

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інститут (факультет) Комп'ютерні та інформаційні технології  
Кафедра Обчислювальної техніки та програмування  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
Спеціалізація 123.01 Комп'ютерні системи та мережі  
Освітня програма Сучасне програмування, мобільні пристрої та комп'ютерні ігри

До захисту допускаю

Завідувач кафедри

С.Г. Семенов

(ініціали та прізвище)

(підпис, дата)

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Тема роботи: Розробка блоку керування квадрокоптеру з ПД-регулятором

Шифр роботи КІТ-117В.22

(група, номер теми за наказом)

Виконавець Яковлєв В`ячеслав Костянтинівич

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник доц. Мірошніченко Наталія Миколаївна

(посада, прізвище, ім'я, по-батькові)

Харків 2021



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інститут (факультет) Комп'ютерні та інформаційні технології

Кафедра Обчислювальної техніки та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Спеціалізація 123.01 Комп'ютерні системи та мережі

Освітня програма Сучасне програмування, мобільні пристрої та комп'ютерні ігри

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри,

Семенов С.Г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Яковлеву В`ячеславу Костянтиновичу

1. Тема роботи: Розробка блоку керування квадрокоптеру з ПІД-регулятором

Керівник роботи: Мірошніченко Наталія Миколаївна, к.т.н., доц.

затверджена наказом закладу вищої освіти від «16» лютого 2021 року №245СТ

2. Строк подання студентом роботи: червень 2021

3. Вихідні дані до роботи: розробити блок керування квадрокоптером з ПІД-регулятором; контроллер квадрокоптеру повинен дозволяти виконувати напівавтоматичне керування дроном; блок керування побудувати на основі мікроконтролеру ESP8266EX; для передачі команд застосувати бездротову мережу Wi-Fi; забезпечити автоматичний режим вертикального зльоту і посадки (VTOL) з розрахунком поправок до керуючих впливів з використанням ПІД-регулятора; режим зависання (Hover mode) і режим проходження курсу (Course tracking mode) забезпечити в напівавтоматичному режимі з використанням системи регулювання, що заснована на застосуванні стратегії навчання з підкріпленням.

4. Перелік питань, які потрібно розробити у пояснювальній записці: вступ; дослідження теоретичних питань по напрямку розробки; структура і принципи роботи польотного контролеру; створення принципової схеми блоку керування квадрокоптером; створення

алгоритму управління квадрокоптером; безпека життєдіяльності та охорона праці;  
техніко-економічне обґрунтування розробки;  
висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
 презентація – 10 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування			
Охорона праці і навколишнього середовища			
Перевірка на плагіат та здача до репозиторію	Гайдарова С.С.		

7. Дата видачі завдання 15.02.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдання	15.02.21	
2.	Огляд літератури та пошук засобів і технологій для вирішення задачі	16.02-23.02.21	
3.	Аналіз та вивчення наявних аналогів	24.02-13.03.21	
4.	Розробка структурної схеми системи	14.03-01.04.21	
5.	Розробка алгоритмів роботи системи	02.04-01.05.21	
6.	Розробка документів впровадження	02.05-20.05.21	
7.	Розробка та укладання документації для забезпечення захисту перед ДЕК	21.05-01.06.21	
8.	Захист роботи	Червень 2021	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Яковлев В.К.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Мірошніченко Н.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Інститут (факультет) Комп'ютерних та інформаційних технологій  
Кафедра Обчислювальної техніки та програмування  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
Спеціалізація 123.01 Комп'ютерні системи та мережі  
Освітня програма Сучасне програмування, мобільні пристрої та комп'ютерні ігри

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломної роботи**

**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

на тему Розробка блоку керування квадрокоптеру з ПІД-регулятором

Виконав: студент 4 курсу, групи КІТ-117В  
Яковлєв В.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник Мірошніченко Н.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мірошніченко Н.М.

(прізвище та ініціали)

Харків - 2021 року

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 100 с., 18 рис., 16 табл., 31 джерело інформації.

Ключові слова: КВАДРОКОПТЕР, МІКРОКОНТРОЛЕР, ESP8266EX, WI-FI, VTOL, HOVER MODE, COURSE TRACKING MODE, ПІД-РЕГУЛЯТОР, Q-НАВЧАННЯ.

Розроблена структура квадрокоптеру і обраний мікроконтролер ESP8266EX забезпечують можливості напівавтоматичного керування літальним апаратом із застосуванням бездротової технології Wi-Fi в режимах вертикального зльоту і посадки (VTOL), режимі зависання (Hover mode) і режимі проходження курсу (Course tracking mode) з використанням ПІД-регулятора для розрахунку поправок до керуючих впливів. У роботі розроблена система регулювання, заснована на застосуванні стратегії навчання з підкріпленням. В якості методу навчання з підкріпленням використано алгоритм Q-навчання. Підкріпленням є відхилення рівня висоти апарату від необхідного, агентом є літальний апарат, а його дії – зміна швидкості обертання двигунів для стабілізації висоти. В результаті настройки статична помилка склала не більше 5%.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка на дипломную работу: 100 с., 18 ил., 16 табл., 31 источник информации.

