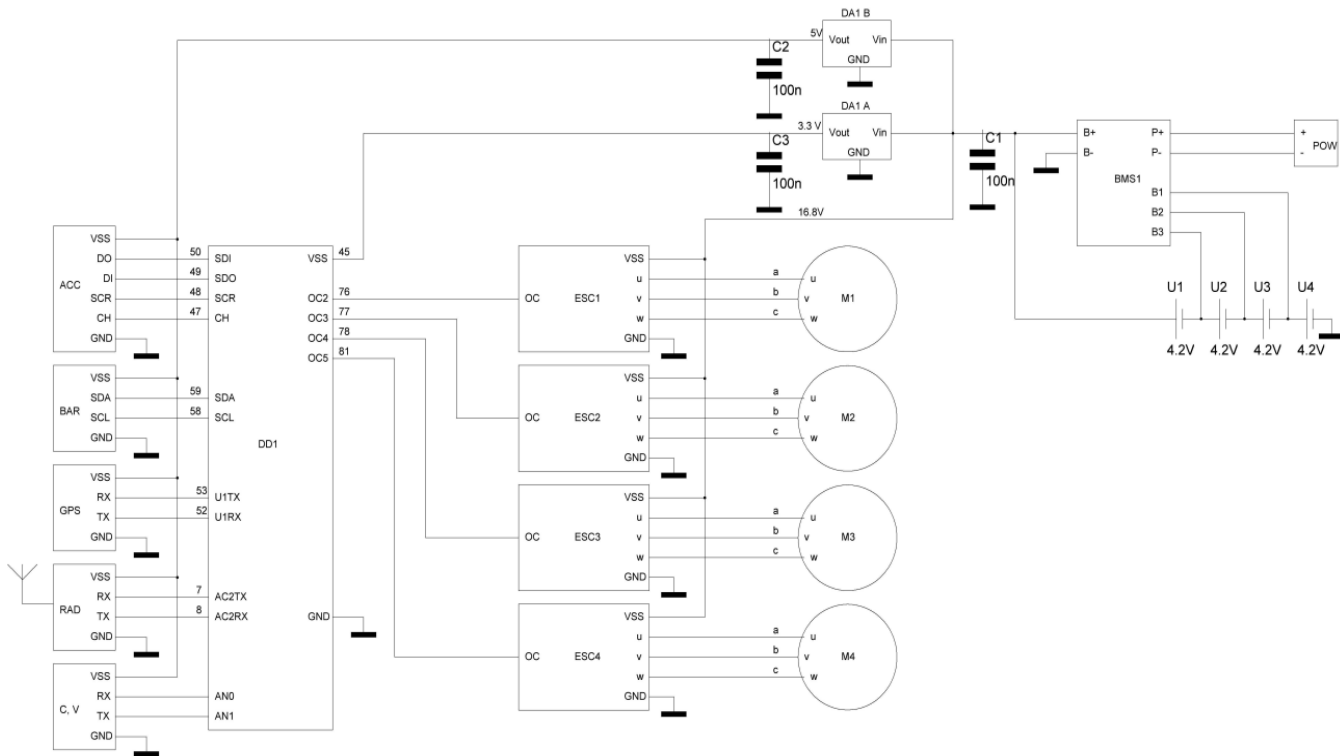


Рисунок 2.12 - Електрична принципова схема

2.5 Висновки за розділом

У даному розділі розглянули комплектуючі дрона та їх характеристики, їх переваги, розроблена функціональна схема, електрична принципова схема, а також зроблено перелік елементів, що входять до складу електричної принципової схеми.

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Розробка математичної моделі

Для розробки системи керування спочатку необхідно створити математичну модель, яка відображає взаємодію сил на об'єкт керування. Ця модель будується на основі технічних параметрів компонентів, які були обрані для системи.

3.2 Перерахунок кутів тангажу та крену при довільній орієнтації дрону

У випадку, якщо поздовжня вісь OX пов'язана з дроном системи координат не збігається з віссю OX_g земної системи координат, задані значення кутів тангажу $\vartheta_{\text{зад}}$ і крену $\gamma_{\text{зад}}$ перераховуються з урахуванням кута ристання Ψ :

$$\begin{cases} \vartheta_{\text{зад}} = \vartheta \cos \Psi + \gamma \sin \Psi \\ \gamma_{\text{зад}} = \gamma \cos \Psi - \vartheta \sin \Psi \end{cases} \quad (3.1)$$

де, ϑ , γ – кути тангажу та крену відповідно.

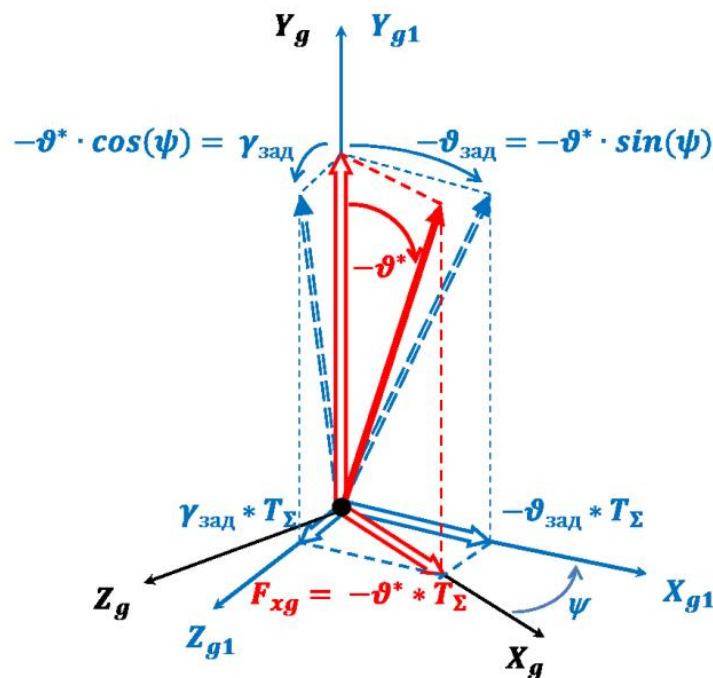


Рисунок 3.1 - Вплив кута ристання на кути крену та тангажу

3.3 Опис системи рівнянь моментів швидкості

Тут x, y, z - координати центру мас; V_x, V_y, V_z - проекції вектора лінійної швидкості; ϑ - кут тангажу; градуси/радіани γ - кут крену; ψ - кут рискання; ω_θ - кутова швидкість тангажу; ω_ψ - кутова швидкість рискання; m - маса апарату; I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} - моменти інерції навколо осі x, y та z відповідно; U_1, U_2, U_3, U_4 - керуючі сигнали дрона; Ω - загальна швидкість чотирьох гвинтів; J_{TP} - загальний момент інерції навколо осі гвинта.

Представимо рівняння зв'язку керуючих сигналів дрона U_1, U_2, U_3, U_4 зі швидкостями обертання гвинтів:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_1 = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2); \\ U_2 = lb(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2); \\ U_3 = lb(-\Omega_1^2 + \Omega_3^2); \\ U_4 = d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2); \\ \Omega = \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4, \end{array} \right. \quad (3.2)$$

де l - відстань між центром дрона і центром пропелера, b і d - аеродинамічні складові тяги та коефіцієнта опору відповідно. Потрібно стабілізувати дрон, тобто вибрати параметри K_p, K_i, K_d для стабілізації заданих значень кутів $\varphi_0, \theta_0, \psi_0$.

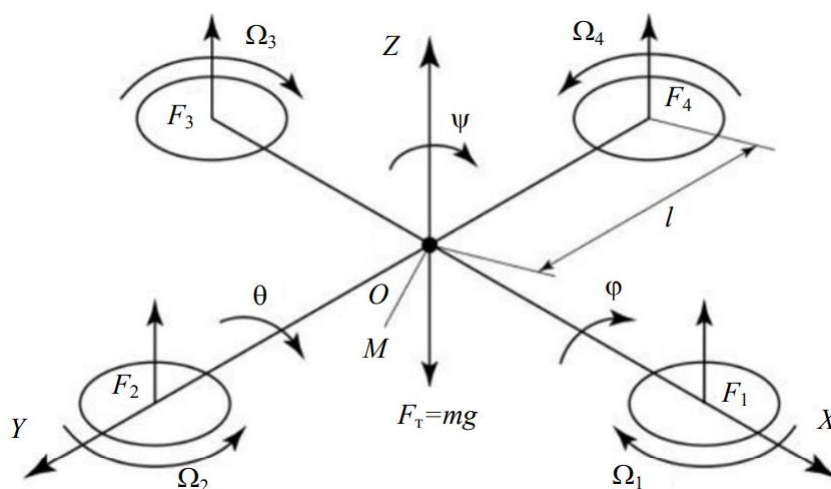


Рисунок 3.2 - Система векторів сил та обертів

пов'язується з конкретним твердим тілом і обертається разом з ним для відображення його позиції та орієнтації у просторі.

Геометричне визначення кутів Ейлера базується на двох системах відліку (початковій і повернутій) та додатковій осі, відомій як "лінія вузлів" (N). Лінія вузлів перетинає площину xOy і XOY координатних систем і є перпендикулярною до площини zOz , на якій знаходяться осі z і Z відповідно.

Замість позначень α , β , γ вживаються також ψ , θ , φ .

Три кути Ейлера визначаються наступним чином:

- **Кут прецесії φ (або α)** це кут між віссю x і віссю N ;
- **Кут нутації ϑ (або β)** це кут між віссю z і віссю Z ;
- **Кут власного обертання Ψ (або γ)** це кут між віссю N і віссю X .

В цьому визначенні мається на увазі, що:

- φ задає кут обертання довкола осі z ;
- ϑ задає кут обертання довкола осі N ;
- Ψ задає кут обертання довкола осі Z .

