

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 Козак Віталій Олександрович

(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 процесів керування процесу польоту 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	доц. Бубліков А.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	ас. Зибалов Д.С.			
Визначення моделі об'єкта керування	доц. 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)  
\_\_\_\_\_ Бубликов А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр  
студенту Козак В.О. \_\_\_\_\_ 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 процесів керування процесом польоту безпілотною літаючого апарата

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 328-с від №08.05.2023р.

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.	11.05.22
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 \_\_\_\_\_

30.11.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

12.06.2023

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Козак В.О.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 60 с., 21 рис., 11 табл., 2 додаток, 10 джерел.

Дана кваліфікаційна робота є частиною комплексної роботи.

Об'єкт дослідження – Автоматизована система керування процесом польоту безпілотного літаючого апарата.

Мета роботи - вивчення та аналіз існуючих методів та технологій автоматизації процесу польоту безпілотного літаючого апарата та розробка оптимального алгоритму для забезпечення безпечного, ефективного та точного польоту дрону.

Методика дослідження - для досягнення мети роботи, було виконано дослідження шляхом аналізу наявних методів керування безпілотними літаючими апаратами під час польоту. Крім того, було проведено моделювання маневрів та експериментальне тестування розроблених алгоритмів на симуляторах та реальних пристроях.

Результатом аналізу технологічного процесу є корекція положення дрону та його руху для досягнення точки у просторі та фіксація положення.

У нашому дослідженні був використаний стандартний комплект апаратних засобів, який включав мотори, регулятори швидкості, акумулятор, радіопередавач, барометр, акселерометр та GPS модуль.

Алгоритм керування був розроблений таким чином, що йде підйом зі своєї поточної висоти, потім йде переміщення до точки в просторі, далі стабілізація й утримання позиції.

Висновок, який можна зробити на основі отриманих результатів, полягає в тому, що розроблена модель ефективно відображає поведінку об'єкту керування. Це підтверджує його придатність для використання в подальшій розробці системи керування.

ПЕРЕМІЩЕННЯ, СТАБІЛІЗАЦІЯ, УТРИМАННЯ ПОЗИЦІЇ, МОДЕЛЬ, ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ, РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ, АНАЛІЗ, МОДЕЛЮВАННЯ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ .....	7
1.1 Актуальність розробки автоматичного керування для безпілотних літаючих апаратів.....	7
1.2 Переваги та недоліки безпілотних літальних апаратів мультироторного типу. ....	10
1.3 Об’єкт керування.....	11
1.4 Формулювання задачі дослідження .....	14
1.5 Висновки за розділом.....	14
2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ....	15
2.1 Розробка структурної схеми керування .....	15
2.2 Розробка структурної схеми пульта керування .....	16
2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування .....	17
2.3.1 Вибір датчиків .....	18
2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв.....	22
2.3.3 Вибір пристроїв керування .....	23
2.3.4 Вибір джерела живлення .....	25
2.4 Розробка функціональної схеми актоматизації.....	26
2.5 Розробка електричної принципової схеми.....	27
2.6 Висновки за розділом.....	28
3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	29
3.1 Розробка математичної моделі .....	29
3.2 Розробка законів керування .....	33
3.3 Розробка моделі об’єкта керування в Simulink.....	36
3.4 Виконання експерименту.....	38
3.5 Висновки за розділом.....	40
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	41
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи .....	41
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов’язаних з впровадженням системи керування.....	41

4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення.....	43
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення.....	43
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення.....	47
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	48
4.4.1 Амортизація основних фондів .....	49
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати .....	50
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи .....	51
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт .....	51
4.4.5 Витрати на електроенергію.....	52
4.4.6 Інші витрати.....	52
4.5 Висновки за розділом.....	54
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	55
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів LiFePO <sub>4</sub> акумулятора .....	55
5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці .....	56
5.3 Пожежна профілактика .....	57
5.4 Висновки по розділу .....	59
ВИСНОВКИ .....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	61
ДОДАТОК А .....	62
ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	63

## ВСТУП

Безпілотні літальні апарати успішно застосовуються в цивільній сфері і мають великий потенціал для пошукових завдань у непередбачуваних середовищах. Протягом останніх років було розроблено та поширено широкий спектр моделей, доступних для споживачів. БПЛА можуть літати автономно по визначених маршрутах, мають камери для аерофотозйомки і здатні перевозити вантажі. Компактні, легкі та маневрені мультимоторні дрони використовують різні типи датчиків, що дозволяють виявляти об'єкти пошуку в небезпечних областях.

Такі дрони мають широкий спектр застосувань, включаючи повітряний моніторинг промислових підприємств, сільське господарство і надання допомоги в разі катастрофи для швидкої оцінки ситуації та координації сил реагування.

БПЛА можна класифікувати за їх розміром, вагою, дальністю польоту, висотою і типом двигуна.

Промисловість безпілотних літальних апаратів переважно фокусується на наданні різноманітних послуг. Самі БПЛА відіграють важливу роль, але справжня цінність полягає в їх здатності нести корисні навантаження та ефективно надавати певний тип послуг. До таких випадків використання належать фотографія, кінематографія, точне землеробство, інспекція ліній електропередач та споруд, безпека та спостереження, зйомка інфрачервоного та багатоспектрального зображення, відновлення місцевості після стихійних лих, пошуково-рятувальні операції та багато іншого.

Такі системи мають потенціал використовуватись у різних сферах, таких як національна безпека, цивільна оборона, прикордонний контроль, сприяння поліції, включення у корпоративні операції, підтримка в льотній підготовці та картографуванні, а також підтримка пошукових та рятувальних місій.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Актуальність розробки автоматичного керування для безпілотних літаючих апаратів.

Завдяки простоті в експлуатації і маневреності квадрокоптери стають інструментом для вирішення все великої кількості задач. Проводиться величезна кількість експериментів по інтеграції такого роду літальних апаратів в різні сфери промисловості і діяльності людини.

Сьогодні інспектування літака виконується кваліфікованими фахівцями. Оглядати внутрішні частини легко, але огляд зовнішньої обшивки може виявитися важким, і вимагає рухливих платформ, які допоможуть отримати доступ до всіх частин літака. В результаті для повної інспекції буде витрачено багато часу, яке є цінним ресурсом для авіакомпаній. Тому авіакомпанії використовують квадрокоптери, оснащені камерами високої чіткості, щоб прискорити цей процес. Квадрокоптери можуть літати навколо літаків, знімаючи фотографії і відео високої якості, які інженер може потім переглянути замість того, щоб застосовувати складні конструкції для отримання доступу до всіх елементів повітряного судна для огляду.

Також одним з показових прикладів є їх застосування в пошуково-рятувальних роботах. Застосування спеціалізованих дронів для пошуку, під час надзвичайних ситуацій, ведеться на протязі декількох років.

Цьому сприяють такі можливості дронів:

- літати невисоко над землею, не наражаючи на небезпеку людей;
- маневрувати і літати в важкодоступних зонах;
- робити фото і відеозйомку з повітря по значно меншій ціні в порівнянні з класичними вертольотами.

Як повнорозмірні літаки, вони можуть нести камери високої чіткості і навіть тепловізійні системи, щоб допомогти знайти людей і тварин. У зв'язку з цим дрони використовуються все частіше і частіше в рамках пошуково-рятувальних робіт.

Для квадрокоптера також знайшли застосування і в медицині. Microsoft проводить дослідження з використанням безпілотних літальних апаратів.

Дрони оснащуються пристроєм для збору комах, а потім пролітають в різних місцях, що становлять інтерес для дослідників. Дрон обертається з зібраними комахами, які потім використовуються вченими для аналізу. Результати аналізу використовуються для прогнозування спалахів в локальних областях.

Зрозуміло, сам аналіз є дуже трудомістким завданням. По-перше, дрони і пов'язані з ними пристрої збору комах не можуть відрізнити одної комахи від іншої, і не можуть зібрати тільки комарів, в яких вчені зацікавлені найбільше. Ці комахи і москити повинні бути відсортовані вручну та відібрані для досліджень. Але, незважаючи на складність цієї методики, в недалекому майбутньому вона отримає більш широке поширення, і вчені зможуть публікувати зведення, попереджуючи людей, що живуть в умовах підвищеного ризику або віддалених районах, про можливість заразитися малярією та іншими загрозливими для життя захворюваннями. Це дозволить людям вжити захисних заходів, перш ніж ситуація посилиться, і станеться спалах захворювання.

Також БПЛА застосовуються для вивчення вулканів, обробка відомостей яка дає можливість більш точного прогнозування виверження, допомагає при дослідженні мінералів всередині і навколо лави, дослідження газів, що випускаються вулканом, також дозволяє дізнатися більше про ядро Землі.

Звичайно, основною проблемою при вивченні вулканів є наявність високих температур і токсичних газів. Термокостюми вирішили більшу частину цієї проблеми, але в них важко пересуватися. Отримання знімків з повітря разом з вимірами було практично неможливі, використовуючи класичну авіаційну техніку, так як ця техніка не могла літати досить близько. Тому безпілотні літальні апарати почали використовувати для аерофотозйомки вулканів і збору зразків повітря поблизу них по всьому світу. Це дозволило вченим отримати додаткові дані, а також створити більш точні віртуальні моделі кратерів вулканів.



Віртуальні моделі дозволяють вченим вивчати вимірювання в кратерах з плином часу для прогнозування наступного виверження вулкану.

Все більше застосування БПЛА знаходять в області безпеки і спостереження. Вони можуть швидко дістатися до зони, що охороняється і оглянути її, повністю виключаючи всі ризики для пілота.

Квадрокоптери використовуються для:

- боротьби з бракон'єрами;
- охорони будівель і споруд;
- патрулювання кордонів;
- спостереження за тюремними територіями;
- спостереження за скупченням великої кількості людей на протестах і демонстраціях;
- спостереження за ситуацією на дорогах в зонах сильно жвавого руху та відомості про ДТП.

Використання безпілотників для безпеки і спостереження стає популярним, в зв'язку з чим кількість компаній, що спеціалізуються на цьому, зростає з кожним днем.

Квадрокоптери починають все більше і більше використовувати при видобутку корисних копалин. Дрони запускаються для виконання завдань, які є важкими або небезпечними для працівників. Як і в інших галузях промисловості, безпілотні літальні апарати виявляються дуже цінними при інспектуванні інфраструктурної частини гірничодобувної системи.

Дрони витісняють застосування "ручної" перевірки і дорогих в експлуатації вертольотів при регулярних оглядах таких об'єктів, як лінії електропередач, дороги і обладнання. Щоб забезпечити безпеку співробітників кар'єрів, безпілотні літальні апарати також використовуються для періодичної перевірки потенційно небезпечних зон, таких як стіни ям і входи в шахти.