Ключевые слова: КВАДРОКОПТЕР, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ESP8266EX, WI-FI, VTOL, HOVER MODE, COURSE TRACKING MODE, ПИД-РЕГУЛЯТОР, Q-ОБУЧЕНИЕ.

Разработанная структура квадрокоптера и выбранный микроконтроллер ESP8266EX обеспечивают возможности полуавтоматического управления летательным аппаратом с применением беспроводной технологии Wi-Fi в режимах вертикального взлета и посадки (VTOL), режиме зависания (Hover mode) и режиме прохождения курса (Course tracking mode) с использованием ПИД-регулятора для

расчета поправок к управляющим воздействиям. В работе разработана система регулирования, основанная на применении стратегии обучения с подкреплением. В качестве метода обучения с подкреплением использован алгоритм Q-обучения. Подкреплением является отклонение уровня высоты аппарата от необходимого, агентом является летательный аппарат, а его действия - изменение скорости вращения двигателей для стабилизации высоты. В результате настройки статическая ошибка составила не более 5%.

## ABSTRACT

Explanatory note to the thesis project of the 100 pages, 18 figure, 16 table, 31 sources of information.

Keywords: QUADROPTER, MICROCONTROLLER, ESP8266EX, WI-FI, VTOL, HOVER MODE, COURSE TRACKING MODE, PID-REGULATOR, Q-LEARNING.

The developed structure of the quadcopter and the selected microcontroller ESP8266EX provide the capabilities of semi-automatic control of the aircraft using wireless Wi-Fi technology in vertical take-off and landing (VTOL), hover mode (Hover mode) and course tracking mode PID controller for calculating corrections to control actions. The work has developed a regulation system based on the application of a reinforcement learning strategy. The Q-learning algorithm is used as a reinforcement learning method. Reinforcement is the deviation of the height of the vehicle from the required one, the agent is the aircraft, and its action is the change in the speed of rotation of the engines to stabilize the altitude. As a result of the adjustment, the static error was no more than 5%.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Дослідження теоретичних питань по напрямку розробки .....	7
1.1 Основи роботи квадрокоптера .....	7
1.1.1 Теорія польоту.....	11
1.2 Сучасні польотні контролери.....	13
1.3 Технічні характеристики розроблювального контролера.....	16
2 Структура і принципи роботи польотного контролера .....	18
2.1 Структура польотного контролера.....	18
2.2 Принципи функціонування польотного контролера .....	19
2.3 Машинне навчання .....	24
2.3.1 Загальна постановка задачі навчання по прецедентах.....	25
2.3.2 Навчання з підкріпленням (reinforcement learning) .....	27
3 Створення принципової схеми блоку керування квадрокоптером.....	28
3.1 Елементна база пристрою.....	29
3.1.1 Мікроконтролер ESP8266EX .....	29
3.1.2 Контролер живлення ADM1232 .....	32
3.1.3 Прецизійний регулятор напруги L78M05CDT .....	33
3.1.4 Стабілізатор напруги BA178M05T .....	34
3.1.5 Датчики.....	35
3.2 Розрахунок ключа на біполярному транзисторі.....	39
4 Створення алгоритму управління квадрокоптером .....	42
4.1 Основні поняття машинного навчання і нейронних мереж.....	42
4.2 Методи машинного навчання в системах управління .....	43
4.2.1 Стратегія навчання з підкріпленням.....	46
4.2.2 Застосування навчання з підкріпленням в управлінні електродвигуном.....	50

4.3	Математична модель адаптивної системи управління .....	52
4.3.1	Управління з використанням ПІД-регулятора.....	58
5	Охорона праці та навколишнього середовища .....	64
5.1	Вступ .....	64
5.2	Загальна характеристика приміщення .....	65
5.3	Загальна характеристика процесу праці .....	66
5.4	Перелік небезпечних та шкідливих факторів .....	66
5.5	Виробнича санітарія.....	69
5.5.1	Мікроклімат виробничого приміщення.....	69
5.5.2	Природне освітлення.....	69
5.5.3	Штучне освітлення .....	70
5.5.4	Шум та вібрація .....	70
5.5.5	Допустимий рівень іонізації повітря приміщення.....	71
5.5.6	Допустимі параметри електромагнітного іонізуючого випромінювання та електростатичного поля .....	71
5.6	Електробезпека.....	72
5.6.1	Конструктивні заходи електробезпеки.....	74
5.6.2	Схемно-конструктивні заходи електробезпеки .....	74
5.6.3	Експлуатаційні заходи електробезпеки .....	74
5.7	Пожежна безпека.....	75
5.8	Охорона навколишнього природного середовища .....	76
6	Техніко-економічне обґрунтування розробки .....	77
6.1	Мета і призначення .....	77
6.2	Розробка бізнес плану.....	77
6.2.1	Структура і загальні вимоги до змісту бізнес-плану.....	77
6.2.2	Параметрична сегментація ринку .....	80
6.3	Розрахунок собівартості і ціни.....	81
6.4	Оцінка ризику і страхування.....	86