Якщо β є нульовим, тоді обертання довкола осі N не відбувалося. Як наслідок, Z збігається із z , α і γ задають поворот довкола однієї і тієї ж осі (z), і кінцеве положення можна отримати лише за допомогою повороту довкола осі z , на значення кута, яке дорівнює $\alpha + \gamma$.

Кут прецесії і кут власного обертання змінюється в межах від нуля до 2π . Кут нутації — від нуля до π .

3.4 Моделювання динаміки дрону

Математична модель дрону необхідно зробити розрахунок регуляторів, і навіть їх тестування в імітаційних польотах, наприклад посадка. Припущення, що використовуються:

- Дрон має тверду структуру;
- Дрон симетричний;
- Осьове навантаження моторів спрямоване вертикально;

- Маса стала.

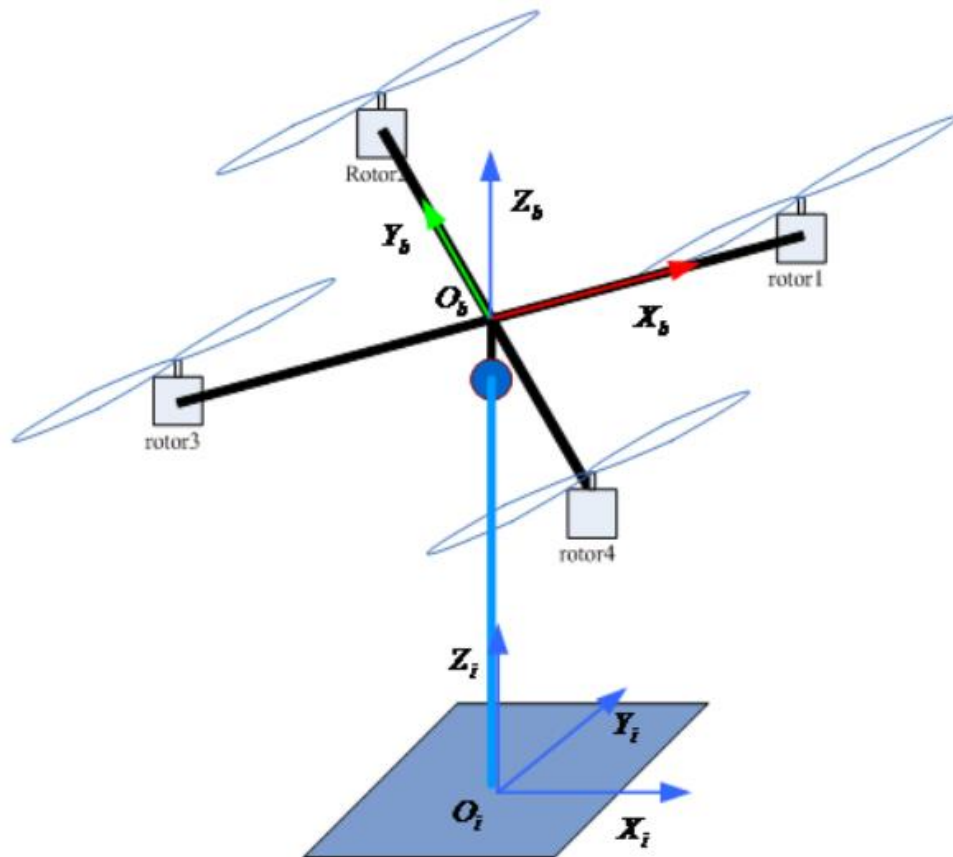


Рисунок 3.4 - Система координат

3.4.2 Математична модель

У нашому випадку, для вертикальної автоматизації посадки дрону без нахилу, припустимо, що кути рискання, крену і тангажу дорівнюють нулю.

Розглянемо три можливих стани положення дрону по вертикалі:

- Підйом;
- Зависання;
- Посадка.

Для підйому:

$$F_c > F_g \quad (3.3)$$

Для зависання:

$$F_c = F_g \quad (3.4)$$

Для посадки:

$$F_c < F_g \quad (3.5)$$

Для розрахунку сили гравітації, що впливає на дрон, використовується така формула:

$$F_g = m * g \quad (3.6)$$

Загальна сила створювана пропелерами дрону:

$$F_c = b * (4 * \Omega^2) \quad (3.7)$$

$$b = C_T * \rho * (\pi R^2) * R^2, \quad (3.8)$$

Де, F_c загальна тяга дрону;

b – експериментальна величина, яка залежить від параметрів пропелерів;

R^2 – радіус пропелерів.

Щоб забезпечити спуск дрону та зависання його за заданій висоті, нам необхідно, щоб фінальна швидкість дрону дорівнювала швидкості ховерінгу, тобто 0.

$$\int_{t_1}^{t_2} a_{\text{зниж}} dt = \int_{t_3}^{t_4} a_{\text{гальм}} dt, \quad (3.9)$$

де $t_{1,2,3,4}$ – межі часу зниження та гальмування;

$a_{\text{зниж}}$ – прискорення зниження;

$a_{\text{гальм}}$ – прискорення гальмування.

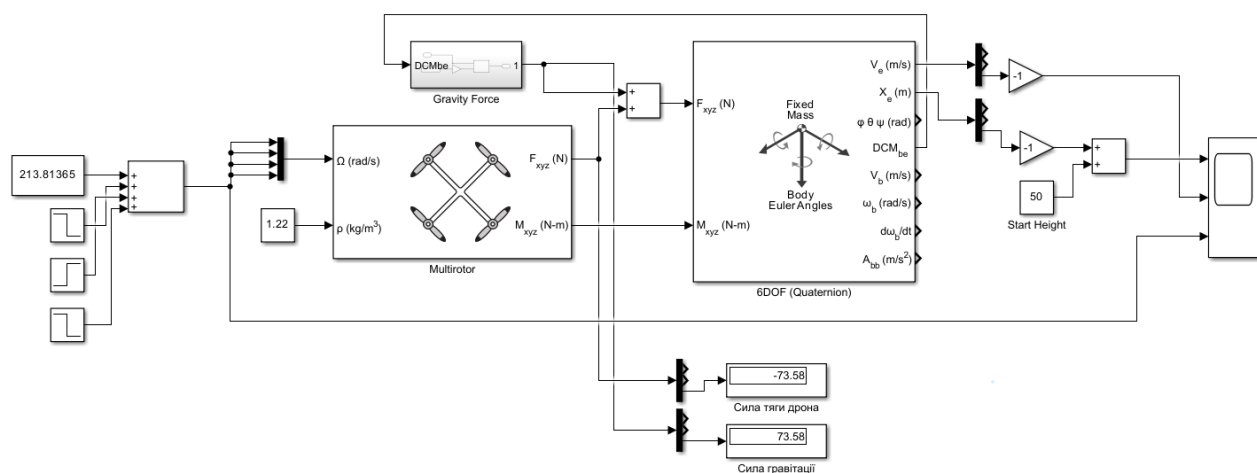


Рисунок 3.5 - Математична модель реалізована в Simulink

У вихідних даних ми спостерігаємо оберти двигунів з лівої сторони, причому оберти двигунів однакові і мають значення 213.81365 рад/сек. Крім того, ми маємо контроль обертів двигуна та величину щільності вітру, які надходять до блоку Multicopter як вхідні сигнали. Після цього, у нас є три елементні вектори сил і моментів, які виходять з блоку 6DOF (Quaternion). Важливо відзначити, що ці вектори сил також включають силу гравітації. Матриця перетворення координат (DCMbe) зв'язана з силою гравітації і додається до трьох елементних векторів сил. Крім того, у вихідних даних ми маємо вектор швидкості (V_e) та положення по осям (X_e), а також враховується початкова висота польоту.

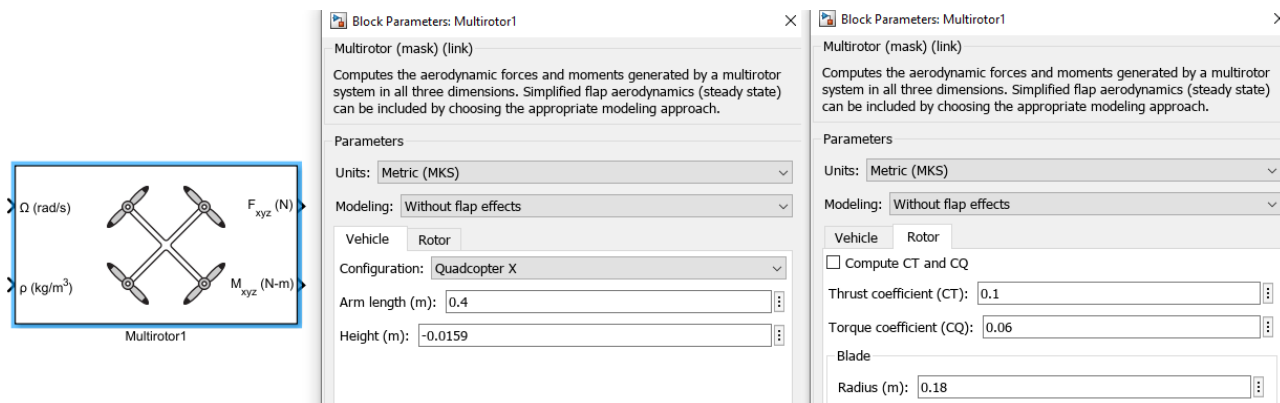


Рисунок 3.6 - Параметри блоку Multirotor

Блок Multirotor виконує обчислення аеродинамічних сил і моментів, що створюються декількома обертовими гвинтами або гвинтами в усіх трьох вимірах. Також можна враховувати спрощену аеродинаміку закрилків або стійкого стану.

У моделюванні використовується Without flap effects, що означає моделювання тяги ротора на основі розрахунків сил і моменту.

Довжина руки (Arm length (m)) - це відстань від центру маси дрона до ротора і визначається як ненульовий додатний параметр. У нашому випадку, ця довжина становить 0.4 метри.

Висота (Height (m)) - це вертикальне зміщення від центру маси дрона і також визначається як ненульовий параметр.