Квадрокоптери також можуть бути використані для складання карт і моделювання, що має велике значення для гірничодобувних компаній, причому

застосування безпілотних літальних апаратів в цій області забезпечує більш точні карти і моделі, і набагато дешевше в порівнянні з традиційними методами.

Можливо, саме фермерська індустрія більше всіх дозріла для застосування безпілотних літальних апаратів. Наприклад, завдяки GPS, квадрокоптер може облетіти ферму і відстежити ділянку, на якому не вистачає зрошення або поживних добрив. Потім, він відправить точні координати господареві, який за допомогою трактора привезе добриво. Або якщо розглядати цю задачу більш глобально, квадрокоптер може сам провести обробку поля, облетівши всю його площу. Також БПЛА застосовуються, наприклад, для моніторингу апельсинових дерев на предмет наявності хвороб, небезпечних для цитрусових.

Це далеко не повний список можливих способів застосування квадрокоптерів, проте він наочно демонструє їх універсальність для вирішення завдань найширшого спектра тому з цього і не тільки можна зробити висновок, що розробка систем автоматичного управління для мультироторних БПЛА є надзвичайно актуальною на сьогоднішній день та має великий потенціал розвитку.

## **1.2 Переваги та недоліки безпілотних літальних апаратів мультироторного типу.**

Безпілотні мультироторні літальні апарати мають декілька переваг:

- вони компактні, що призводить до зменшення вартості порівняно з традиційними літальними апаратами;
- можливість створення невеликих розмірів дозволяє виконувати різноманітні завдання, недоступні для звичайних літальних апаратів;
- вони мобільні, маневрені та легкі;
- можна додатково встановлювати обладнання для вирішення специфічних завдань;
- вони мають високу вантажопідйомність та низьку чутливість до вітру;
- обслуговування вимагає лише одного або двох операторів.

До недоліків безпілотних літальних апаратів мультироторного типу відносяться:

- обмежена дальність польоту та обмежений час, протягом якого може здійснюватися політ;
- існує підвищений ризик аварій для таких апаратів.

### **1.3 Об'єкт керування**

Квадрокоптер - це тип безпілотного літального апарату, що складається з чотирьох гвинтів, які обертаються діагонально у протилежних напрямках. Існують різні рівні автономності для безпілотних літальних апаратів, починаючи від управління оператором з пункту керування до повністю автоматичного режиму. Крім того, вони можуть відрізнятися за конструкцією, призначенням та іншими характеристиками.

Класифікація безпілотних літальних апаратів за типом управління:

- Автоматичне керування;
- Дистанційне керування оператором;
- Змішане.

Класифікація безпілотних літальних апаратів за принципом польоту:

- З твердим крилом;
- З гнучким крилом;
- З крилом, що обертається;
- З махаючим крилом;
- Аеростатичного типу.

Квадрокоптер має в своєму складі такі компоненти: мікропроцесорний контролер, відомий як польотний контролер, рама, яка служить основою для кріплення гвинтів, двигунів, регуляторів швидкості, а також приймачів і передавачів радіосигналу.

На рамі монтується плата управління квадрокоптера, приймач та передавач радіосигналу. На кінцях рами монтуються безколекторні двигуни, що несуть гвинти та регулятори швидкості обертання ротора двигуна. Політний контролер призначений для обробки команд, отриманих від наземної станції (оператора) та управління стабілізацією платформи квадрокоптера у просторі. За допомогою даних, отриманих від блоку датчиків, відбувається стабілізація платформи в горизонтальну площину. Дані із цифрового барометра дозволяють польотному контролеру, обробляючи їх, тримати платформу на заданій висоті. Як додаткове обладнання можуть виступати GPS – приймач, звуковий локатор, оптичний датчик, тепловізор, камера та ін.

Квадрокоптери складаються з чотирьох гвинтів з постійним кроком. Кожен гвинт приводиться в рух окремим двигуном. Два гвинти обертаються за годинниковою стрілкою, а два інших - проти годинникової стрілки. Ця конфігурація гвинтів дозволяє квадрокоптеру здійснювати рухи та маневри без потреби в окремому хвостовому гвинті.

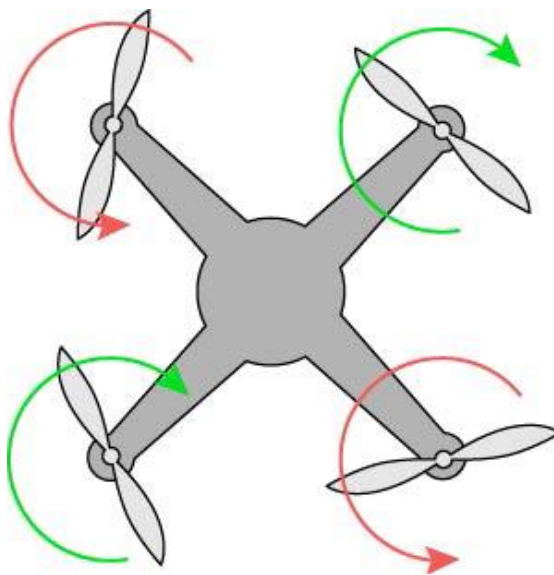


Рисунок 1.1 – Принцип обертання гвинтів

Керування квадрокоптером здійснюється шляхом регулювання швидкості обертання гвинтів. Збільшення швидкості обертання всіх гвинтів призводить до підйому апарату, а збільшення швидкості обертання гвинтів з одного боку та зменшення з іншого спричиняє рух у бік. Поворот квадрокоптера відбувається шляхом прискорення гвинтів, які обертаються за годинниковою стрілкою, та

уповільнення гвинтів, які обертаються проти годинникової стрілки. Таким чином, шляхом різності швидкостей обертання гвинтів здійснюються різні маневри та рухи квадрокоптера.

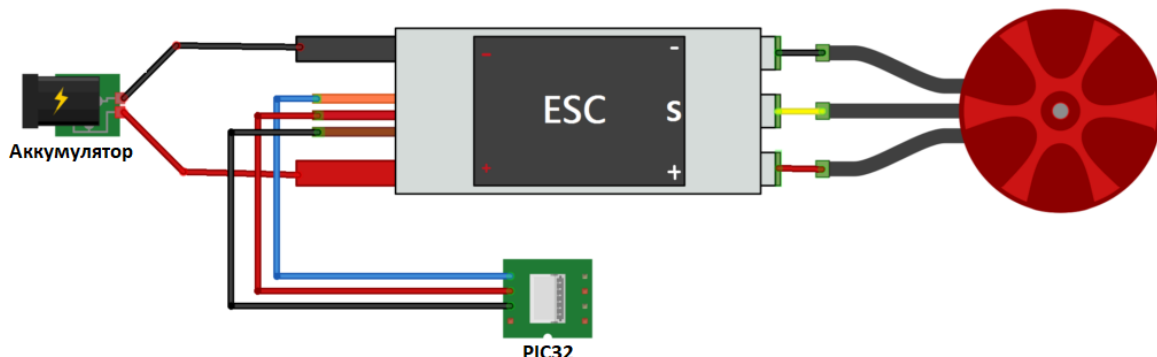


Рисунок 1.2 – Схема підключення ESC

Роль контролера полягає в забезпеченні стійкості польоту квадрокоптера. Його основне завдання - стабілізувати платформу в повітрі у горизонтальному положенні шляхом керування сигналами, що поступають до двигунів. Для досягнення цієї мети контролер використовує дані, отримані від датчиків, та обчислює відповідну швидкість для кожного пропелера окремо. Таким чином, контролер впливає на обертання гвинтів, щоб забезпечити стабільне положення квадрокоптера у повітрі.

Гіроскопи використовуються як датчики, що вимірюють кутову орієнтацію квадрокоптера. Вони використовуються для виявлення змін положення, що виникають внаслідок зовнішніх впливів, і формують команди для компенсації цих змін. Головне завдання гіроскопів - виміряти швидкість зміни нахилу платформи квадрокоптера у градусах на секунду. Для вимірювання прискорення по трьом осях координат використовуються акселерометри - датчики прискорення, які встановлюються на безпілотному літальному апараті.

#### **1.4 Формулювання задачі дослідження**

У рамках комплексу розробити бортові алгоритми управління для стабілізації літального апарату з певними кутами орієнтації для приведення літального апарату в задану точку простору із заданим кутом ризкання.

Розробити логіку та структуру роботи апаратно-програмного комплексу для дистанційного керування рухом квадрокоптерів.

Виконати імітаційне моделювання динаміки руху літального апарату із застосуванням розроблених законів управління.

#### **1.5 Висновки за розділом**

В даний час вже ведуться розробки комплексів для управління рухом мультикоптерів за допомогою мобільних пристроїв, однак, більшість із них носить аматорський характер.

При розгляді окремої бортової частини слід зазначити, що існують готові комерційні рішення плат управління польотом. Серед реалізованих можливостей представлені алгоритми стабілізації по кутах, а також стабілізація в точці на основі даних датчиків геолокації. Недоліком подібних рішень є висока вартість та низька точність визначення положення у просторі, помилка яких сягає десятків метрів.

Це і багато інших доказів свідчать про те, що тема розробки систем автоматичного управління для БПЛА мультироторного типу більш ніж актуальна на сучасному етапі.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми керування

Враховуючи аналіз системи управління мультироторного БПЛА, проведений у першому розділі дипломного проекту, ми можемо встановити вимоги до системи автоматичного позиціонування.

Це дозволяє створити структурну схему та визначити необхідні функції, які вона повинна виконувати.



Рисунок 2.1 – Структурна схема керування

Основною системою управління квадрокоптером є польотний контролер. Його головна роль полягає в забезпеченні стабільного руху і регулюванні безпілотного літаючого апарата. Польотний контролер отримує вхідні параметри руху, які задає оператор, і порівнює їх з даними, що надходять від датчиків. За допомогою цих даних контролер здійснює розрахунки і генерує сигнали управління, які передаються до блоку мехатроніки, включаючи блок двигунів. Блок двигунів містить безколекторні двигуни, які через регулятори швидкості

(ESC) зв'язані з польотним контролером. У випадку коптера, в його конструкцію входять чотири двигуни та ESC.

У блоку датчиків знаходяться різноманітні сенсори, які дозволяють визначити положення квадрокоптера у просторі, серед цих датчиків є:

- Трьохосьовий акселерометр;
- Барометр (датчик атмосферного тиску);
- GPS.

Бортовий акселерометр визначає прискорення  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  відповідно до системи координат, що пов'язана з апаратом.

Дані про поточний атмосферний тиск  $\rho$ , які надає барометр, використовуються для визначення висоти  $h$  квадрокоптера.