Висновки.....	91
Список використаних джерел інформації.....	92
Додаток 1. Вихідні файли програми для блоку керування квадрокоптером..	95

## ВСТУП

Одним з актуальних завдань мікроелектроніки та робототехніки є створення автоматичних пристроїв, які повинні замінити людину-оператора в небезпечних для життя умовах. У зв'язку з цим значно зростає роль безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Це пов'язано з успішністю їх впровадження для виконання важких технологічних процесів і операцій, таких як моніторинг, фотограмметрія фасадів, інспекція мостів і ліній електроживлення, моніторинг лісних пожеж і т.п. Для реалізації даних технологічних процесів необхідно управляти польотом. В даний час управління польотом здійснюється в напівавтоматичному режимі по командах оператора з впровадженням навігації по опорних точках, або в дистанційному режимі за допомогою пульта управління. Нарівні з цим значно зростає роль програмного управління БПЛА, заснованого на використанні інтелектуальних автопілотів. Це пов'язано зі світовою тенденцією зростання рівня автономності БПЛА при вирішенні встановлених цільових завдань, таких як планування і автоматичне керування польотом по опорних точках.

Аналіз джерел вітчизняної та зарубіжної літератури з БПЛА показує, що до теперішнього часу відсутній системний підхід до розробки і застосування безпілотної авіаційної техніки у військовій і цивільній областях. Це призвело до появи величезної кількості різних видів, типорозмірів і функціонального призначення БПЛА.

До класу вертолітного типу відноситься квадрокоптер. Це гвинтокрилий літальний апарат (ЛА), що має шість ступенів свободи, який здійснює політ шляхом зміни швидкості обертання роторів, що працюють по парам. Це дозволяє квадрокоптеру пересуватися в тривимірному просторі в чотирьох режимах: зависання, крен, тангажу і ристання [1]. Здійснення вищезгаданих режимів відбувається за допомогою мікро-ЕОМ, яка управляє механізмом

генерування підйомної сили роторів, регулює стан квадрокоптера відповідно до обраного режиму польоту і забезпечує обмін навігаційних даних з різними рівнями управління.

На сьогоднішній день управління квадрокоптером здійснюється в напіваавтоматичному режимі по командах оператора з використанням навігації по опорних точках. Одночасно істотно зростає роль програмного управління БПЛА. Це пов'язано зі світовою тенденцією зростання рівня автономності БПЛА при вирішенні встановлених завдань, таких як планування і автоматичне керування польотом за заздалегідь встановленою траєкторією [2].

Підвищення якості використання програмного управління БПЛА необхідно для полегшення роботи людини і в прагненні скоротити вплив людського фактора, який служить причиною аварій літальних апаратів.

В кваліфікаційній роботі рівня бакалавр було створено блок керування для квадрокоптеру з використанням сучасної елементної бази. За сформованою в роботі структурою блоку керування була розроблена принципова схема мікропроцесорного блоку контролера. Її основу складає мікроконтролер ESP8266EX, який поєднує мікропроцесор і контролер інтерфейсу wi-fi.

В програмному забезпеченні було реалізовано ПІД-регулятор для автоматичної підтримки параметрів польоту, що призвело до підвищення якості та полегшення керування БПЛА. Також використання ПІД-регулятора зменшило вплив оператора на якість польоту і зробило польот плавнішим і більш передбачуваним.

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПИТАНЬ ПО НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ

## 1.1 Основи роботи квадрокоптера

Квадрокоптер, по суті, родич вертольота, радіокерований безпілотний апарат, що має 4 гвинта (ротора). Ротори обертаються в протилежних напрямках (2 – за годинниковою і 2 – проти годинникової стрілки), дозволяючи пристрою легко тримати баланс.

Маневрує в повітрі такий пристрій завдяки зміні швидкості обертання всіх або окремих гвинтів. Повертає пристрій, якщо уповільнити швидкість гвинтів з одного боку і збільшити з іншого. Сучасний квадрокоптер розпізнає жести, а зліт і посадка виконуються натисканням всього на одну кнопку.

Можна виділити кілька особливостей конструкції квадрокоптера:

- наявність гіроскопа – такий прилад дозволяє коригувати політ і спрощує управління;
- радіоуправління – пульт допомагає пілотувати пристрій на потрібну висоту і в потрібному напрямку;
- акумуляторний відсік – квадрокоптери мають невеликі, але надійні акумулятори, які дозволяють триматися в повітрі тривалий час. Так, наприклад, акумулятор квадрокоптера DJI Mavic Pro має систему контролю рівня зарядки і може регулювати витрати потужності в залежності від температури навколишнього середовища.

Головна здатність квадрокоптерів – вміння літати і чудово маневрувати на висоті завдяки продуманій конструкції.

4 гвинта і GPS-датчик забезпечують приладу відмінний баланс в повітрі навіть при сильному вітрі. Але складні фігури в повітрі виконувати він не вміє. Якщо один з моторів вийде з ладу, то навантаження буде розподілене на

справні двигуни. Прилад не потребує стабілізації – він самостійно балансує в повітрі. Запускати пристрій можна з будь-якої зручної точки.