CT і CQ - це коефіцієнти тяги та крутного моменту відповідно.

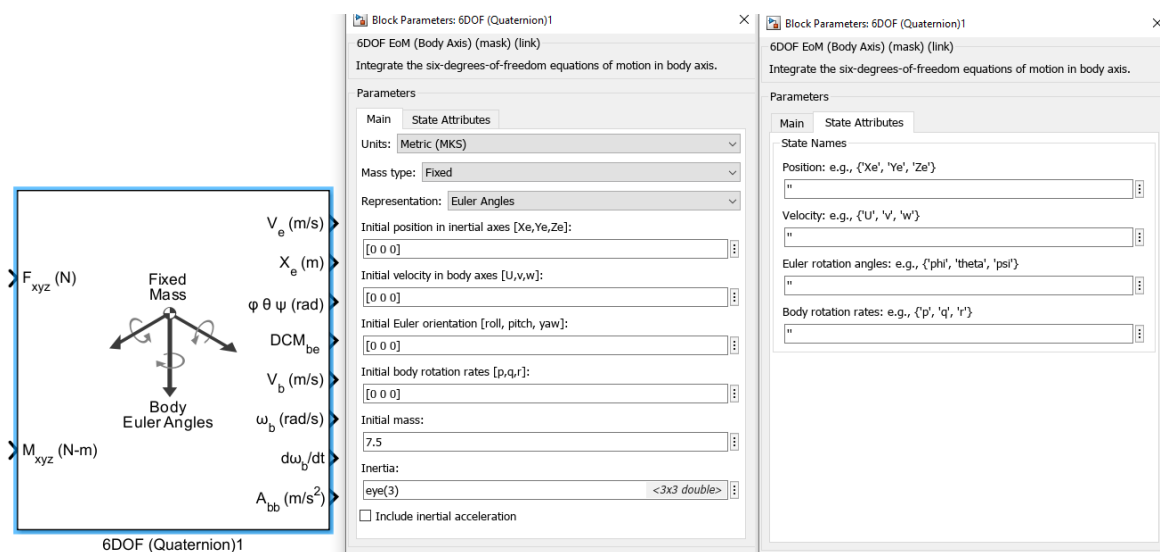


Рисунок 3.7 - Параметри блоку 6DOF (Quaternion)

Блок 6DOF (Quaternion) використовує кватерніонне представлення рівнянь руху з шістьма ступенями свободи відносно осей тіла. Цей блок реалізує обчислення руху за допомогою кватерніонів з урахуванням шести ступенів свободи.

Тип маси є фіксованим, оскільки маса залишається постійною протягом усього моделювання.

Відображення або Представлення (Representation) - Рівняння представлення руху, в нашому випадку, це кути Ейлера.

Початкова маса твердого тіла задана 7.5 кг.

Атрибути Стану (State Attributes) не використовуються у нашому дослідженні.

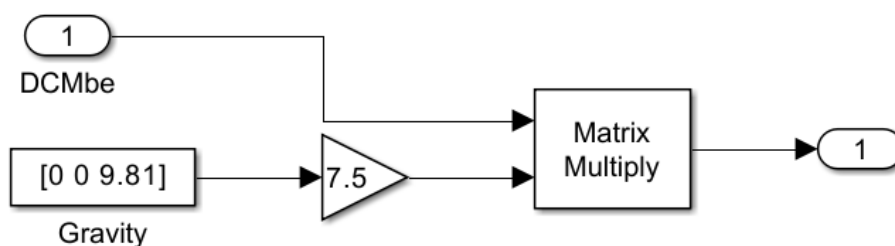


Рисунок 3.8 - Підсистема сила гравітації (Gravity Force)

Тут ми перетворюємо вектор гравітації щодо нашого дрона.

Загальні вхідні конструктивні параметри із (рис.3.5) описані в таблиці (3.1):

Таблиця 3.1 - Вхідні конструктивні параметри

№	Назва	Позначення	Числове значення
1	Оберти двигунів, рад/сек	Ω	213.81365
2	Щільність вітру, кг/м ³	ρ	1.22
3	Прискорення вільного падіння, м/сек	g	9.81
4	Відстань між будь-яким ротором і центром дрону, м	L	0.4
5	Матриця перетворення координат	DCM_{be}	[3 x 3]
6	Коефіцієнт тяги	CT	0.1
7	Коефіцієнт крутного моменту	CQ	0.06
8	Маса дрону, кг	m	7.5

Згідно зі схемою на (рис.3.5), ми можемо визначити графіки у часі положення, швидкості та оберти двигунів.

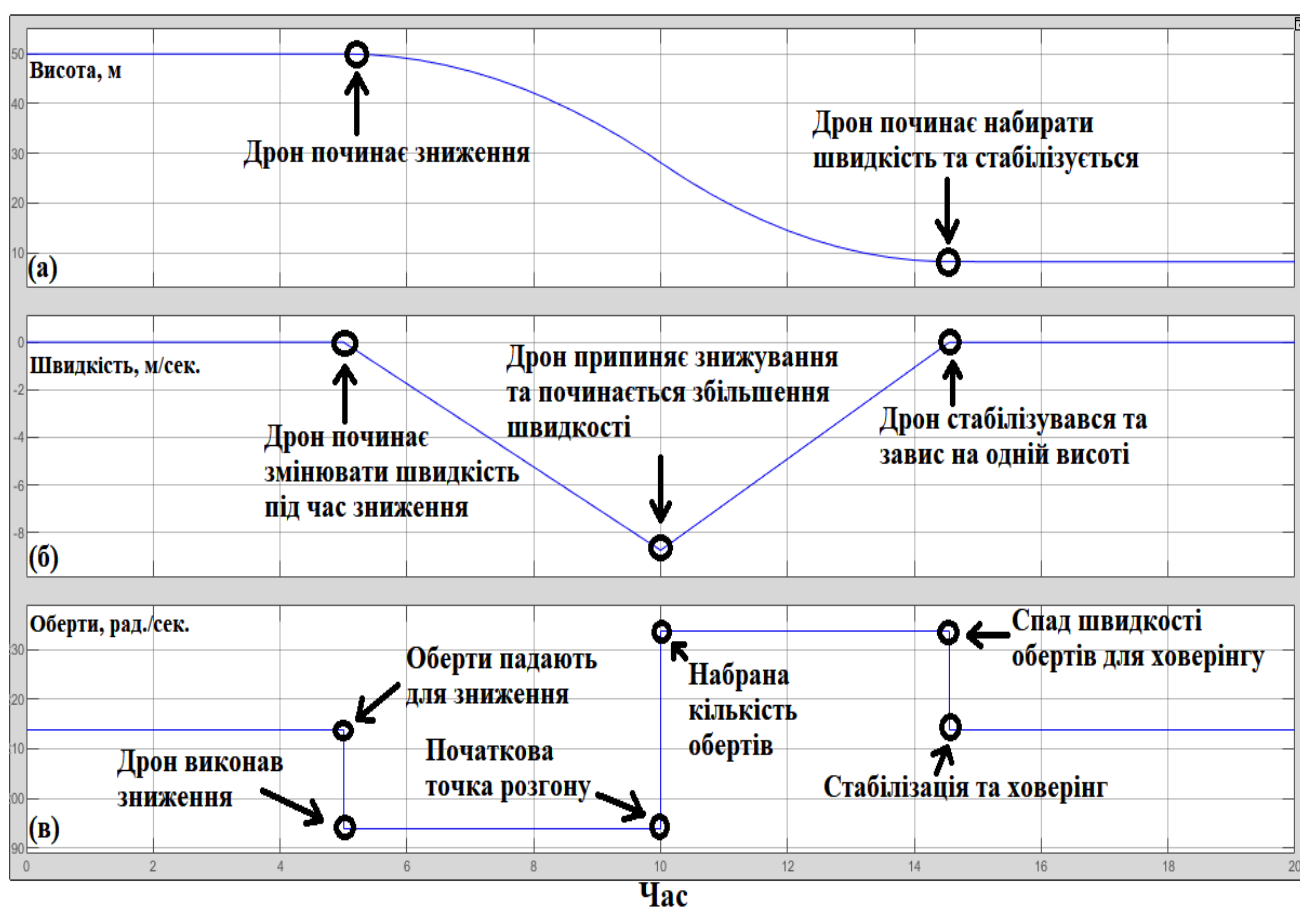


Рисунок 3.9 - Графіки зміни у часі положення (а) та швидкості дрону, (б) та обертів пропелерів (в)

Дивлячись на графіки (рис. 3.9), можна помітити, що на деяких моментах оберти двигунів зменшуються, коли сила тяжіння перевищує силу тяги дрона. Це призводить до прискореного спуску вздовж осі Z. З метою уникнення аварійного зіткнення, ми стараємося забезпечити контрольований і плавний процес посадки. Тому на 5-й, 10-й і 15-й секундах ми регулюємо швидкість обертання двигунів, зменшуючи вертикальну швидкість і забезпечуючи плавну посадку дрона. Коли дрон досягає заданої висоти, його вертикальна швидкість знижується до нуля.

На графіку положення (рис.3.9 а) відображено зміну положення дрона з 50 метрів до 8 метрів, що означає зміщення на відстань 42 метри за 8 секунд.

Графік швидкості (рис.3.9, б) показує лінійну зміну у часі швидкості, оскільки швидкість обертання починається з 55% від максимального значення та знижується до 51% під час спуску. Це пояснює лінійне змінювання швидкості. Сила гравітації компенсується на 55% від максимальної швидкості обертання.

Графік обертання двигунів (рис.3.9 в) показує, що з 5-ї секунди дрон знижує оберти двигунів з 213.81365 рад/с до 193.8 рад/с, що відповідає 55% та 51% від максимальних обертів відповідно. З 5-ї до 10-ї секунди дрон стабілізується з обертами 233.8 рад/с та набирає висоту з 62% потужності від максимального значення.