Основна ціль управління повздовжнім рухом безпілотного літального апарату (БПЛА) полягає в точному позиціонуванні та автоматичному контролі кута нахилу вперед-назад (тангажу) та висоти. При розгляді деталей автоматичного керування тангажем та висотою БПЛА видно, що це управління пов'язане з рухом квадрокоптера навколо поперечної осі (зміна кута тангажу), зміною швидкості обертання і зміною горизонтальної швидкості.

Крім позиціонування кутових рухів і висоти, в багатьох випадках також потрібно підтримувати швидкість польоту, яка також впливає на зміну висоти. Управління швидкістю польоту на квадрокоптері здійснюється за допомогою тих самих органів керування, що й управління кутом тангажа.

## **2.2 Розробка структурної схеми пульта керування**

У якості засобу управління квадрокоптером використовується спеціальний програмний додаток, який доступний на мобільних пристроях з операційною системою Windows OS. Цей додаток має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, забезпечений сенсорним екраном, що дозволяє оператору вводити команди і керувати квадрокоптером. Для безперервного зв'язку з квадрокоптером використовується модуль бездротового зв'язку стандарту UART.



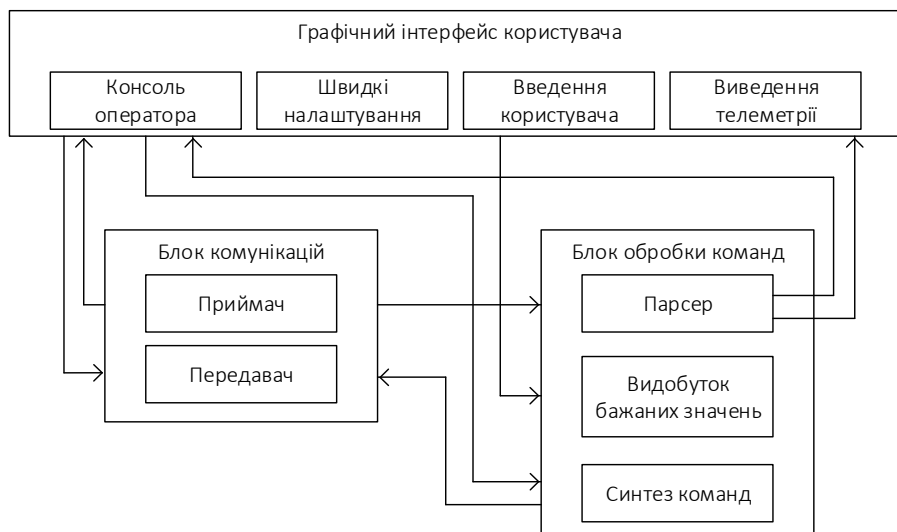


Рисунок 2.2 – Структурна схема пульта керування

Додаток комплексу, включає три блоки:

- Блок графічного інтерфейсу користувача (GUI);
- Блок комунікації;
- Блок обробки команд.

Користувач керує квадрокоптером за допомогою графічного пульта керування, що має форму "джойстика". Пульт має два важелі управління: лівий і правий. Лівий важіль відповідає за вертикальне переміщення квадрокоптера вздовж осі  $OZ$  (висота) і поворот навколо цієї осі (кут рискання). Правий важіль відповідає за горизонтальне переміщення квадрокоптера в площині  $OXY$  (рух уперед/назад, вліво/вправо). Програмно ці дані можуть бути інтерпретовані у двох режимах, відповідно до встановлених параметрів:

1. Режим завдання певних кутів орієнтації;
2. Режим переслідування уявної точки.

У першому режимі роботи програмного додатка, користувач задає бажані кути орієнтації та вертикальну швидкість, як керуючі команди, які передаються бортовій системі. При переключенні в другий режим, програма обчислює координати уявної точки у рухомій системі координат. Уявна точка визначається як точка в просторі, до якої потрібно перемістити центр мас квадрокоптера. В цьому випадку керуюча команда формується на основі бажаного кута рискання та координат уявної точки.

## 2.3 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

### 2.3.1 Вибір датчиків

Для вимірювання тиску будемо використовувати датчик тиску серії HP206F з діапазоном вимірювання 300 мбар ~ 1200мбар

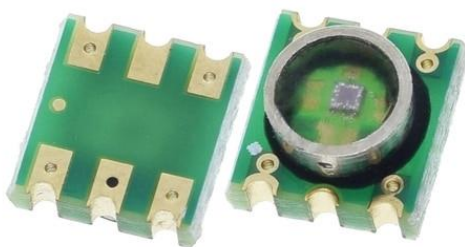


Рисунок 2.3 – Датчик тиску серії HP206F

Таблиця 2.1 – Технічні параметри датчика тиску серії HP206F

№	Найменування параметра	Значення
1	Діапазон вимірювання	300-1200 hPa
2	Точність	±1.0 hPa
3	Інтерфейс зв'язку	I2C або SPI
4	Напруга живлення	2.2 – 3.6 В
5	Робоча температура	-40°C до +85°C

GPS-приймач дає можливість одержання координат за допомогою системи глобального позиціонування.



Рисунок 2.4 – GPS Приймач GY-GPS6MV2

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики GPS GY-GPS6MV2

№	Найменування параметра	Значення
1	Чіпсет	u-blox NEO-6M
2	Кількість каналів	50
3	Чутливість	161 дБм
4	Швидкість оновлення даних	До 10 Гц
5	Протоколи комунікації	UART (серійний порт)
6	Вхідне напругове зміщення	3.3 В
7	Робоча температура	40°C до +85°C

Для визначення положення у просторі використаємо акселерометр MPU-6050 GY-521



Рисунок 2.5 - Триосьовий акселерометр MPU-6050 GY-521

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики триосьового акселерометра MPU-6050 GY-521

№	Найменування параметра	Значення
1	Інтерфейс зв'язку	u-blox NEO-6M
2	Напруга живлення	3.3 В або 5 В
3	Роздільна здатність	16384 LSB/g
4	Частота оновлення	До 1 кГц
5	Вбудовані функції	Детектор руху, температурний сенсор
6	Споживання енергії	3.9 мА
7	Робоча температура	40°C до +85°C

Для прийому та передачі сигналу керування будемо використовувати радіомодуль WSN-31

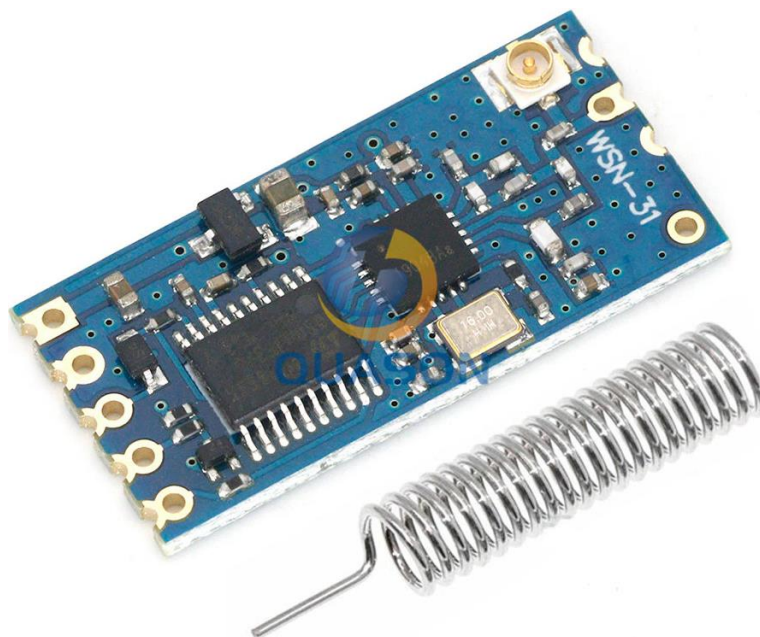


Рисунок 2.6 – Радіомодуль WSN-31

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики радіомодуля WSN-31

№	Найменування параметра	Значення
1	Частотний діапазон	433 МГц
2	Максимальна вихідна потужність	До 10 мВт
3	Інтерфейс зв'язку	Серійний порт (RS-232 або TTL)
4	Модуляція	GFSK, MSK, OOK
5	Швидкість передачі даних	До 500 кбіт/с
6	Чутливість прийому	-116 дБм
7	Вхідна напруга	1.8 В - 3.6 В
8	Підтримувані протоколи	IEEE 802.15.4, ZigBee, RF4CE, ISM, Wireless M-Bus, та інші
9	Підтримка шифрування	AES-128

### 2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для приведення у рух та керування польотом БПЛА використовуються 4 безколекторні мотори Qx-Motor QF3027 2200KV



Рисунок 2.7 – Безколекторний мотор Qx-Motor QF3027 2200KV

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики безколекторного мотору Qx-Motor QF3027 2200KV

№	Найменування параметра	Значення
1	Модель	QF3027: 2200KV
2	Напруга живлення	2S-4S LiPo
3	Максимальна потужність	150W
4	Максимальний струм	18A
5	Максимальна ефективність	80%
6	Рекомендований регулятор швидкості	20A-30A

### 2.3.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування візьмемо програмований мікроконтролер на базі PIC32. Відповідає за координацію, стабілізацію і власне керування.



Рисунок 2.8 – Мікроконтролер Microchip PIC32MX795F512L

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики мікроконтролера Microchip PIC32

№	Найменування параметра	Значення
1	Архітектура	32-бітна RISC
2	Кількість ядер	1
3	Вбудована флеш-пам'ять	512 КБайт
4	Частота роботи	До 80 МГц
5	Оперативна пам'ять (RAM)	128 КБайт
6	Кількість пінів	100
7	Кількість аналогових входів	До 16 каналів 10-бітного АЦП
8	Кількість таймерів	До 6 таймерів
9	Інтерфейси зовнішніх пристроїв	CAN, SPI, I2C, UART, USB, Ethernet та інші
10	Напруга живлення	3.3 В

За контроль швидкості відповідає контролер V-Good A-32 32Bit Airplane ESC 100A



Рисунок 2.9 – Контролер швидкості V-Good A-32 32Bit Airplane ESC 100A

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики контролера швидкості V-Good A-32 32Bit

№	Найменування параметра	Значення
1	Безперервний струм	100 А
2	Піковий струм	120 А
3	Тип мотора	Безколекторний (Brushless)
4	Вага	86 г
5	Інтерфейси	3-пінний роз'єм
6	Напруга	5 В / 3 А



### 2.3.4 Вибір джерела живлення

У якості джерела живлення обрано блок живлення зроблений з акумуляторних осередків LiFePO<sub>4</sub>



Рисунок 2.10 – Акумуляторний осередок LiFePO<sub>4</sub>

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики блока живлення

№	Найменування параметра	Значення
1	Вихідна напруга	3.7 В
2	Об'єм	24 Аг
3	Тип струму	Постійний
4	Напруга	16.8 В
5	Максимальний струм	40 А

### 2.4 Розробка функціональної схеми актоматизації

Виходячи з вимог до системи керування було розроблено функціональну схему автоматизації, яка наведена на рисунку 2.11

Для керування регулятором потужності використовується програмований логічний контролер Microchip PIC32MX795F512L. Цей контролер отримує значення з датчиків і на їх основі генерує керуючі впливи для забезпечення потрібного режиму роботи електродвигунів.