Серед плюсів квадрокоптера варто виділити:

- можливість зйомки якісного відео. Вбудована камера дозволяє використовувати апарат на різних заходах. Завдяки симетричній конструкції пристрій відмінно тримається в повітрі, не псує зображення різкими коливаннями;

- можливість прикріпити додаткові датчики. Це робить прилад універсальним;

- стабільність льотних якостей. Передбачається стійкість апарату до легкого вітру і рівне пересування в повітряному просторі;

- простота експлуатації. Освоїти ази управління в короткі терміни здатна навіть дитина.

Проблеми, які потребують вирішення:

- збільшення польотного часу – при проведенні рятувальних операцій потрібне збільшення польотного часу, хоча б до 45 хвилин;

- збільшення всепогодності і дальності використання квадрокоптеру;

- автоматизація деяких операцій по застосуванню квадрокоптеру;

- підвищення безпеки – безпечне приземлення при втраті зв'язку, захист пропелерів і т.д.

Принцип дії квадрокоптера заснований на парній роботі пропелерів, які обертаються в різні боки. Керуючи силою обертання кожної пари, можна домогтися різних напрямків руху.

У квадрокоптера пари пропелерів обертаються в протилежному напрямку. Передній і задній пропелери обертаються за годинниковою стрілкою, в той час як лівий і правий пропелери обертаються проти годинникової стрілки. Щоб парити, всі пропелери обертаються з однаковою швидкістю. Так як рівне число пропелерів обертається одночасно в

протилежні сторони, то сили між ними зрівнюються і це дозволяє квадрокоптеру стійко зависати в повітрі, не обертаючись навколо своєї осі [1-3].

Щоб летіти в будь-якому напрямку, квадрокоптер повинен вийти з балансу, для чого збільшується швидкість обертання пропелерів, протилежних необхідному напрямку руху. Це змушує квадрокоптер нахилитися і почати рух в цьому напрямку.

Існує три основних способи управління рухом апарату:

- однакове обертання всіх гвинтів одночасно відповідає за підняття вгору – чим сильніше їх обертання, тим вище піднімається квадрокоптер;
- більш сильне обертання однієї пари дає можливість зробити розворот;
- сильне обертання одного мотора дозволяє нахилити апарат.

Принципи польоту квадрокоптеру:  
два гвинти обертаються по  
годинниковій стрілці, два других –  
проти годинникової стрілки

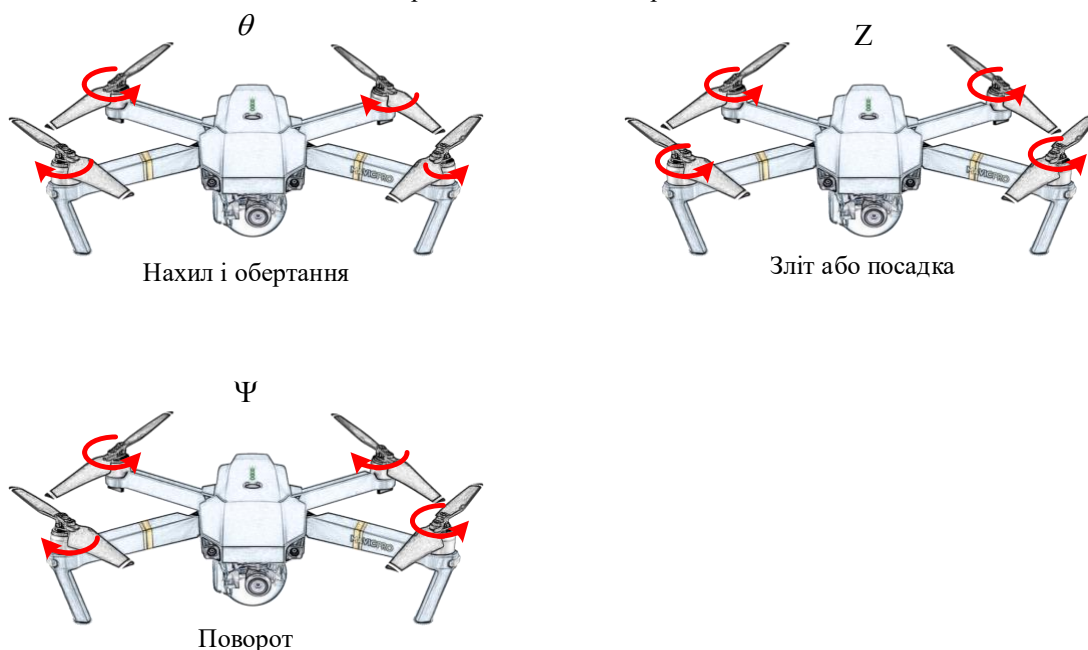


Рисунок 1.1 – Принцип польоту квадрокоптера

Для забезпечення стійкого польоту необхідний контролер, головне завдання якого полягає в тому, щоб керувати стабілізацією літаючої платформи в повітрі в горизонтальному положенні шляхом подачі керуючих сигналів двигунам. Він використовує дані від декількох датчиків і обчислює швидкість для кожного окремого пропелера. Контролер також компенсує зовнішні впливи, такі як вітер [2, 4]. Основні маневри: зліт, розвороти, зависання, посадка.