Розглянемо варіант графіка, (див. рис 3.10,) що буде, якщо прибрати гальмівний шлях:

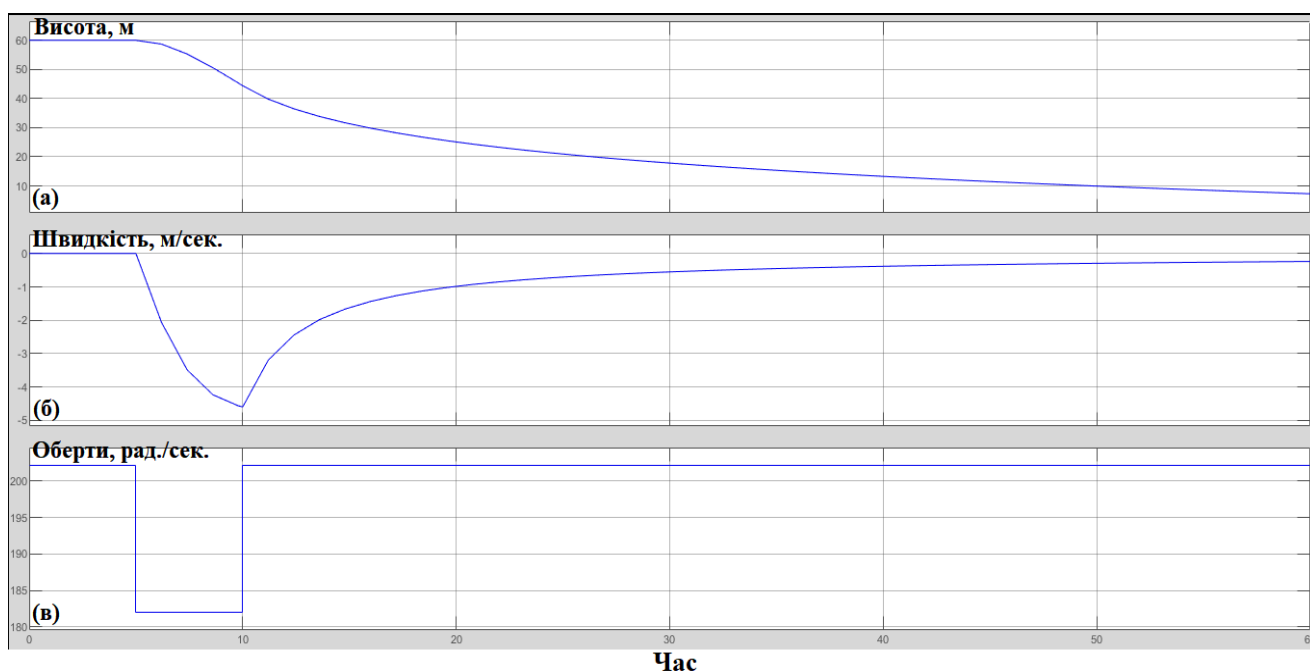


Рисунок 3.10 - Графіки зміни у часі положення (а) та швидкості (б) дрону, та обертів пропелерів (в) без гальмівного шляху

З результатів спостережень, на (рис. 3.10), можна зробити наступні висновки: протягом періоду від 5-ї до 10-ї секунди оберти дрона були знижені до 182 рад/с, а потім повернулися до початкових значень. Це свідчить про зміну режиму руху дрона зі стабільного до зниження. З 10-ї секунди спостерігається сповільнення руху дрона через опір повітря. Однак, це сповільнення виявилось

менш ефективним, ніж гальмування за допомогою двигунів, що було показано на графіку (рис 3.9).

Згідно графікі на (рис. 3.9) і (рис. 3.10) можна зробити такі спостереження: на (рис.3.10) дрону потрібно більше часу для стабілізації свого положення порівняно з (рис. 3.9). Крім того, на (рис.3.10 б) можна помітити, що швидкість руху дрона не збільшується лінійно, оскільки вже відбувається вплив опору повітря. У той же час, на (рис. 3.9 б) швидкість руху дрона збільшується лінійно, оскільки вплив опору повітря на дрон є незначним, і швидкість збільшується рівномірно. Також на (рис. 3.10) можна побачити, що ми збільшили час, тому що 25 секунд не вистачає для стабілізації.

Давайте детальніше розглянемо сценарій вільного падіння, який переходить до режиму ховеріння:

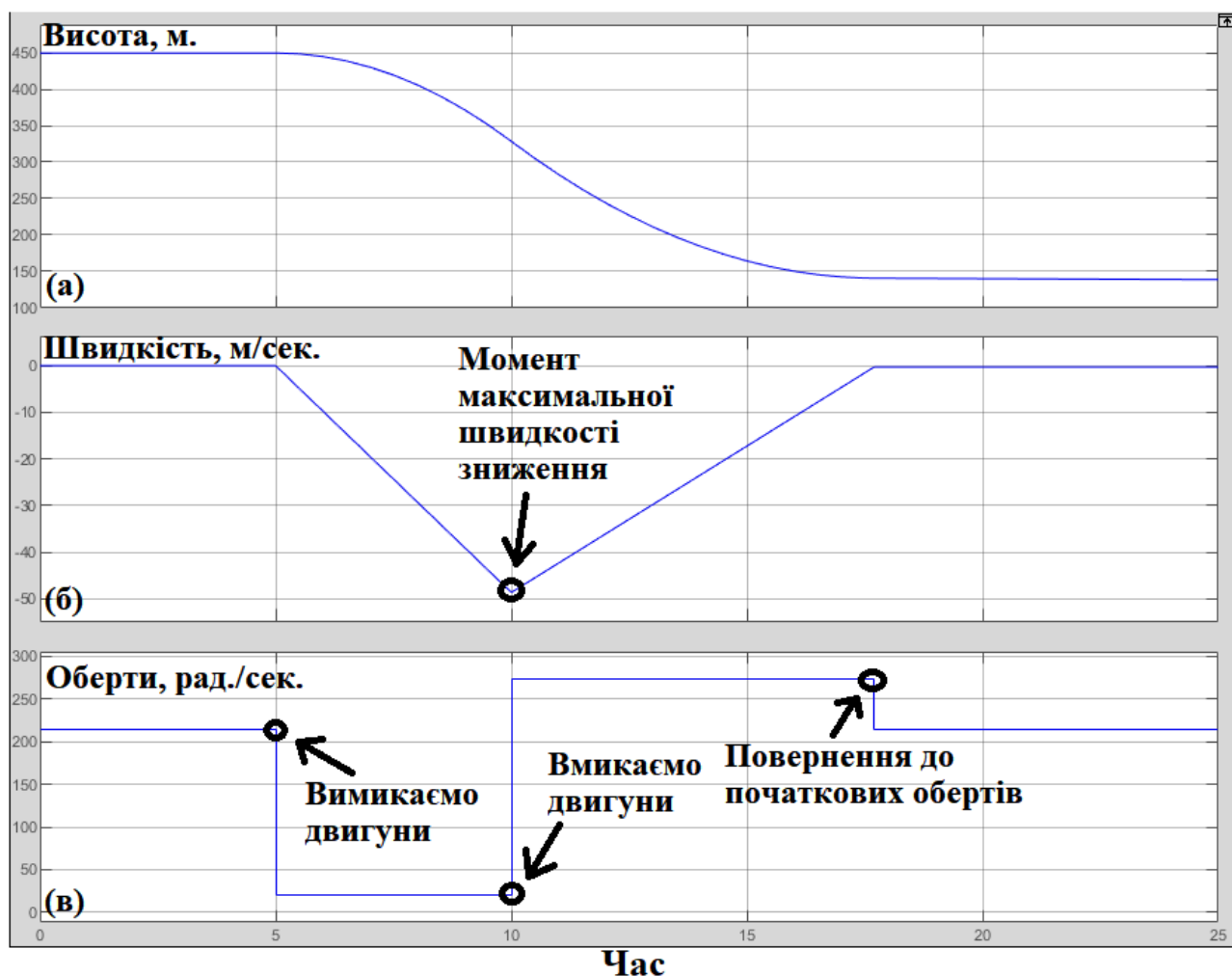


Рисунок 3.11 - Графіки вільного падіння ближче до ховерінгу

На (рис. 3.11), спостерігається зміна обертів дрона наближено до нуля, а саме до 20 рад/сек. З 5-ї секунди по 10-у секунду дрон починає виконувати вільне падіння. З 10-ї секунди до 17.7 секунди оберти пропелерів збільшуються з метою погашення накопиченої кінетичної енергії під час вільного падіння. Після цього, з 17.7 секунди, дрон починає перебувати в стабільному положенні на висоті 141 метра. Загалом, протягом 20 секунд дрон пройшов 309 метрів у вільному падінні, після чого здійснив стабілізацію та перейшов у режим ховерінгом.

3.5 Висновок до розділу

У цьому розділі ми використовували математичні формули та розробили математичну схему в середовищі Matlab. На рисунку 3.9 провели експерименти та змоделювали спуск дрона протягом 10 секунд, дослідивши залежність його швидкості протягом цього часу, що виявилася лінійною. Цей аспект був детально описаний у розділі 3.4.2. Також провели моделювання без гальмівного шляху, зазначене на рисунку 3.10, в результаті чого було помічено, що дрон довго стабілізується, оскільки потребує часу на гасіння набраної кінетичної енергії. Хоча цей процес займає час, дрон все ж стабілізується і залишається на постійній висоті.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

Впровадження автоматизованої системи посадки дронів сприяє зниженню вимог до навичок оператора та ризику аварійних ситуацій порівняно з дронами, які не мають таких систем.

У кваліфікаційній роботі розглядається автоматизована система посадки дронів, що має наступну перевагу: вона забезпечує безпечну посадку та стабільне утримання у повітрі, а також дозволяє виконувати складніші завдання.