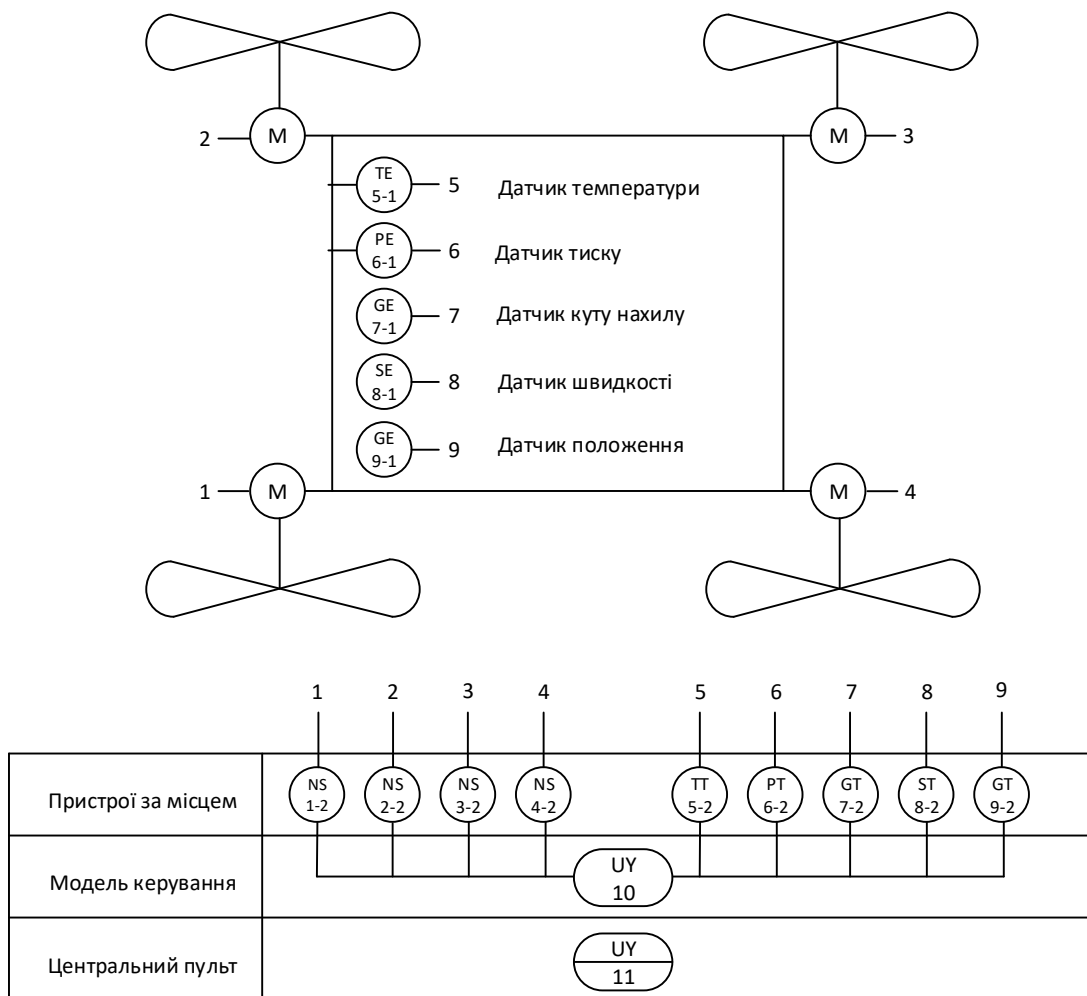


Рисунок 2.11 - Функціональна схема автоматизації

## 2.5 Розробка електричної принципової схеми

Після вибору апаратного забезпечення, можна перейти до опису структурної схеми керуючого обчислювача. Структурна схема включає з'єднання обраних блоків відповідно до функціональної схеми. На рисунку 2.12 наведено структурну схему розробленого пристрою.

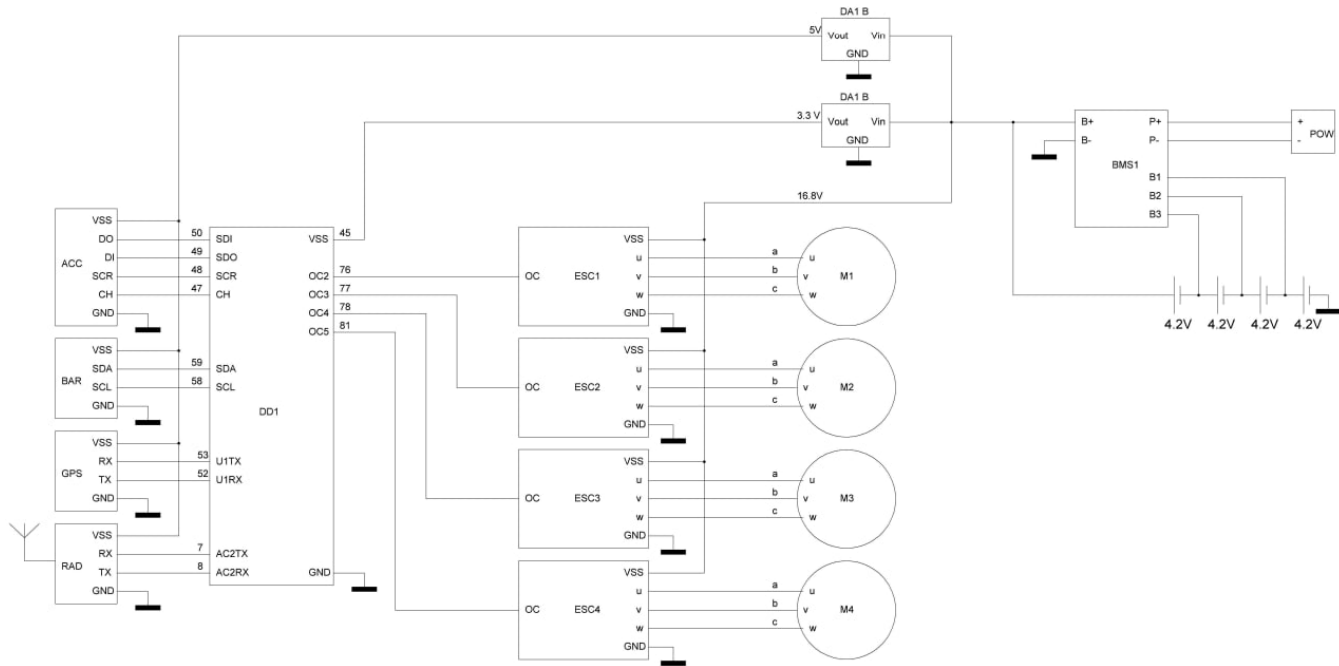


Рисунок 2.12 – Електрична принципова схема керування

## **2.6 Висновки за розділом**

У даному розділі було проведено вибір апаратно-програмних засобів для створення підсистеми автоматизації.

Була розроблена функціональна схема, яка відображає основні функції та зв'язки між компонентами системи. Також була створена принципова схема керування, яка визначає логіку роботи системи та взаємодію зі зовнішніми пристроями. Для керування системою була розроблена принципова схема пульта керування, яка включає необхідні елементи для передачі сигналів та взаємодії з контролером. В результаті був складений перелік елементів, які входять до складу електричної принципової схеми, зокрема датчики, мікроконтролер та інші компоненти.

Всі ці кроки сприяють створенню повноцінної системи автоматизації з визначеними функціями та засобами керування.

## 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 3.1 Розробка математичної моделі

Початковим етапом розробки системи керування є створення математичної моделі, яка враховує вплив сил, що діють на об'єкт керування, та використовує технічні параметри обраної комплектуючої. Ця модель дозволяє отримати передатну функцію системи керування.

Безпілотний літальний апарат, як об'єкт у тривимірному просторі, має можливість рухатися незалежно по шести основних напрямках, це означає, що їх рух може бути описаний шістьма диференціальними рівняннями, відомими як рівняння Ейлера. Ці рівняння дозволяють визначити характер руху коптера в будь-який момент часу і забезпечити його стійкість. Проте безпосереднє вирішення цих рівнянь є складним завданням, навіть з використанням потужних обчислювальних пристроїв.

Якщо дрон летить прямолінійно в статичному режимі і майже не відхиляється від початкових параметрів руху, то можна скористатися симетрією квадрокоптера. Це дозволяє розділити систему з шести рівнянь руху на дві незалежні системи рівнянь. рух дрона вздовж площини симетрії (вперед/назад), а інші дві описують рух дрона у двох інших площинах (ліво/право та вгору/вниз). Це спрощує аналіз руху коптера та вирішення відповідних рівнянь.

Для точного визначення положення і руху квадрокоптера використовуються різні системи координат, такі як інерціальні (глобальна система координат), земні (географічна система координат) системи та рухомі системи координат. Вибір певної системи координат залежить від завдання, що стоїть перед нами, і особливостей проблеми, яку ми намагаємося вирішити.

У фіксованій або нормальній земній системі координат ( $O_zX_zY_zZ_z$ ), початок координат ( $O_z$ ) розташований на поверхні Землі, а осі зберігають своє положення щодо неї. Ось  $O_zX_z$  спрямована вертикально вгору, вздовж напрямку сили

тяжіння. Осі  $OzYz$  і  $OzZz$  знаходяться в горизонтальній площині і утворюють праву прямокутну декартову систему координат.

У пов'язаній або рухомій системі координат ( $O_bX_bY_bZ_b$ ), яка пов'язана з тілом дрону, початок координат ( $O_b$ ) знаходиться в центрі маси БПЛА. Осі  $X_bY_bZ_b$  повернуті відносно осей фіксованої системи координат ( $OzXzYzZz$ ) на кути крена, тангажу і рискання, як показано на рисунку 3.1. Поздовжня вісь  $O_bX_b$  знаходиться в площині симетрії дрону і спрямована від хвостової частини до носової. Нормальна вісь  $O_bY_b$  також знаходиться в площині симетрії дрону і спрямована вгору. Поперечна вісь  $O_bZ_b$  перпендикулярна площині симетрії дрону.