Є кілька режимів, в яких можуть літати квадрокоптери:

- ручний;
- стабільний;
- за допомогою системи GPS.

Окремі моделі передбачають управління квадрокоптера з планшета або смартфона за допомогою wi-fi. Для цього необхідно завантажити спеціальне програмне забезпечення. Основна зручність полягає в зрозумілому інтерфейсі, який заснований на русі пальцем по екрану. Але головний недолік такого управління в невеликій відстані дії сигналу wi-fi. Пульти радіоуправління має велику дальність дії.

Особливих складнощів в роботі з апаратом не виникає, якщо це добре спроектований пристрій з продуманою системою обробки сигналів, великою кількістю датчиків і системою стабілізації на основі багатоосевого гіроскопа. Чим більше у нього осей, тим акуратніше буде управління і більш слухняним квадрокоптер. При цьому ступінь складності може полягати і в досвідченості оператора, що займається його переміщенням в просторі. Для цього використовується апаратура, іноді з трансмітером і власним акумулятором.

Гвинти, що піднімають квадрокоптер в повітря, управляються парними синхронними двигунами, які можуть бути колекторними і безколекторними. Розташовані по крайнім протилежним точкам діагоналей пропелери рухаються в одному напрямку (за годинниковою стрілкою або навпаки). Два

інших аналогічних елементів рухаються в протилежну сторону. За їх роботу відповідає блок управління (плата) і акумулятор, що живить їх. За допомогою приймача керуюча плата отримує сигнали від дистанційного пульта. Пультом, в свою чергу, керує користувач, що знаходиться на відстані від апарату. Сигнал, що подається від апаратури, дає команду керуючому блоку, і він підсилює або послаблює роботу двигунів [1-5].

До функцій польотного контролера відносяться:

- стабілізація апарату в повітрі;
- утримання висоти (за допомогою барометра) і позиції (за допомогою GPS);
- автоматичний політ по заданих наперед точкам (опціонально);
- передача на землю поточних параметрів польоту за допомогою модему або Bluetooth (опціонально);
- забезпечення безпеки польоту (повернення в точку зльоту при втраті сигналу, автопосадка);
- підключення додаткової периферії: OSD, світлодіодна індикація та інше.

### 1.1.1 Теорія польоту

Політ – самостійне переміщення об'єкта в газоподібному середовищі або вакуумі. Це переміщення може здійснюватися із застосуванням реактивної тяги або інших рухових засобів або без цього (по інерції).

Контроль висоти польоту в полі тяжіння на швидкості нижче орбітальної вимагає, крім додання поступального руху, застосування засобів підтримки – статичних або динамічних; в першому випадку це може бути архимедова сила атмосфери (якщо вона є); у другому – підйомна сила газового потоку, що обтікає тіло, форма якого дозволяє створювати таку силу в цьому потоці, або реактивна тяга, електромагнітна сила, тощо [8].

Принцип польоту визначається тим, яким чином і за рахунок чого створюється підйомна сила. В даний час технічне значення мають такі принципи польоту, в яких підйомна сила визначається:

- аеростатичною – архимедовою силою, яка дорівнює силі тяжіння витісненої тілом маси повітря;

- аеродинамічною силою – підйомна сила створюється через силову взаємодію літального апарату, що рухається крізь повітряне середовище. Таким чином, сила тяжіння долається завдяки аеродинамічній силі, як силі реакції на відкидання вниз частини повітря, що обтікає несучі поверхні літального апарата;

Інерційною силою – силою інерції тіла, що летить за рахунок початкового запасу швидкості або висоти, тому такий політ називають також пасивним;

- ракетодинамічною силою – реактивною силою за рахунок відкидання частини маси тіла, що летить. Відповідно до закону збереження імпульсу системи виникає рух при відділенні від тіла з будь-якою швидкістю деякої частини його маси.

Для польотів квадрокоптеру необхідно мінімум 4 канали апаратури управління:

- 1 канал – елерони (aileron) – це канал, який відповідає за напрямок вліво-вправо;

- 2 канал – елеватор (elevator) – це канал, який відповідає за рух вперед-назад;

- 3 канал – газ (throttle) – це канал газу. Відповідає за набір і зниження висоти;

- 4 канал – ристання (rudder) – відповідає за обертання навколо своєї осі.

Решта каналів в апаратурі використовуються для управління осями підвісу камери, для складання шасі, надбудови рівня чутливості апарату до

зовнішніх умов (PID параметри в польотному контролері, що відповідають за силу і швидкість реакції коптера на сигнали управління, опір погодним умовам), для перемикання режимів польоту (наприклад GPS, Attitude, Manual, Failsafe, Home lock, Course Lock).