4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Проведемо розрахунок витрат, пов'язаних з розробкою та впровадженням автоматизованої системи управління. Визначення проектних капітальних витрат буде здійснюватися згідно з:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (4.1)$$

де $K_{\text{ПКВ}}$ – проектні капітальні витрати (грн.);

$C_{\text{ОБ}}$ – вартість основного та допоміжного обладнання (грн.);

$D_{\text{ТР}}$ – транспортно-заготівельні витрати (грн.);

$M_{\text{МН}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи (грн.);

$K_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку програмного забезпечення (грн.).

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в таблиці (4.1).

Таблиця 4.1. Вартість основного та допоміжного обладнання

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	BLDC двигун з вантажопідйомністю 4 кг	од.	4	1 113,95	4 455,80
2	Планшетний ПК на базі Windows	од.	1	2 000,00	2 000,00
3	ESC V-Good A32 2-6s LIPO	од.	4	1336,74	5 346,96
4	Рама алюмінієва	од.	1	1 000,00	1 000,00
5	Акумулятор 24 ah	од.	1	2 400,00	2 400,00
6	Плата з контролером PIC32MX795F512L	од.	1	8 000,00	8 000,00
7	Лопаті композитні	од.	4	1 000,00	4 000,00
8	HC-12 SI4463 433 MHz бездротовий UART подовжувач 433 МГц HC-12	од.	1	250,00	250,00
9	Радіомодуль WSN-31	од.	1	533.52	533.52
10	Датчик току та напруги INA219	од.	1	280,00	280,00
11	Датчик температури і вологості АНТ10	од.	1	113,00	113,00
12	FPV система	од.	1	2 000,00	2 000,00
	Разом				30 099,28

Вартість основного та допоміжного обладнання:

$$C_{\text{ОБ}} = 30\,099,28(\text{грн.})$$

Витрати, пов'язані з транспортно-заготівельними та складськими роботами, розраховуються як 8% від загальної вартості обладнання:

$$D_{\text{ТР}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,08 \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 30\,099,28 \cdot 0,08 = 2407,94 \text{ (грн.)}$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07 \quad (4.3)$$

Розрахуємо витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 30\,099,28 \cdot 0,07 = 2\,106,95 \text{ (грн.)}$$

Таким чином витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають 2106,95 грн.

4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується як:

$$t = t_0 + t_u + t_a + t_n + t_H + t_g, \quad (4.4)$$

де t – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.);

t_0 – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.);

t_u – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.);

t_a – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.);

t_n – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.);

t_H – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.);

t_g – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де Q – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;

q – кількість операторів у програмному забезпеченні;

c – коефіцієнт складності програми ($c = 1,4$);

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки ($p = 0,1$).

Таким чином для програмного забезпечення, що розробляється, кількість операторів складає:

$$Q = 30 \cdot 1,4 \cdot (1 + 0,1) = 50$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_0 = 60$ (люд. — год.)

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \quad (4.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці ($B = 1,5$);

k – коефіцієнт кваліфікації програміста ($k = 1,2$).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = \frac{50 \cdot 1,5}{96} = 0,8 \text{ (год.)}$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \quad (4.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = \frac{50}{24} = 2,1 \text{ (год.)}$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20\dots25) \cdot k} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = \frac{50}{24} = 2,1 \text{ (год.)}$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_H = \frac{Q}{(4\dots5) \cdot k} \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_H = \frac{50}{4,8} = 10,4 \text{ (год.)}$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \quad (4.10)$$

де $t_{др}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{до}$ – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{др} = \frac{q}{(15...20) \cdot k} \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{др} = \frac{50}{24} = 2,1 \text{ (год.)}$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{до} = 0.75 \cdot t_{др} \quad (4.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{до} = 0.75 \cdot 2,1 = 1,6 \text{ (год.)}$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 2,1 + 1,6 = 3,7 \text{ (год.)}$$

Розрахуємо трудомісткість розробки програмного забезпечення:

$$t = 60 + 0,8 + 2,1 + 2,1 + 10,4 + 3,7 = 79,1 \text{ (год.)}$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить 79.1 годин.

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку програмного забезпечення (ПЗ) визначається як:

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МІ}}, \quad (4.13)$$

де $Z_{\text{ЗП}}$ – витрати на заробітну плату розробника ПЗ (грн.);

$Z_{\text{МІ}}$ – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ (грн.).

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{\text{ЗП}} = t \cdot C_{\text{ПР}} \quad (4.14)$$

де t – час розробки ПЗ, год;

$C_{\text{ПР}}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення

$$C_{\text{ПР}} = 100 \text{ (грн./год.)}$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 79,1 \cdot 100 = 7910 \text{ (грн.)}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{\text{МІ}} = t_n \cdot C_{\text{МЧ}}, \quad (4.15)$$

де t_n – час налаштування ПЗ, год;

$C_{\text{МЧ}}$ – вартість машинного часу ($C_{\text{МЧ}} = 14 \text{ грн./год.}$)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{МІ}} = 2,1 \cdot 14 = 29,40 \text{ (грн.)}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 7910 + 29,4 = 7939,40 \text{ (грн.)}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де T – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.);

B_k – кількість розробників ($B_k = 1$);

F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 176$ (год./міс.)).

$$T = \frac{79,1}{176} = 0,45 \text{ (міс.)}$$

Розрахуємо проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 30\,099,28 + 2407,94 + 2\,106,95 + 7939,40 = 42\,553,57 \text{ (грн.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати становлять 42 553,57 грн.

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_C + C_{PO} + C_{ee} + C_{\text{інш}}, \quad (4.17)$$

де C_e – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування (грн.);

C_a – амортизація основних фондів (грн.);

C_3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.);

C_C – відрахування на соціальні заходи (грн.);

C_{PO} – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (грн.);

C_{ee} – вартість електроенергії (грн.);

$C_{інш}$ – інші витрати (грн.).

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від класифікації, яка відносить певний об'єкт основних засобів до певної групи, встановлюються мінімально-допустимі терміни амортизації.

Обладнання, яке було розроблене у кваліфікаційній роботі системи керування, відноситься до 4-ої групи (машини та обладнання). Очікуваний термін експлуатації системи становить 3 роки.

При використанні методу нормального зменшення залишкової вартості, норма амортизації визначається як::

$$H_a = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (4.18)$$

де H_a – норма амортизації (%);

T – термін корисного використання об'єкта (років).

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100\%}, \quad (4.19)$$

де C_a – річна амортизація основних фондів (грн.);

ПВ – первинна вартість (ПВ = $K_{ПКВ}$) (грн).

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

Розрахуємо суму амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = \frac{42\,553,57 \cdot 33\%}{100\%} = 14\,042,68 \text{ (грн.)}$$

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить 14 042,68 грн.

4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{НР} = (T_K - T_{ВС} - T_B) \cdot T_3, \quad (4.20)$$

де $T_{НР}$ – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника (год.);

T_K – календарний фонд робочого часу ($T_K = 365$ (днів));

$T_{ВС}$ – вихідні дні та свята ($T_{ВС} = 114$ (днів));

T_B – відпустка ($T_B = 21$ (день));

T_3 – тривалість зміни ($T_3 = 8$ (год)).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1840 \text{ год}$$

У процесі керування задіяний 1 оператор дрону та 1 інженер.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці (4.2).

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№	Найменування професії	Число працюючих (чол.)	Годинна ставка (грн./год.)	Річний фонд робочого часу	Пряма заробітна плата (грн.)	Нарахування до заробітної плати 22% (грн.)	Всього заробітна плата (грн.)
1	Оператор	1	70,00	1840 год	128 800,00	28 336,00	157 136,00
2	Інженер	1	95,00		174 800,00	38 456,00	213 256,00
	Всього						370 392,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування становить

$$C_3 = 370\,392,00 \text{ (грн.)}$$

4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_C = C_3 \cdot 22\% \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_C = 370\,392,00 \cdot 22\% = 81\,486,24 \text{ (грн.)}$$

Таким чином соціальні заходи становлять 81 486,24 грн.

4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = K_{ПКВ} \cdot 5\% \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 42\,553,57 \cdot 5\% = 2\,127,68 \text{ (грн.)}$$

Таким чином витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі становлять 2 127,68 грн.

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{RD} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4.23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування ($K_e = 0,58$ (кВт · год.));

T_3 – кількість часу роботи за сутки ($T_3 = 8$ (год.));

K_{RD} – кількість робочих днів у році ($K_{RD} = 365$ (день));

T_e – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1,68 грн. кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 2,71$ (грн.)).

Розрахуємо вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,58 \cdot 365 \cdot 8 \cdot 2,71 = 4\,589,65 \text{ (грн.)}$$

Таким чином вартість електроенергії становить 4 589,65 грн.

4.4.6 Інші витрати

До інших витрат, пов'язаних з експлуатацією проектувального об'єкта, входять витрати на охорону праці, спецодяг та інші витрати згідно з практикою.

Розмір цих витрат визначається як 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot C_3 \quad (4.24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot 370\,392,00 = 14\,815,68$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (4.17):

$$C_e = 14\,042,68 + 370\,392,00 + 81\,486,24 + 2\,127,68 + 4\,589,65 + 14\,815,68 = 487\,453,93 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№	Назва показника	Сума, грн.
1	Амортизація	14 042,68
2	Фонд заробітної плати	370 392,00
3	Відрахування на соціальні виплати	81 486,24
4	Ремонт та технічне обслуговування	2127,68
5	Електроенергія	4 589,65
6	Інше	14 815,68
	Загалом	487 453,93

Експлуатаційні витрати за рік становить 487 453,93 грн.

4.5 Висновки за розділом

Для реалізації проекрованої системи передбачаються капітальні витрати в розмірі 42 553,57 грн. Розробка програмного забезпечення займе 0,45 місяця.