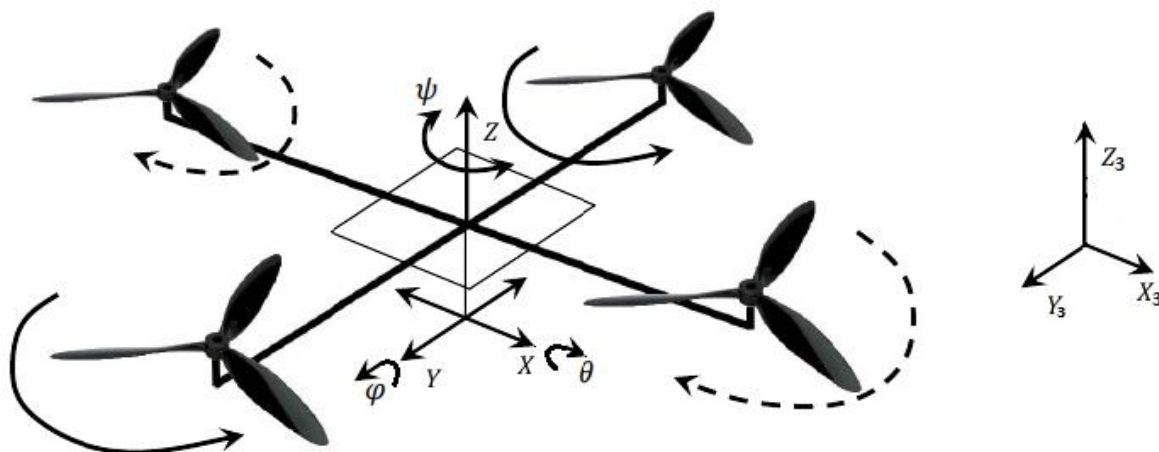


Рисунок 3.1 – Система координат БПЛА

Дрон відхилюється відносно нерухомої системи на кути, які називаються кутами Ейлера. Ці кути позначаються як  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ .

Кут крену  $\varphi$  визначається як кут між поперечною віссю  $O_bZ_b$  та нормальною віссю  $OzZz$ , коли кут рискання  $\theta$  дорівнює нулю. Позитивне значення кута крену означає, що зміщена вісь  $OzZz$  повернута в напрямку поперечної осі поворотом за годинниковою стрілкою, якщо дивитися в напрямку цієї осі.

Кут тангажу  $\theta$  визначається як кут між поздовжньою віссю  $O_bY_b$  та горизонтальною площиною  $OzXzZz$  нормальної системи координат. Позитивне

значення кута тангажу вказує на те, що поздовжня вісь знаходиться вище горизонтальної площини  $OzXzZz$ .

Кут рискання  $\psi$  визначається як кут між віссю  $OzZz$  нормальної системи координат та проекцією поздовжньої осі  $ObXb$  на горизонтальну площину  $OzXzZz$ . Позитивне значення кута рискання вказує на те, що вісь  $OzXz$  повернута за годинниковою стрілкою, якщо дивитися в напрямку осі  $OzYz$ .

У процесі руху дрону як твердого тіла у просторі, його центр мас здійснює переміщення відносно Землі. Для повного опису положення дрону в просторі під час поступального руху можна описати за допомогою трьох параметрів: широта ( $\Phi$ ), довгота ( $L$ ) і висота ( $H$ ). Ці параметри вказують на місцезнаходження дрону відносно географічних координат Землі.

У додаток до руху у прямолінійній лінії, БПЛА також здійснює обертальний рух відносно Землі, що означає рух коптера навколо його центру маси. Цей обертальний рух дозволяє дрону змінювати свою орієнтацію та напрямок.

Отже, для повного опису просторового положення квадрокоптера потрібно враховувати шість параметрів: пройдену відстань ( $L$ ), бічне відхилення ( $\delta$ ), висоту ( $H$ ), а також кути рискання ( $\psi$ ), тангажу ( $\theta$ ) і крену ( $\varphi$ ). Ці параметри визначають рух дрона в тривимірному просторі і дозволяють точно визначити його положення і орієнтацію.

Для переходу між системами координат використовуються матриці обертання. Модель Ньютона-Ейлера пояснює процес обертання дрона. Матриці обертання  $R_x$ ,  $R_y$  та  $R_z$  використовуються для визначення руху дрона відносно фіксованої системи координат відносно рухомої системи координат.

Узагальнена матриця обертання представлена рівнянням:

$$R = R_x \cdot R_y \cdot R_z;$$

$$R = \begin{bmatrix} S_\theta S_\varphi S_\psi + C_\theta C_\psi & C_\varphi S_\psi & C_\theta S_\varphi S_\psi - S_\theta C_\psi \\ S_\theta S_\varphi C_\psi - C_\theta S_\psi & C_\theta C_\varphi & C_\theta S_\varphi C_\psi + S_\theta S_\psi \\ S_\theta C_\varphi & -S_\varphi & C_\theta C_\varphi \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

де  $R$  – матриця повороту навколо осі  $Z$ ;

$S = \sin$  – синус відповідного кута;

$C = \cos$  – косинус відповідного кута.

$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_\varphi & S_\varphi \\ 0 & -S_\varphi & C_\varphi \end{bmatrix}; R_Y = \begin{bmatrix} C_\theta & 0 & -S_\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ S_\theta & 0 & C_\theta \end{bmatrix}; R_Z = \begin{bmatrix} C_\psi & S_\psi & 0 \\ -S_\psi & C_\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Отже, матриці обертання  $R_x$ ,  $R_y$  та  $R_e$  дозволяють визначати рухи квадрокоптера відносно землі в будь-який момент часу. Це допомагає контролювати правильність роботи вимірювальних систем, що встановлені на борту БПЛА.

Позначимо матрицю перетворення кутових швидкостей з абсолютної системи координат в рухому як:

$$W_\eta = \begin{bmatrix} 1 & S_\varphi T_\theta & C_\varphi T_\theta \\ 0 & C_\varphi & -S_\varphi \\ 0 & \frac{S_\psi}{C_\theta} & \frac{C_\psi}{C_\theta} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

де  $T\theta = \tan(\theta)$ .

Матриця  $W_\eta$  обернена при  $\theta \neq (2k-1) \frac{\pi}{2}$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ .



### 3.2 Розробка законів керування

Для досягнення заданої точки простору із певним кутом рискання, потрібно розробити закон управління, який здійснює перехід літального апарату з поточного положення  $Pc$  ( $x_c, y_c, z_c$ ) з кутом рискання  $\psi_c$  до бажаного положення  $Pd$  ( $x_d, y_d, z_d$ ) з кутом рискання  $\psi_d$ .

Для створення закону управління використовуються оброблені та попередньо обчислені дані, які були піддані фільтрації:

- швидкості  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ ,
- поточне положення  $x, y, z$ ,
- кутові швидкості  $\dot{\varphi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}$ ,
- кути орієнтації  $\varphi, \theta, \psi$ .

Для забезпечення стабілізації квадрокоптера по кутах нахилу та висоті застосовуються методи пропорційно-інтегрально-диференційного (ПІД) регулювання. Враховуючи, що компоненти барометра інерції  $I$  квадрокоптера вважаються приблизно відомими, керуючі моменти відповідно до кутів обчислюються за певними формулами:

$$\begin{aligned}\tau_{\varphi} &= \left( k_{\varphi,d}(\dot{\varphi}_d - \dot{\varphi}) + k_{\varphi,p}(\varphi_d - \varphi) \right) I_y \\ \tau_{\theta} &= \left( k_{\theta,d}(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + k_{\theta,p}(\theta_d - \theta) \right) I_x, \\ \tau_{\psi} &= \left( k_{\psi,d}(\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) + k_{\psi,p}(\psi_d - \psi) \right) I_z\end{aligned}\tag{3.4}$$

де  $k_{\varphi,d}, k_{\varphi,p}, k_{\theta,d}, k_{\theta,p}, k_{\psi,d}, k_{\psi,p}$  - постійні речові числа, обрані з урахуванням стійкості положення рівноваги замкнутої системи.

У цьому законі мається на увазі, що загальна тяга повинна компенсувати силу тяжіння:  $T = mg$ .

З рівнянь виводяться такі вирази:

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= \sqrt{\frac{T}{4k} - \frac{\tau_\varphi}{4kl} + \frac{\tau_\theta}{4kl} + \frac{\tau_\psi}{4b}} \\
 \omega_2 &= \sqrt{\frac{T}{4k} - \frac{\tau_\varphi}{4kl} - \frac{\tau_\theta}{4kl} - \frac{\tau_\psi}{4b}} \\
 \omega_3 &= \sqrt{\frac{T}{4k} + \frac{\tau_\varphi}{4kl} - \frac{\tau_\theta}{4kl} + \frac{\tau_\psi}{4b}} \\
 \omega_4 &= \sqrt{\frac{T}{4k} + \frac{\tau_\varphi}{4kl} + \frac{\tau_\theta}{4kl} - \frac{\tau_\psi}{4b}}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Підставивши вираховані значення, зазначені у формулі (3.4), в формулу (3.5), отримуються кутові швидкості електромоторів, які необхідні для літального апарату.

Алгоритм управління для досягнення заданої точки  $Pd(x_d, y_d, z_d)$  з кутом ризику  $\psi_d$  з поточного положення  $Pc(x_c, y_c, z_c)$  з кутом ризику  $\psi_c$  може бути описаний наступними кроками:

- обчислення бажаних прискорень  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$ ,
- обчислення бажаних кутів орієнтації  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  та загальній тазі  $T$ ;
- використання закону стабілізації за кутами нахилу.

Розглянемо детальніше кожен крок.

Обчислення бажаних прискорень. На цьому етапі генеруються прискорення  $\ddot{x}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\ddot{z}$ , які призводять до досягнення бажаного положення  $Pd$  у кожний момент часу  $t$ . Для обчислення цих прискорень також використовується регулятор, що базується на пропорційній та диференціальній дії:

$$\begin{aligned}
 \ddot{\tilde{x}} &= \left( k_{x,d}(\dot{x}_d - \dot{x}) + k_{x,p}(x_d - x) \right) \\
 \ddot{\tilde{y}} &= \left( k_{y,d}(\dot{y}_d - \dot{y}) + k_{y,p}(y_d - y) \right) \\
 \ddot{\tilde{z}} &= \left( k_{z,d}(\dot{z}_d - \dot{z}) + k_{z,p}(z_d - z) \right)
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

де  $k_{x,d}$ ,  $k_{x,p}$ ,  $k_{y,d}$ ,  $k_{y,p}$ ,  $k_{z,d}$ ,  $k_{z,p}$  - постійні речові числа, обрані з урахуванням стійкості положення рівноваги замкнутої системи.

При обчисленні бажаних кутів орієнтації та загальної тяги враховується умова, що досягнення цими значеннями забезпечить відповідні бажані прискорення у поточний момент часу.