При русі регулятора газу вгору на апаратурі управління, коптер просто додає обертів на всіх двигунах і відбувається набір висоти. Щоб полетіти убік, апарат крениться в потрібну сторону, збільшуючи обороти двигунів з одного боку і знижуючи з іншого. При цьому, за рахунок датчиків, з'єднаних з ПК (польотним контролером), апарат крениться тільки до обмеженого в прошивці контролера кута, щоб не перевернутися. Вперед і назад літає, відповідно, тим же принципом. Обертання навколо своєї осі відбувається за рахунок того, що двигуни через один крутяться в протилежні сторони і одні пропелери загрибають повітря під себе, обертаючись за годинниковою стрілкою, інші – проти. Виходить, щоб апарат розвернувся в потрібну сторону, він збільшує обороти двигунів, що обертаються в одну сторону і рівно настільки ж зменшує обертів двигунів, що обертаються в протилежну [10].

## 1.2 Сучасні польотні контролери

Квадрокоптер є радіокерованою літаючою платформою з 4, 6, 8, 12 двигунами з пропелерами. У польоті платформа займає горизонтальне положення щодо поверхні землі, може зависати над певним місцем, переміщатися вліво, вправо, вперед, назад, вгору і вниз. В даний час, завдяки розробленому додатковому обладнанню квадрокоптер має можливість здійснювати фактично напівавтономні польоти.

Для забезпечення стійкого польоту необхідний польотний контролер, головним завданням якого є управління стабілізацією літаючої платформи в повітрі в горизонтальному положенні шляхом подачі керуючих сигналів на

двигуни. Він використовує дані від декількох датчиків і обчислює швидкість для кожного окремого пропелера [4-6].

Найпоширенішим польотним контролером є MultiWii – популярний своєю дешевизною і відкритістю вихідних кодів. Компіляція програми проводиться за допомогою безкоштовного середовища розробки Arduino IDE. Останні версії Multiwii мають більшість функцій, необхідних для польоту, в тому числі політ по точкам. Проект некомерційний і підтримується ентузіастами. Назва MultiWii походить від найперших контролерів, які використовували плати від Wii Nunchuck (зараз вони практично вже не використовуються). При виборі контролера слід звернути увагу на тип встановлених датчиків, найбільш сучасними (на 2020-2021 роки) є акселерометр MPU6050 і барометр MS5611, плати з цими датчиками мають найбільш стабільний політ, в порівнянні з попередніми моделями.

Польотний контролер ArduCopter – найбільш функціональний з польотних контролерів з відкритим вихідним кодом. Має всі необхідні для польоту функції, включаючи автоматичний політ по точкам, накладення параметрів польоту на відео (OSD), утримання позиції тощо. Контролери випускаються компанією 3D Robotics (плати APM 2.5, 2.6), їх ціна складає близько 150 \$. Існують також китайські клони (HKPilot 2.5), ідентичні по «залізу» і сумісні по прошивці, їх ціна близько 50 \$. Плата APM має лише базову функціональність, інші модулі (GPS, OSD, модем та ін.) можна придбати окремо.

Контролер Rabbit – китайський клон MultiWii зі своєю програмою для настройки та управління. Має закритий код, має більш високу ціну ніж у MultiWii, при меншій кількості функцій. У користувачів також є нарікання на деякі помилки вбудованого ПЗ і нестабільність роботи. В даний час покупка недоцільна.

Польотні контролери DJI випускаються компанією DJI Innovations, мають закриті прошивки і схему. В даний час випускається 3 види контролерів:

– DJI Naza-M Lite: базова версія, має режими стабілізації польоту, і основні GPS-функції (утримання і повернення додому). Не підтримує можливість підключення зовнішніх модулів, в іншому функціональність аналогічна старшій моделі DJI Naza-M V2. Ціна близько 250 \$;

– DJI Naza-M V2: новіша версія, відрізняється можливістю підключення OSD, модуля Bluetooth або наземної станції, ціна близько 400 \$;

– DJI Wookong: професійна версія, ціна близько 1000 \$.

За відгуками користувачів, контролери DJI мають досить гарну стабільність польоту, що перевершує дешевші моделі. Хоча функціональність самих контролерів досить-таки обмежена, її можна значно розширити за допомогою зовнішніх модулів (крім DJI Naza-M Lite). Наприклад, для отримання можливості бездротового налаштування потрібно придбати додатково модуль Bluetooth, для ведення розширених польотних логів необхідний DJI iOSD MARK II, для польоту по точкам, передачі телеметрії або управління з планшета необхідний 2.4G Bluetooth Datalink & iPad Ground Station. Таким чином головним недоліком цих контролерів є висока вартість як самого контролера так і додаткових модулів [6].

Польотні контролери Zero UAV виробництва компанії Zero UAV Intelligence Technology, мають закриті прошивки і схему. Випускається 2 види контролерів:

– Zero UAV YS-X4 – базова версія, має практично всі польотні режими, включаючи польоти по точкам, ведення логів польоту, передачу телеметрії та ін. Версія має обмеження за кількістю точок автоматичного польоту і відстані між ними. Контролер більш функціональний ніж DJI Naza при приблизно такій же ціні (~ 400 \$). Один з недоліків це велика вага контролера, з GPS модулем

близько 300 г, що унеможлиблює використання на легких моделях. Так само є нарікання на низьку надійність;

– Zero UAV YS-X6 – професійна версія, ціна контролера близько 1000 \$.