Річні витрати на експлуатацію оцінюються на рівні 487 453,93 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Ергономіка

Ергономіка - це наука, що досліджує взаємодію між людиною та її робочим середовищем з метою оптимізації процесів та покращення комфорту, безпеки та ефективності праці. В контексті автоматизації процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата, ергономіка зосереджується на вивченні взаємодії між оператором та автоматизованими системами, а також на проектуванні інтерфейсів та робочих умов, що забезпечують оптимальні умови для праці та досягнення максимальної ефективності.

Значення ергономіки для забезпечення безпеки та ефективності роботи при автоматизації процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата:

- 1) оптимізація взаємодії оператора та системи: Ергономічний підхід дозволяє створити інтерфейси та контрольні елементи, що забезпечують зручну та ефективну роботу оператора з автоматизованою системою керування. Це сприяє покращенню якості взаємодії, зменшенню помилок та підвищенню надійності процесу посадки.
- 2) забезпечення безпеки оператора: Ергономічне проектування робочого місця та використання адекватних ергономічних принципів дозволяє знизити ризик виникнення травм та стресу у оператора під час виконання процесу посадки безпілотного літаючого апарата. Розташування екранів, ручок керування та інших елементів узгоджується з фізіологічними можливостями оператора, що допомагає уникати неправильних рухів та навантаження.
- 3) підвищення продуктивності та ефективності роботи: Ергономічні рішення спрямовані на створення комфортних умов для оператора, що дозволяє зосередитися на виконанні завдань та збільшує його

працездатність. Відповідне розташування елементів керування, зручність доступу до необхідної інформації та мінімізація зайвих рухів допомагають зменшити час виконання завдань та підвищити загальну продуктивність роботи.

- 4) покращення якості прийняття рішень: Ергономічні принципи та інструменти допомагають операторам приймати обґрунтовані рішення на основі доступної інформації та вимог безпеки. Це забезпечує високу точність та надійність при виконанні завдань з посадки безпілотного літаючого апарата.

Загальним результатом впровадження ергономічних принципів є покращення безпеки та ефективності роботи операторів, зменшення ризику виникнення помилок та покращення загальної якості процесу посадки безпілотного літаючого апарата.

5.2 Застосування методу оцінки REBA Score для аналізу ергономіки

Опис методу оцінки REBA Score та його призначення для оцінки фізичного навантаження та ризиків в роботі при автоматизації процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата:

Метод оцінки REBA Score (Rapid Entire Body Assessment Score) є одним з широко використовуваних інструментів для оцінки фізичного навантаження та ризиків, пов'язаних з виконанням роботи. В контексті автоматизації процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата, REBA Score може бути застосований для оцінки фізичного навантаження та виявлення можливих проблем, пов'язаних з ергономікою робочого місця оператора.

Основним призначенням REBA Score є ідентифікація факторів ризику, що можуть призвести до появи м'язових напружень, неправильних рухів або погіршення загального комфорту оператора. Цей метод дозволяє оцінити ризики, пов'язані з роботою, і виявити потенційні проблемні зони, які можуть впливати на безпеку, ефективність та здоров'я оператора.

Оцінка REBA Score включає оцінку позиції тіла оператора, напруження м'язів, сили, рухів та інших факторів, що впливають на навантаження. За допомогою цього методу, експерт або оцінювач може присвоїти бали різним частинам тіла та рухам оператора, а потім підрахувати загальний REBA Score. Чим вищий бал, тим більша ймовірність негативного впливу на здоров'я та ефективність роботи оператора.

Застосування REBA Score в контексті автоматизації процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата дозволяє виявити потенційні проблеми та небезпеки, пов'язані з фізичним навантаженням оператора, такі як неприродні позиції тіла, перенапруження м'язів або повторювані рухи. Це дозволяє розробникам технологій та дизайнерам інтерфейсів внести необхідні зміни для поліпшення ергономіки та забезпечення безпеки та ефективності роботи.

5.2.1 Переваги та обмеження використання методу REBA Score для автоматизації керування

Метод оцінки REBA Score є цінним інструментом для оцінки фізичного навантаження та ризиків, пов'язаних з роботою, включаючи автоматизацію керування. Використання цього методу має деякі переваги та обмеження, які варто враховувати:

Переваги використання методу REBA Score:

- об'єктивність: REBA Score надає систематичний підхід до оцінки ризику та фізичного навантаження, що дозволяє отримати об'єктивні результати. Це дозволяє ідентифікувати проблемні області та розробляти належні заходи для поліпшення ергономічних умов роботи;
- Виявлення потенційних ризиків: Метод REBA Score дозволяє виявити фізичні навантаження та ризики, пов'язані з автоматизованим керуванням, зокрема під час посадки безпілотних літаючих апаратів. Це може сприяти

вчасному впровадженню заходів для запобігання травмам та зниження ризиків для операторів;

- орієнтація на вдосконалення: REBA Score не лише визначає рівень ризику та фізичного навантаження, але й надає рекомендації щодо поліпшення ергономічних умов роботи. Це дозволяє спрямовувати зусилля на вдосконалення робочого середовища та зменшення ризику травм.

Обмеження використання методу REBA Score:

- Загальна оцінка: REBA Score надає загальну оцінку фізичного навантаження та ризиків, але не враховує індивідуальних особливостей операторів. Індивідуальні фізичні характеристики та здібності можуть впливати на сприйняття ризику та фізичне навантаження;
- Обмежена специфічність: REBA Score розроблений для загальної оцінки ергономічних умов роботи і може бути менш ефективним для оцінки специфічних аспектів автоматизації керування дронами. Для більш точної оцінки рекомендується враховувати специфічні вимоги та відповідні методи оцінки;
- Не враховує психологічні аспекти: REBA Score орієнтований на фізичне навантаження, але не враховує психологічні аспекти роботи, такі як стрес, концентрація та втома. Ці аспекти також важливі для безпеки та ефективності роботи з автоматизованими системами.

Хоча метод оцінки REBA Score є цінним інструментом для оцінки фізичного навантаження та ризиків у робочому середовищі, він має деякі обмеження, особливо щодо врахування інших аспектів ергономіки. Деякі з можливих обмежень методу REBA Score включають:

1. когнітивні аспекти: REBA Score не оцінює когнітивні вимоги роботи, такі як складність завдань, рівень концентрації та прийняття рішень. Ці аспекти можуть впливати на навантаження розумових функцій та потребу в психічному зосередженні;

2. соціальні аспекти: REBA Score не враховує соціальні аспекти робочого середовища, такі як комунікація та взаємодія з колегами. Ці аспекти можуть впливати на комфорт та задоволення від роботи;
3. специфічні вимоги: REBA Score є загальним методом, і він може не враховувати специфічні вимоги конкретних робочих місць або завдань. Для отримання більш точної оцінки, може знадобитися використання додаткових методів або консультація з експертами.

Незважаючи на обмеження, метод REBA Score є корисним інструментом для оцінки фізичного навантаження та ризиків в автоматизованій роботі. При його використанні слід розглядати його результати разом з іншими аспектами безпеки та ефективності роботи для прийняття відповідних заходів з поліпшення ергономічних умов, а також врахування цих обмежень і доповнення методу REBA Score іншими аспектами ергономіки може допомогти отримати більш повну картину професійних ризиків та покращити ергономічні умови роботи. При використанні методу REBA Score слід розглядати його результати разом з іншими методами оцінки та консультуватися з професіоналами для забезпечення повноцінної оцінки ергономічного середовища.

5.3 Використання REBA Score для оцінки ризиків та рекомендацій

Проведення оцінки ризику за допомогою методу REBA Score для конкретних робочих позицій та рухів, пов'язаних з автоматизованою посадкою дрона наведено на рисунку (6.1)

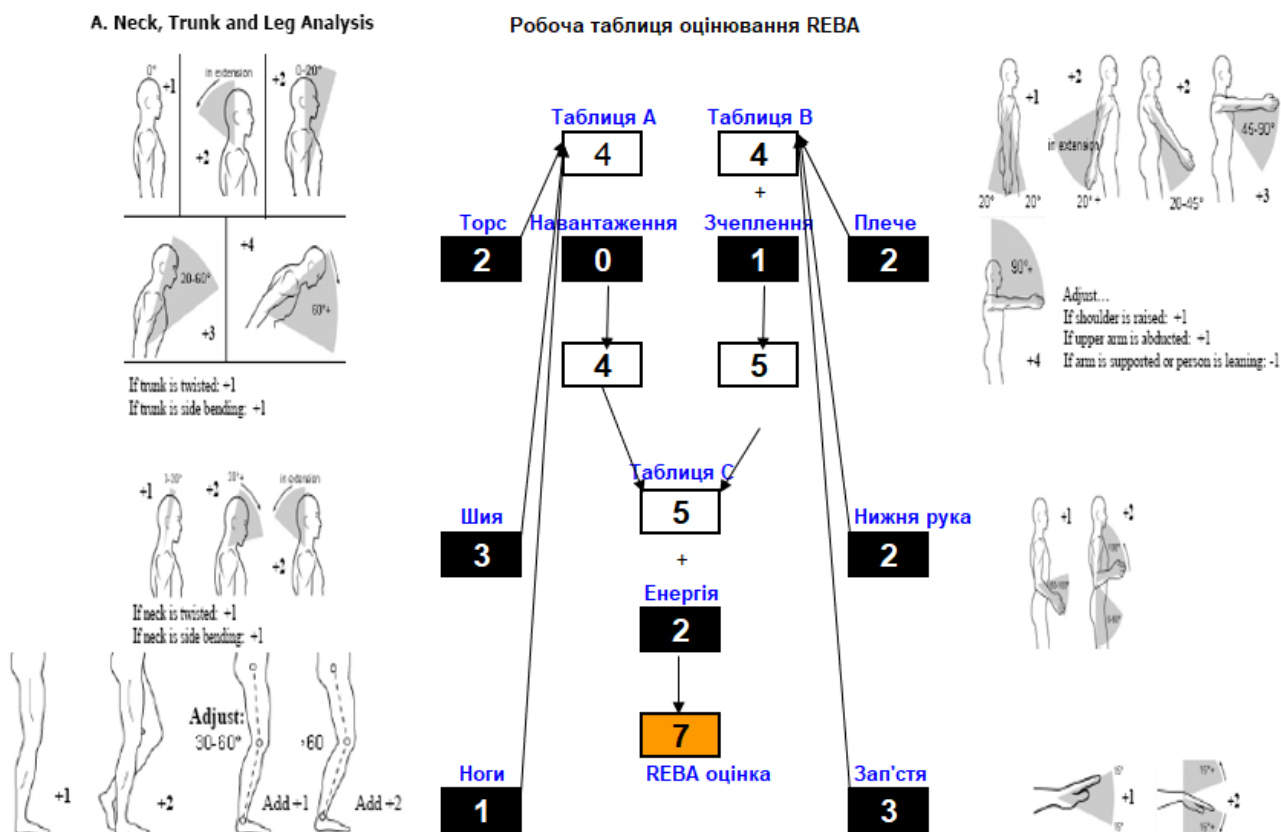


Рисунок 5.1 - Таблиця оцінювання REBA

Враховуючи результат оцінки REBA Score 7 у стоячому положенні під час керування дроном за допомогою планшета, нижче наведені рекомендації щодо зменшення ризику та поліпшення ергономічних умов роботи:

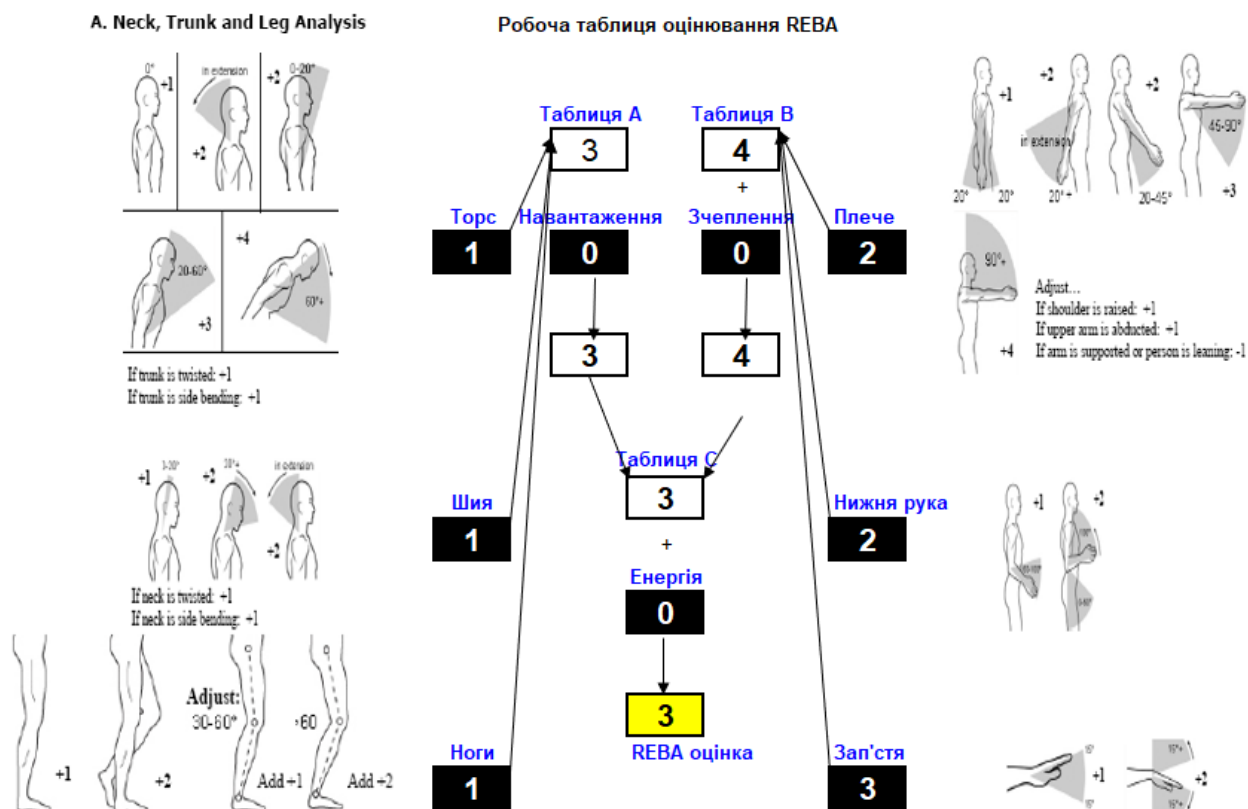
- поставка регульованого робочого столу або стійки: Для забезпечення оптимальної позиції тіла та зменшення напруження м'язів можна використовувати регульований робочий стіл або стійку. Це дозволить оператору налаштувати висоту робочої поверхні на комфортну рівню, що підходить для його зросту та статури;
- використання підставки для планшета: Щоб забезпечити оптимальний кут огляду і зменшити напруження шії та спини, рекомендується використовувати підставку для планшета або стенд. Це дозволить підняти

- планшет на відповідну висоту, щоб екран знаходився на рівні очей оператора;
- забезпечення підлокітників: Використання підлокітників або підставок для передпліччя може допомогти знизити напруження у плечах та руках оператора. Це дозволить розслабити м'язи та підтримувати правильну позицію під час виконання роботи;
 - регулярні перерви та розтяжка: Важливо встановити регулярні інтервали для перерв та розтяжок під час тривалої роботи з планшетом. Розтяжка шиї, плечей, спини та кистей допоможе зменшити напруження м'язів і покращити кровообіг;
 - організація робочого простору: Впевніться, що робочий простір під час керування дроном за допомогою планшета є чистим, організованим та відповідає потребам оператора. Мінімізуйте зайві предмети, які можуть заважати роботі, та забезпечте достатнє освітлення, щоб уникнути зайвого напруження очей;
 - навчання техніків правильної постави та рухів: Операторам рекомендується отримати навчання щодо правильної постави та рухів під час роботи з планшетом. Це допоможе їм усвідомити важливість здорової ергономіки та виконувати рухи, що зменшують ризик травм або напруження.

Застосування цих рекомендацій допоможе зменшити фізичне навантаження, знизити ризик виникнення травм та поліпшити ергономічні умови роботи під час керування дроном за допомогою планшета. Важливо регулярно переглядати та оцінювати REBA Score, щоб вживати відповідних заходів для забезпечення безпеки та комфорту оператора.

5.3.1 Використання REBA Score після рекомендацій та порівняння

Після врахування рекомендацій, ми можемо бачити гарні зміни на рисунку (5.2).



РЕБА оцінка	Рівень ризику	Дія
1	Незначний	Ніяких дій не потрібно
2 - 3	Низький	Можливо, знадобляться зміни
4 - 7	Середній	Подальше розслідування, зміна найближчим часом
8 - 10	Високий	Дослідити та впровадити зміни
11+	Дуже високий	Впровадити зміни негайно

Рисунок 5.2 - Таблиця оцінювання REBA з рекомендаціями

Порівняльна характеристика поліпшення ергономічних умов роботи з використанням результатів оцінки REBA Score для двох різних оцінок, а саме рис.(5.1) та рис.(5.2)

1. Ризик та фізичне навантаження:

- REBA score 3: Оцінка REBA Score 3 вказує на низький ризик та невелике фізичне навантаження в роботі. Умови роботи в цьому випадку вже є задовільними.
- REBA score 7: Оцінка REBA Score 7 показує високий ризик та значне фізичне навантаження. Робота в таких умовах може спричинити стрес, втому та можливість виникнення травм.

2. Позиція тіла та рухи:

- REBA score 3: При оцінці REBA Score 3 можна вважати, що позиція тіла та рухи вже є комфортними та ергономічними. Оператор може виконувати роботу без значних напружень або дискомфорту.
- REBA score 7: У випадку оцінки REBA Score 7, позиція тіла та рухи можуть бути незручними та неприродними. Це може призводити до напруження м'язів, дискомфорту та можливого ризику виникнення травм.

3. Рекомендації для поліпшення ергономічних умов:

- REBA score 3: Умови роботи з оцінкою REBA Score 3 можуть вимагати лише незначних покращень, які спрямовані на оптимізацію деталей, таких як розташування обладнання або використання ергономічних пристроїв.
- REBA score 7: У випадку оцінки REBA Score 7, значні зміни та покращення ергономічних умов можуть бути необхідними. Це може включати перегляд робочої позиції, використання спеціального обладнання або розробку програми тренувань для зменшення фізичного навантаження.

Отже, порівнюючи різні оцінки REBA Score, такі як 3 і 7, можна побачити, що висока оцінка супроводжується вищим ризиком, більшим фізичним навантаженням та менш комфортними робочими умовами.

Рекомендації, засновані на результатів оцінки REBA Score, допомагають зменшити ризик та покращити ергономічні умови роботи. При оцінці REBA Score 3, можуть знадобитися лише незначні покращення, тоді як при оцінці REBA Score 7 можуть знадобитися значні зміни та вдосконалення. Важливо враховувати інші аспекти ергономіки, які не враховуються REBA Score, для забезпечення повного покращення умов роботи.

Забезпечення безпеки та комфорту операторів є важливим завданням під час автоматизованої посадки безпілотних літаючих апаратів. Використання методу REBA Score і прийняття рекомендаційних заходів для поліпшення ергономічних умов є кроком у правильному напрямку для забезпечення безпеки, ефективності та задоволення в робочому середовищі.

5.4 Висновок до розділу

Оцінка ергономіки з використанням методу REBA Score в контексті автоматизованої посадки безпілотних літаючих апаратів є важливим інструментом для забезпечення безпеки та ефективності роботи операторів. Цей метод дозволяє оцінити фізичне навантаження та ризики, пов'язані з роботою в стоячому положенні та керуванням дронами за допомогою планшета.