З математичної моделі слідує:

$$\begin{aligned}\tilde{\varphi} &= \frac{(C_{\psi_d} \tilde{x} + S_{\psi_d} \tilde{y})}{g} \\ \tilde{\theta} &= \frac{(S_{\psi_d} \tilde{x} - C_{\psi_d} \tilde{y})}{g} \\ \tilde{T} &= m(\tilde{z} + g)\end{aligned}\tag{3.7}$$

Застосування закону стабілізації за кутами нахилу має на меті досягнення встановлених значень кутів тангажу (переднього нахилу)  $\varphi$ , крену (бокового нахилу)  $\theta$  і кінцевого кута ризику (повороту навколо вертикальної осі)  $\psi_d$ .

Розроблений алгоритм є розв'язком задачі приведення квадрокоптера в задану точку з визначеним кутом ризику в кожний момент часу  $t$ .

### 3.3 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Для визначення параметрів об'єкту було використано пакет прикладних програм для технічних обчислень. В якості робочого середовища для проведення експерименту було обрано графічне середовище імітаційного моделювання Simulink. На рисунку 3.5 представлені результати цього моделювання.

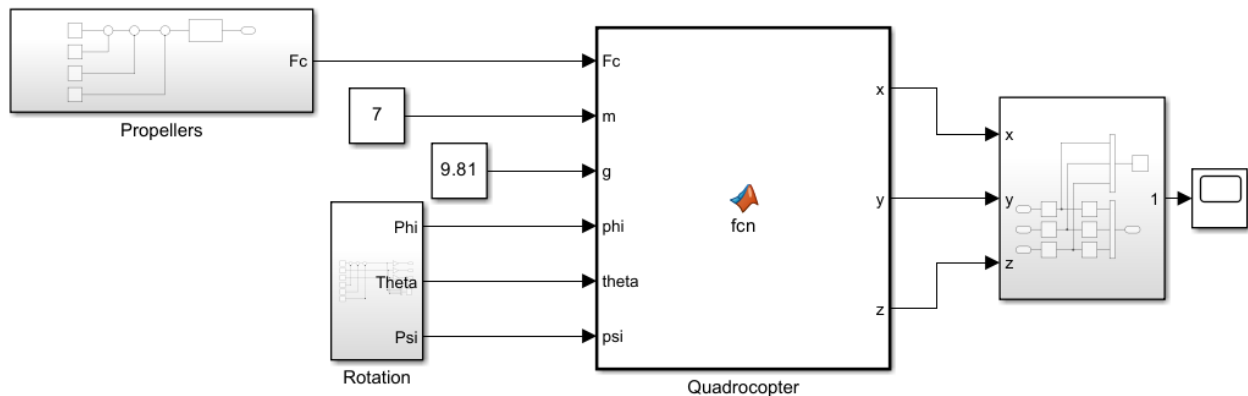


Рисунок 3.5 – Схема Simulink моделі

У лівій частині моделі розміщені вхідні дані для функціонального блоку "Quadrocopter". В цьому блоку проводяться розрахунки прискорення, використовуючи блок "Propellers" для розрахунку сил пропелерів і блок "Rotation" для задання кута нахилу для переміщення у просторі. Додатково використовуються дві константи - сила земного тяжіння (9.81) і маса квадрокоптера.

На виході з блоку "Quadrocopter" отримуємо три елементні вектори прикладених сил та прикладних моментів. Ці вектори є вихідними даними моделі і використовуються для визначення швидкостей і положення квадрокоптера по вісям.

Подальші дані з блоку "Quadrocopter" передаються до блоку "Subsystem", де відбувається перетворення прискорення на координати для відстеження положення квадрокоптера.

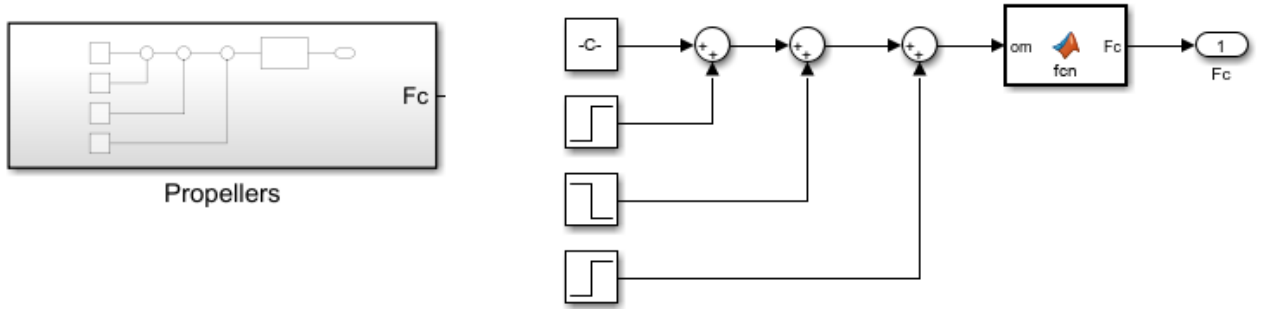


Рисунок 3.6 – Модель блоку Propellers

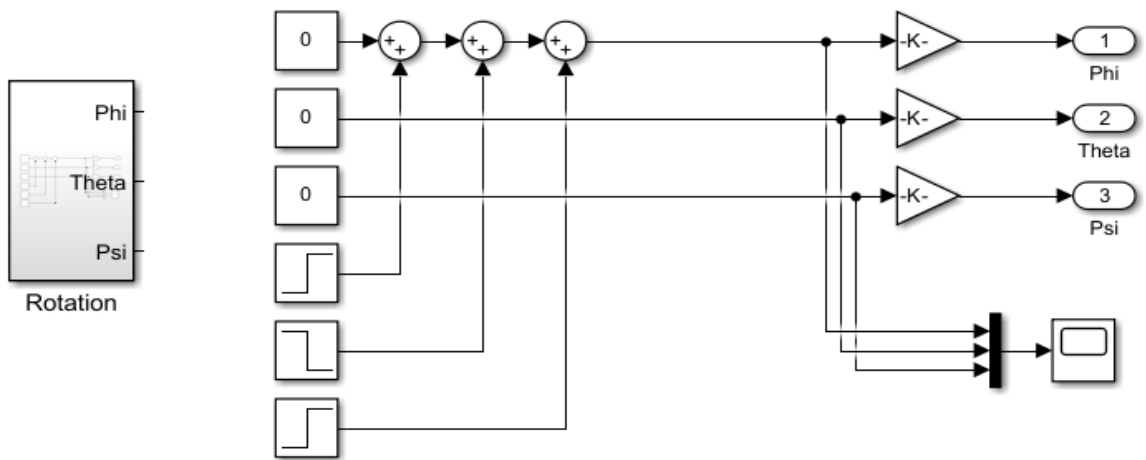


Рисунок 3.6 – Модель блоку Rotation

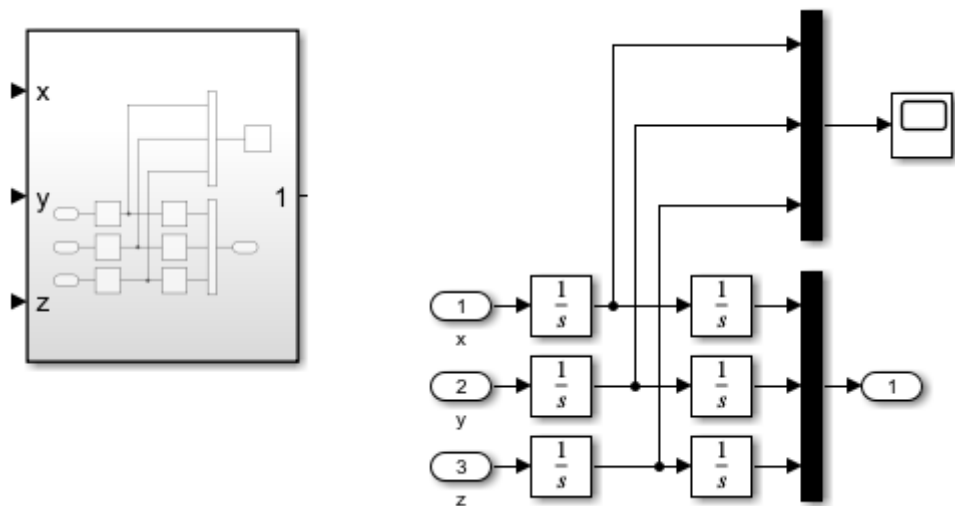


Рисунок 3.7- Модель блоку Subsystem

### 3.4 Виконання експерименту

Далі розглянемо графіки, що відображають динаміку руху літального апарату із застосуванням закону управління для приведення квадрокоптера в певну точку простору.

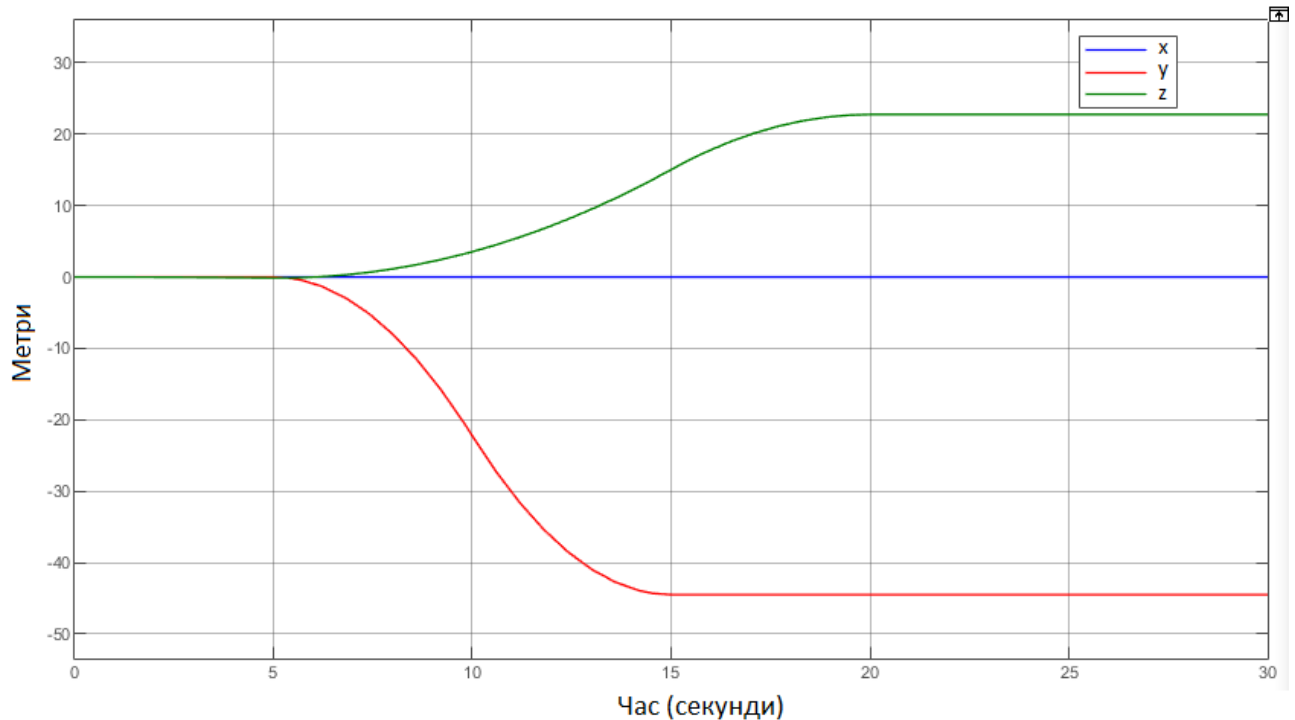


Рисунок 3.2 – Положення центра мас коптера під час приведення до певної точки простору

Як сигнал оператора виступає наступна послідовність команд: при часі симуляції  $t = 5$ с задається координата  $z = 23$ м, задається  $x = 0$ м та задається координата  $y = 42$ м. Зрештою квадрокоптер має стабілізуватися у точці  $P(0, 42, 23,)$  що відповідає руху коптера в праву сторону з підйомом.