Існують різні версії контролерів, в залежності від кількості доступних точок автономного польоту ціна може коливатися в діапазоні 1000-2500 \$.

Контролери Fytech виробляються компанією FeiYu Electronic Technology. Одним з перших був контролер FY-91, на якість реалізації ряду функцій були нарікання, зараз його придбання недоцільно. В даний час випускаються контролери FY-41AP, FY-DOS і FY-30A. Їх відмітною особливістю є можливість використання як на мультикоптері, так і на літаку. Відмінною особливістю FY-41AP є вбудована OSD.

### **1.3 Технічні характеристики розроблювального контролера**

Виходячи з наведеного загального опису, а також вимог техніки безпеки можна зробити висновок про те, що контролер, що розробляється, для забезпечення функціонування літального апарату повинен виконувати наступні функції:

– управління двигунами;

– контроль ключових параметрів польоту: кут крену, кут тангажу, кут нишпорення, поточна висота;

– автоматична стабілізація положення апарату в просторі;

– зв'язок з пультом управління (ЕОМ верхнього рівня).

З урахуванням класу літального апарату можна сформулювати основні технічні характеристики розроблювального пристрою наступним чином:

– регулювання швидкості обертання двигунів: точність  $\pm 1\%$ ;

– вимірювання ключових кутів і висоти: діапазон вимірювання кутів від 0 до 180 град., точність вимірювання кутів  $\pm 10$  град., діапазон зміни висоти від 0 до 4 м, точність вимірювання висоти  $\pm 2$  см;

- отримання команд від ЕОМ верхнього рівня: тип зв'язку – бездротовий, швидкість передачі даних не менше 500 Кбіт/с;
- живлення від акумуляторної батареї: напруга живлення не більше 5В, забезпечення контролю напруги живлення;
- застосування стратегії навчання з підкріпленням в системі управління. В якості методу навчання з підкріпленням використовувати алгоритм Q-навчання;
- забезпечення автоматичної стабілізації положення апарату в просторі за рахунок використання даних з датчиків і автоматичного розрахунку керуючих імпульсів з використанням ПД-регулятора.

## 2 СТРУКТУРА І ПРИНЦИПИ РОБОТИ ПОЛЬОТНОГО КОНТРОЛЕРУ

### 2.1 Структура польотного контролеру

На основі аналізу інформації, викладеної в Розділі 1, зокрема, технічних характеристик, можна сформувавши узагальнену структуру розроблювального пристрою. Дана структура буде включати в себе основні блоки, описані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Функції блоків структурної схеми

№	Найменування блоку	Виконувана функція
1	Мікроконтролер	Збір та обробка інформації, реалізація закону управління
2	Блок управління двигунами	Управління двигунами
3	Блок зв'язку	Отримання команд від керуючої ЕОМ, передача поточного стану
4	Блок живлення	Стабілізація і контроль напруги АКБ
5	Датчик крену	Первинне перетворення інформації про його кут
6	Датчик тангажу	Первинне перетворення інформації про його кут
7	Датчик ристання	Первинне перетворення інформації про його кут
8	Датчик висоти	Первинне перетворення інформації про висоту

Перераховані вище блоки утворюють наступну структурну схему (рис. 2.1).

На наведеній схемі інформація з датчиків (датчик крену, датчик ристання, датчик тангажу, датчик висоти) надходить в мікроконтролер, який на її підставі а також відповідно до актуальної команди керуючої ЕОМ формує вплив на блок управління двигунами. Даний блок перетворює отриманий сигнал в швидкість обертання валу чотирьох двигунів.