Використання методу REBA Score дозволяє ідентифікувати проблемні аспекти ергономіки, такі як підвищене навантаження на руки, спину чи ноги операторів, незручні позиції тіла, неправильна розташованість обладнання та інші фактори, які можуть впливати на їх безпеку та ефективність роботи.

Важливо приймати заходи для покращення ергономічних умов та зменшення ризиків на основі результатів оцінки REBA Score. Це можуть бути такі рекомендації, як оптимізація розташування обладнання, використання ергономічних пристроїв та аксесуарів, навчання правильним технікам роботи та регулярні перерви для відпочинку та розтягування.

Забезпечення безпеки операторів та покращення їх ергономічних умов у процесі автоматизованої посадки безпілотних літаючих апаратів має велике значення. Це дозволить зменшити ризик виникнення травм та захворювань, покращити продуктивність роботи та забезпечити комфорт та задоволення від процесу керування.

Отже, використання методу REBA Score і прийняття відповідних заходів для поліпшення ергономічних умов роботи є важливим кроком у забезпеченні безпеки та ефективності операторів під час автоматизованої посадки безпілотних літаючих апаратів.

ВИСНОВКИ

Актуальність роботи пояснюється необхідністю автоматизації процесу керування безпілотним літаючим апаратом при посадці. Сучасні технологічні вимоги та зростаюча потреба в безпекових, ефективних та точних посадках диктують необхідність впровадження автоматизованих систем у керуванні безпілотними літаками під час посадки. У якості об'єкта керування виступає сам дрон, для якого вибрано апаратно-програмні комплектуючі, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема електрична принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової. Також ми розробили математичну модель дрона, зробили її опис, проаналізували, дослідили як дрон змінює положення під час посадки, як змінюється швидкість під час посадки/ховерінгу, а також як змінюються оберти двигунів, при посадці та ховерінгу. Також дослідили, що буде, якщо за невеликий проміжок часу зменшити оберти, а потім повернути стартові значення обертів, а також продемонстрували що буде з дроном при вільному падінні ближче до 0. У впровадженні проектованої системи передбачені капітальні витрати у розмірі 42 553,57 грн., а час, необхідний для розробки програмного забезпечення, становить 0,45 місяця. Річні витрати на експлуатацію оцінюються в 487 453,93 грн. У розділі охорона праці були розглянуті питання, щодо ергономіки, а також використання методу REBA Score і прийняття відповідних заходів для поліпшення ергономічних умов роботи.

А також треба взяти до уваги, що дана кваліфікаційна робота є частиною комплексної роботи. Ця частина розглядає автоматизований процес керування безпілотного літаючого апарату при посадці, тому для більш повної картини, треба дивитися інші частини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1) Кваліфікаційна робота бакалавра. Методичні рекомендації до виконання здобувачами вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / В.В. Ткачов, О.О. Бойко та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Електрон. Текст. Дані – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 28 с.
- 2) Дрони та квадрокоптери: веб-сайт. URL: <http://surl.li/hwouk> (дата звернення 01.05.2023).
- 3) Як працює квадрокоптер?: веб-сайт. URL: <http://surl.li/hwovc> (дата звернення 01.05.2023).
- 4) Пиркін А. А., Мальцева Т. А., Лабадін Д. В., Суров М. О., Бобцов А. А. Синтез системи управління квадрокоптером із використанням спрощеної математичної моделі // Изв. вишів. Приладобудування. 2013. Т. 56, № 4. С. 47-51.
- 5) PIC32MX795F512L Datasheet (PDF) - Microchip Technology: веб-сайт URL: <http://surl.li/hwpcg> (дата звернення 10.05.2023).
- 6) Магазин ARDUINO.UA: веб-сайт. URL: <http://surl.li/hwper> (дата звернення 02.06.2023).
- 7) Сучасна теорія керування: навч. посіб. / І.В. Новицький, С.А. Ус, м-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 263 с.
- 8) Wikiwand Ейлорові кути: веб-сайт. URL: <https://goo.su/IRYWcQT> (дата звернення 04.06.2023).
- 9) PEREZ I.C., FLORES-ARAIZA D., FORTOUL-DIAZ J.A., MAXIMO R., GONZALEZ-HERNANDEZ H.G. Identification and PID control for a quadrocopter // IEEE Int. Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), February 26-28, 2014, Puebla, Mexico. – P. 77-82.
- 10) Shapovalov I., Soloviev V., Finaev, Beloglazov D., Zargaryan J., Kosenko E. Research of the controlled flight dynamics based on the full and simplified quadrotor models // Advances in Engineering Mechanics and Materials, 2014.

- 11) A Step-by-Step Guide to the REBA Assessment Tool: веб-сайт. URL: <https://ergo-plus.com/reba-assessment-tool-guide/> (дата звернення 17.05.2023)
- 12) Міжнародні правила цитування та посилання в наукових роботах : методичні рекомендації / автори-укладачі: О. Боженко, Ю. Корян, М. Федорець ; редколегія: В. С. Пашкова, О. В. Воскобойнікова-Гузєва, Я. Є. Сошинська, О. М. Бруй ; Науковотехнічна бібліотека ім. Г. І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ; Українська бібліотечна асоціація. – Київ : УБА, 2016. – Електрон. вид. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – 117 с. – ISBN 978-966-97569-2-3.

ДОДАТОК А
Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Позначення	Позначення	Найменування	Кількість	Шифр документа	Примітка
1			<u>Документація</u>			
2						
3	A4	КФІВС.КВР.151.19.07 ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ	
4						
5			<u>Графічна частина</u>			
6						
7	A2	КФІВС.КВР.151.19.07 Е2	Функціональна схема			
8			автоматизації	1	Е2	
9						
10	A2	КФІВС.КВР.151.19.07 Е3	Схема електрична			
11			принципова	1	Е3	
12						
13	A4	КФІВС.КВР.151.19.07 ПЕЗ	Перелік елементів	1	ПЕ	
14						
15	A4	КФІВС.КВР.151.19.07 Д	Презентація		Д	
16						
17		КФІВС.КВР.151.19.07 ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
			Підп.	Дата	КФІВС.КВР.151.19.07.ТП	
Зм.	Арк.	№ докум.				
Розробив		Демченко		23.05.23	Літ.	Аркуш Аркушів
П. конс.		Зибалов				1 1
Н. контр.		Воскобойник			Національний ТУ «Дніпровська Політехніка», ЕТФ, 151-19-1	

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра

на тему «Автоматизація процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата», здобувача вищої освіти академічної групи 151-19-1 Демченко Тимофія Миколайовича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірки знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що дозволить знизити ризик аварійних ситуацій, полегшити завдання оператора та покращити точність та ефективність посадки дронів.

У першому розділі проаналізовано технологічний процес, структуру об'єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування її функціонування та дослідження об'єкта керування.

У другому розділі вирішено завдання вибору датчиків та виконавчих пристроїв системи керування. а підставі обраного апаратного забезпечення розроблено функціональну схему автоматизації об'єкта керування та схему електричну принципову системи керування.

У третьому розділі розглянуті математичні рівняння, їх опис, побудована математична модель на базі цих рівнянь, змодельована поведінка дрону за вхідними параметрами вказані у третьому розділі, та проведено аналіз різних станів приземлення дрону.

Четвертий та п'ятий розділи присвячені розрахунку вартості розробленої

системи керування та аналізу ергономіки, щодо оператора дрону.

При вирішенні завдань у розділах кваліфікаційної роботи здобувач вищої освіти підтвердив компетенції КО1 «Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях»; КО2 «Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово»; КО4 «Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій»; КО5 «Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел»; КІ3 «Здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування»; КІ4 «Здатність застосовувати методи системного аналізу, математичного моделювання, числові методи для розроблення математичних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій» та інші.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки 90 балів при відповідному захисті, а здобувач Демченко Т.М. присвоєння кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Керівник кваліфікаційної роботи, _____
асистент, (підпис)

Зибалов Д.С.

(дата)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра

на тему «Автоматизація процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата», виконаної студентом групи 151-19-1 Демченко Тимофія Миколайовича

Завдання та зміст кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра відповідають основній меті - перевірі знань та рівня підготовки студента за спеціальністю "151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи відповідає вимогам стандартів та методичних рекомендацій.

Актуальність роботи полягає в зниженні ризику аварійних ситуацій, спрощенні завдань оператора та покращенні точності та ефективності посадки дронів.

У першому розділі проаналізовано технологічний процес, структуру об'єкта керування та вимоги до його функціонування. На цій основі сформульовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування, її функціонування та проведені дослідження об'єкта керування.

У другому розділі вирішено завдання вибору датчиків та виконавчих пристроїв системи керування. На основі обраного апаратного забезпечення розроблена функціональна схема автоматизації об'єкта керування та схема електрична принципова системи керування.

У третьому розділі розглянуті математичні рівняння, їх опис, побудована математична модель на основі цих рівнянь, змодельована поведінка дрону за вхідними параметрами, вказаними у третьому розділі, та проведений аналіз різних станів приземлення дрону.

Четвертий та п'ятий розділи присвячені розрахунку вартості розробленої системи керування та аналізу ергономіки, що стосується оператора дрону.

При вирішенні поставлених завдань у розділах кваліфікаційної роботи студент підтвердив компетенції здатність до застосування знань у практичних

ситуаціях, навички використання інформаційних і комунікаційних технологій, здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел, здатність використовувати знання фізики, електротехніки, електроніки і мікропроцесорної техніки в системах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань у кваліфікаційній роботі є задовільними.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки 90 балів при відповідному захисті, а здобувач Демченко Т.М. присвоєння кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент,

____.06.2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

« _____ » _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація процесу керування під час посадки безпілотного літаючого апарата», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Демченко Тимофій Миколайович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 63 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichesk.com>”. Рівень запозичень у роботі складає 26.2 %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,
посада, ас. каф. КФІВС
ступінь

_____ (підпис)

Воскобойник Є.К.

_____ (дата)