Згідно з графіком положення центру мас літального апарату (рис. 3.2), регулятор виконує покладену на нього функцію, та весь перехідний процес з урахуванням хронологічних зрушень займає близько 20 секунд.

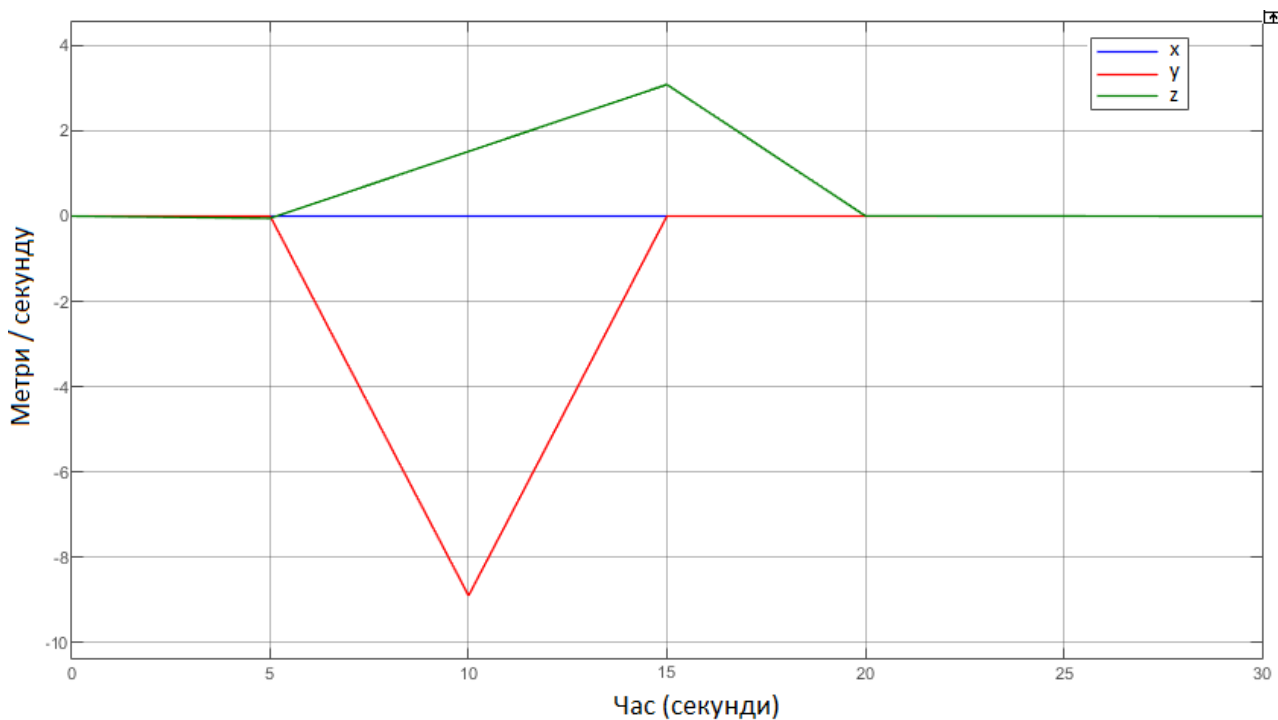


Рисунок 3.3 – Динаміка зміни швидкості коптера

У ході спостереження за квадрокоптером під час зміни його позиції в просторі можна виявити його динаміку зміни швидкості, яка відображається в залежності від вказаної точки, заданої сигналом оператора.

Цей процес зміни швидкості можна побачити на рисунку 3.3.

На графіку можна спостерігати, як квадрокоптер плавно набирає швидкість з 5-ої секунди по вісі  $y$ , досягаючи значення 8,5 м/с до 10-ої секунди, після чого починається сповільнення з метою стабілізації.

По вісі  $z$  спостерігається прискорення, яке триває 10 секунд, з 5-ої секунди до 15-ої секунди, збільшуючи швидкість до 3 м/с, після чого починається сповільнення для досягнення стабілізації у точці.

### 3.5 Висновки за розділом

В результаті проведеного дослідження можна зробити наступні корисні висновки. Для забезпечення руху безпілотного літаючого апарата по заданому вектору необхідно знайти відповідний вектор обертання, який співпадатиме з заданим напрямком. В нашій роботі ми використали модель Simulink для моделювання процесу керування, а також провели необхідні розрахунки. За допомогою обертання двигунів ми змогли досягти бажаного руху коптера.

Даний висновок підкреслює значення використання математичних моделей, таких як модель Simulink, для дослідження та аналізу процесу керування. Такий підхід дозволяє визначити оптимальні параметри системи керування та забезпечити бажаний рух об'єкта. Додатковою перевагою є можливість використання отриманої моделі для розробки програмного забезпечення системи керування безпілотного літаючого апарата.

При подальшому вдосконаленні моделі рекомендується зосередитися на аналізі впливу збурень на систему керування. Це дозволить покращити точність і стабільність руху апарата в умовах реального середовища.



## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи

Впровадження системи керування процесом польоту безпілотного літаючого апарата (БПЛА) має значний техніко-економічний потенціал і може принести численні переваги. Основні аспекти техніко-економічного обґрунтування впровадження такої системи включають:

**Зниження ризиків та покращення безпеки:** Автоматична система керування може уникнути помилок, що виникають внаслідок людського фактору. Це знижує ризик аварій та нещасних випадків, що можуть призвести до втрати життя та матеріальних збитків. Крім того, БПЛА можуть виконувати роботу в небезпечних або важкодоступних місцях, де присутність людей є небезпечною.

**Економія витрат:** Впровадження системи автоматичного керування може призвести до зниження витрат на оплату праці, оскільки необхідність наявності пілотів відпадає. Крім того, автоматизований процес керування дозволяє оптимізувати рухові маневри та економити енергію.

**Масштабованість та гнучкість:** Системи автоматичного керування можуть бути легко масштабовані та адаптовані до різних типів БПЛА та вимог конкретної галузі. Це дозволяє використовувати єдину систему керування для різних моделей БПЛА та забезпечує більшу гнучкість у використанні.

### 4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням автоматизованої системи керування. Визначення проектних капітальних витрат виконується відповідно до:

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

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

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

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

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

$K_{ПЗ}$  – 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	103,00	103,00
10	GPS модуль NEO-6N-0-001	од.	1	180,00	180,00
11	Барометр HP206F	од.	1	165,00	165,00
12	MPU-6050 3-х осьовий гіроскоп	од.	1	110,00	110,00
13	FPV система	од.	1	2 000,00	2 000,00
	Разом				30 009,80

Вартість основного та допоміжного обладнання:  $C_{ОБ} = 30\,009,80$ (грн.)

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

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

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 30\,009,80 \cdot 0,08 = 2\,400,784(\text{грн.})$$

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

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

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 30\,009,80 \cdot 0,07 = 2\,100,68(\text{грн.})$$

### 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 витрати 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:

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

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:

$$t_n = \frac{Q}{(20...25) \cdot k} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

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

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_H = \frac{Q}{(4...5) \cdot k} \quad (4.9)$$

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:

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

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

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

### 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 ( $C_{\text{ПР}} = 100$  (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 ( $C_{\text{МЧ}} = 14$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

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

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.)).

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

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 30\,009,80 + 2\,356,14 + 2\,061,63 + 7939,40 = 42\,366,97 \text{ (грн.)}$$

#### 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 групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний 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:

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

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = \frac{41\,808,97 \cdot 33\%}{100\%} = 13\,936,32 \text{ (грн.)}$$

#### 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 БПЛА 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

$$C_3 = 370\,392,00 \text{ (грн.)}$$

#### 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:

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

#### 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:

$$C_{PO} = 41\,808,97 \cdot 5\% = 2\,090,45 \text{ (грн.)}$$

#### 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.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

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

#### 4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 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), (таблиця 4.3):

$$C_e = 13\,936,32 + 370\,392,00 + 81\,486,24 + 2\,090,45 + 4\,589,65 \\ + 14\,815,68 = 487\,310,34 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.3 – Експлуатаційні витрати

Назва показника	Сума, грн.
1. Амортизація	13 936,32
2. Фонд заробітної плати	370 392,00
3. Відрахування на соціальні виплати	81 486,24
4. Ремонт та технічне обслуговування	2 090,45
5. Електроенергія	4 589,65
6. Інше	14 815,68
Загалом	487 310,34

#### **4.5 Висновки за розділом**

У процесі впровадження запропонованої системи керування, були розраховані капітальні витрати на суму 42 366,97 грн. Ці витрати охоплюють витрати на придбання необхідного обладнання, розробку програмного забезпечення, встановлення системи та інші пов'язані з впровадженням витрати.

Крім того, були також розраховані річні експлуатаційні витрати, що складають 487 310,34 грн на рік. Ці витрати включають витрати на підтримку системи, обслуговування, оновлення програмного забезпечення, оплату праці персоналу та інші витрати, пов'язані з експлуатацією системи протягом року.

Таким чином, впровадження системи керування вимагає певних капітальних витрат на початкову реалізацію проекту, а також регулярних річних витрат на підтримку та експлуатацію системи. Ці витрати варто враховувати при оцінці ефективності та доцільності впровадження системи керування процесом польоту БПЛА.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів LiFePO<sub>4</sub> акумулятора

Небезпечні та шкідливі фактори LiFePO<sub>4</sub> акумулятора включають оцінку потенційних ризиків та небезпек, пов'язаних з його використанням. Нижче розглянемо деякі з них:

- Висока напруга: LiFePO<sub>4</sub> акумулятори працюють на високих рівнях напруги, що може створювати ризик ураження електричним струмом. Неправильне поводження або пошкодження акумулятора може призвести до виникнення короткого замикання або витoku електричного струму.
- Теплові процеси: Під час роботи акумулятора можуть виникати теплові процеси, особливо при високих струмах розряду або заряду. Це може спричинити нагрівання акумулятора та потенційно спричинити пожежу або пошкодження.
- Викиди газу: При певних умовах, таких як перезарядка або перенапруження акумулятора, можуть виділятися гази, включаючи літій, фосфор і оксид вуглецю. Ці гази можуть бути шкідливими для здоров'я, а також утворювати вибухонебезпечні середовища.
- Ризик пожежі: Пошкодження або неправильне використання може призвести до пожежі. Висока енергетична щільність LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів робить їх вразливими до внутрішніх коротких замикань або зовнішніх пошкоджень, що може спричинити вибух або загоряння.
- Механічні пошкодження: Падіння, удари або недбале поводження можуть спричинити його пошкодження. Розрив або прокол обгортки акумулятора може призвести до викиду матеріалів, вибуху або пожежі.
- Токсичні матеріали: LiFePO<sub>4</sub> акумулятори містять речовини, які можуть бути токсичними або шкідливими для здоров'я людини при контакті або неправильній утилізації.

Для забезпечення безпеки використання LiFePo<sub>4</sub> акумулятора в дроні необхідно вживати наступні заходи:

- Забезпечення належного навчання та інструктажу персоналу щодо правил безпеки при роботі.
- Встановлення захисних механізмів, таких як захист від короткого замикання, перенапруження, перевантаження та перезарядки.
- Використання відповідного обладнання та аксесуарів для безпечного заряджання та підключення.
- Ретельний контроль за станом акумулятора, періодична перевірка на пошкодження та заміна в разі необхідності.
- Використання належних систем вентиляції та розташування акумулятора в безпечному місці.
- Правильна утилізація та відповідне поводження з використаними акумуляторами.

Важливо ретельно дотримуватись встановлених правил та процедур безпеки при роботі з LiFePo<sub>4</sub> акумулятором в квадрокоптері для забезпечення безпеки персоналу та запобігання потенційним небезпекам.

## **5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

Інженерно-технічні заходи з охорони праці для LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів включають ряд заходів, спрямованих на забезпечення безпеки персоналу та запобігання небезпекам, пов'язаним з їх використанням. Деякі з таких заходів можуть включати:

Конструкційні заходи:

- Використання надійних та високоякісних акумуляторів, які відповідають вимогам безпеки та стандартам.
- Забезпечення належної ізоляції акумулятора для запобігання неправильного контакту з електричними проводами або металевими поверхнями.



Установлювальні заходи:

- Належне розташування акумуляторів у дроні, забезпечуючи належну вентиляцію та тепловий режим.
- Використання надійного кріплення для уникнення пошкоджень акумулятора під час польоту.

Заходи з експлуатації:

- Ретельна перевірка акумулятора перед кожним використанням, виявлення можливих пошкоджень, таких як тріщини чи проколи обгортки.
- Забезпечення правильного заряджання та розряду акумулятора відповідно до рекомендацій виробника та стандартів безпеки.
- Захист від перезаряду, перенапруження та короткого замикання шляхом використання спеціальних захисних пристроїв, таких як зарядні контролери та захисні модулі.

Інструктаж та навчання персоналу:

- Забезпечення належного навчання персоналу з правил безпеки, включаючи користування, обслуговування та ремонт акумуляторів.
- Проведення інструктажів щодо процедур дії в непередбачених ситуаціях, включаючи випадки викиду або пожежі.

Ці заходи з охорони праці спрямовані на забезпечення безпеки персоналу та запобігання небезпекам, пов'язаним з використанням LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів в БПЛА.

### **5.3 Пожежна профілактика**

Найбільш ймовірні і основні причини виникнення пожежі акумуляторів включають:

- Перенавантаження: Надмірний струм заряду або розряду може призвести до нагрівання акумулятора та виникнення пожежі. Це може статися через

неправильну настройку зарядного пристрою або використання некомплектного обладнання.

- Коротке замикання: Помилкове замикання контактів або пошкодження електричних проводів може спричинити коротке замикання в акумуляторі, що призведе до генерації великого тепла та виникнення пожежі.
- Механічні пошкодження: Фізичні ушкодження, такі як подряпини, проколи або зіткнення з гострими предметами, можуть пошкодити захисну оболонку акумулятора та призвести до проникнення повітря або вологи, що може викликати пожежу.
- Неправильне заряджання: Використання неправильного зарядного пристрою або неправильні налаштування параметрів заряду можуть спричинити перегрів акумулятора, що може призвести до його вибуху або загоряння.
- Нестабільність батарейного пакета: Недоліки в конструкції або виробництві батарейного пакета можуть спричинити внутрішній короткий замикання, що може призвести до виникнення пожежі.
- Неправильне зберігання: Зберігання акумуляторів у неправильних умовах, таких як висока температура або вологість, може призвести до деградації акумулятора та його потенційного загоряння.

Для запобігання виникненню пожежі з акумуляторами важливо дотримуватись інструкцій виробника, використовувати лише сумісне обладнання та зарядні пристрої, уникати механічних пошкоджень та забезпечити належне зберігання та обслуговування акумуляторів.

## 5.4 Висновки по розділу

У ході дослідження та аналізу питань, пов'язаних з безпекою праці з акумуляторами в контексті використання безпілотних літаючих апаратів, були отримані наступні висновки:

Акумулятори є важливим елементом енергетичної системи БПЛА, які забезпечують живлення його електроніки та приводів. Однак, їх використання пов'язане з певними ризиками та потенційними небезпеками.

Зарядка акумуляторів вимагає дотримання певних безпечних процедур. Недотримання правил зарядки може призвести до перегріву, перезаряду або навіть вибуху акумулятора, що може становити ризик для безпеки персоналу та навколишнього середовища.

Правильне зберігання акумуляторів також є важливим аспектом безпеки. Акумулятори мають бути зберігані в спеціальних контейнерах або упаковках, що запобігають пошкодженням та витоку електроліту.

Регулярна перевірка та обслуговування акумуляторів допомагає виявляти потенційні проблеми та уникнути аварійних ситуацій. Перевірка стану акумуляторів, контроль напруги, температури та інших параметрів може попередити можливі несправності.

Використання захисних пристроїв, таких як системи керування та моніторингу акумуляторів, датчики перегріву та системи пожежогасіння, може значно підвищити рівень безпеки при роботі з акумуляторами.

Необхідно проводити навчання та підготовку персоналу, який працює з акумуляторами, зокрема щодо правильних процедур зарядки, зберігання та обслуговування, а також стосовно дій у випадку аварійних ситуацій.

## ВИСНОВКИ

Актуальність автоматизації процесом керування безпілотними літаючими апаратами при польоті пояснюється сучасними технологічними вимогами та зростаючою потребою у безпечних, ефективних та точних польотних можливостях. Впровадження автоматизованих систем в керуванні безпілотними апаратами під час польоту є необхідним для відповіді на ці вимоги та задоволення потреб різних секторів, включаючи логістику, транспортування, сільське господарство та інші.

Для автоматизації квадрокоптером використовуються апаратно-програмні засоби, які включають функціональну схему автоматизації та принципову схему підсистеми керування. Додатково було розроблено математичну модель дрона, описано його переміщення в просторі та проаналізовано зміну швидкості під час руху. Крім того, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

Розробка та впровадження системи передбачають капітальні витрати в розмірі 42 366,97 грн. Час, необхідний для розробки програмного забезпечення, становить 0,45 місяця. Річні витрати на експлуатацію системи оцінюються на рівні 487 310,34 грн.

У розділі про охорону праці були розглянуті питання, пов'язані з безпекою використання акумуляторних батарей типу LiFePo<sub>4</sub>, а також прийняті відповідні заходи для попередження пожеж.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Методичні рекомендації для студентів бакалаврів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Ткачов В.В., Бубліков А.В., Цвіркун Л.І., Проценко С.М., Бойко О.О., Славинський Д.В., – Д.: «НГУ», 2016.
2. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017.
3. Balas C. Modelling and linear control of a quadrotor. MSc thesis. Cranfield University, 2007.
4. Терпо Luukkonen. Modelling and control of quadcopter. Espoo, 2011.
5. PIC32MX795F512L Datasheet (PDF) - Microchip Technology: веб-сайт URL: <http://surl.li/hwpcg> (дата звернення 02.04.2023).
6. Wikiwand Ейлорові кути: веб-сайт. URL: <https://goo.su/lRYWcQT> (дата звернення 02.04.2023).
7. Fabresse, F. R. et al. Localization and mapping for aerial manipulation based on range-only measurements and visual markers / F. R. Fabresse, F. Caballero, I. Maza // Robotics and Automation (ICRA), 2014.
8. MathWorks HelpCentre : веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/help/index.html> (дата звернення 09.05.2023).
9. Guilherme V. R., Manuel G. O., Francisco R. R., Robust Nonlinear Control for Path Tracking of a Quad-Rotor Helicopter, 2015.
10. Tsach S., Penn D., Levy A. Advanced technologies and approaches for next generation uavs // International congress of aeronautical sciences. — 2002.

**ДОДАТОК А**  
**Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи**

№ рядка	Позначення	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документа	Примітка
1			<b><u>Документація</u></b>			
2						
3	A4	КФІВС.КВР.151.19.11 ПЗА	Пояснювальна записка		ПЗ	
4						
5			<b><u>Графічна частина</u></b>			
6						
7	A2	КФІВС.КВР.151.19.11 Е2	Функціональна схема автоматизації	1	Е2	
8						
9						
10	A2	КФІВС.КВР.151.19.11 Е3	Схема електрична принципова	1	Е3	
11						
12						
13	A4	КФІВС.КВР.151.19.11 ПЕЗ	Перелік елементів	1	ПЕ	
14						
15	A4	КФІВС.КВР.151.19.11 Д	Презентація		Д	
16						
17		КФІВС.КВР.151.19.11 ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
			Підп.	Дата	<b>КФІВС.КВР.151.19.11.ТП</b>	
Зм.	Арк.	№ докум.				
Розробив		Козак		23.02.23	Літ.	Аркуш
П. конс.		Бубліков				1
Н. контр.		Воскобойник				1
					Національний ТУ «Дніпровська Політехніка», ЕТФ, 151-19-1	

## **ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**









ЗАТВЕРДЖЕНО  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему  
«Автоматизація процесів керування процесом польоту безпілотною  
літаючого апарата», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Козак Віталій  
Олександрович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає  
\_\_\_\_\_ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки  
роботи "<https://unichек.com>". Рівень запозичень у роботі складає \_\_\_\_\_ %, 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)