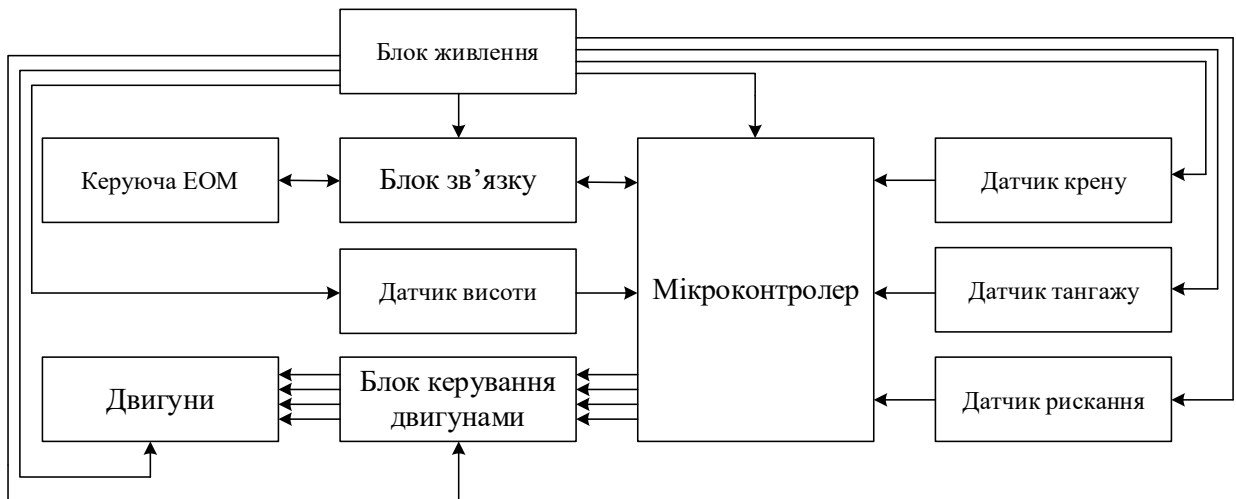


Рисунок 2.1 – Структурна схема польотного контролеру

Отримані дані, доповнені інформацією про стан акумуляторної батареї, надходять на блок зв'язку, який здійснює передачу в керуючу ЕОМ.

## 2.2 Принципи функціонування польотного контролеру

На основі аналізу структурної схеми, можна сформувавши функціональну схему розроблювального пристрою. Дана схема буде включати в себе наступні основні блоки, що відповідають за виконання тих чи інших функцій, які описані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Принципи функціонування

№	Найменування блоку	Виконувана функція
1	Модуль зв'язку	Прийом і передача повідомлень
2	Контролер інтерфейсу	Отримання команд від керуючої ЕОМ, передача поточного стану
3	ПД-регулятор	Реалізація закону керування
4	Стабілізатор напруги	Стабілізація напруги АКБ
5	Контролер живлення	Контроль напруги АКБ
6	Блок керування двигунами	Керування двигунами
7	Порти введення-виведення	Збір інформації

8	Датчик крену	Первинне перетворення інформації про його кут
9	Датчик тангажу	Первинне перетворення інформації про його кут
10	Датчик рискання	Первинне перетворення інформації про його кут
11	Датчик висоти	Первинне перетворення інформації про висоту

Перераховані вище блоки утворюють наступну функціональну схему (рис. 2.2).

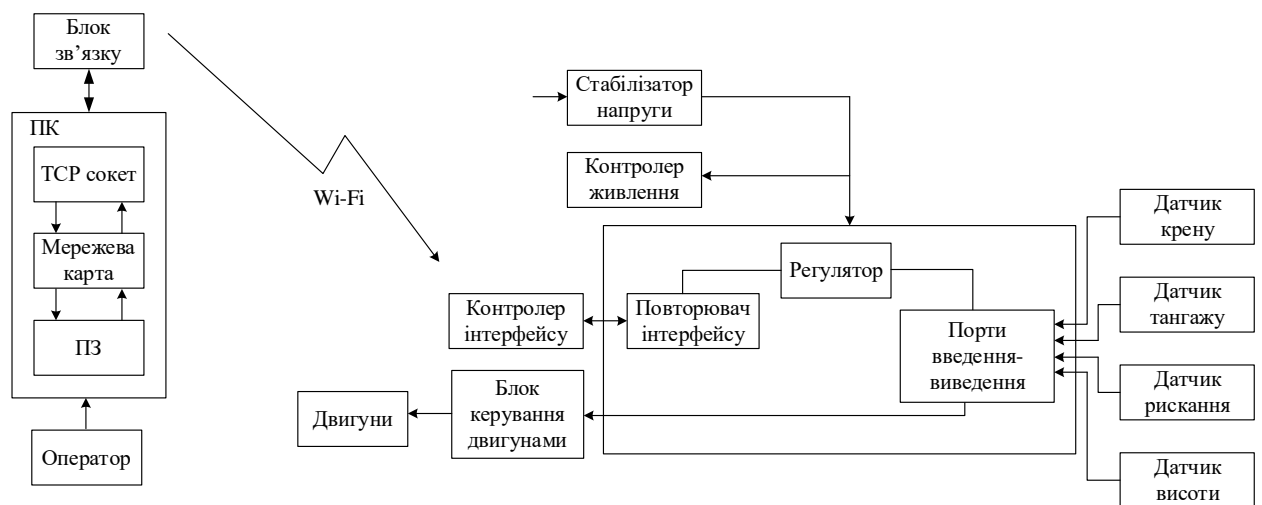


Рисунок 2.2 – Функціональна схема квадрокоптера

На рис. 2.2. інформація з датчиків (датчика крену, датчика рискання, датчика тангажу, датчика висоти) через порти введення-виведення надходить в регулятор.

На підставі інформації з датчиків крену, рискання, тангажу і висоти, а також відповідно до актуальної команди керуючої ЕОМ регулятор формує вплив на блок управління двигунами.

Як блок керування двигунами обрано ключ на біполярному транзисторі.

Транзисторний ключ виконує функції швидкодіючого ключа і має два основні стани: розімкнутий, якому відповідає режим відсічення транзистора

(транзистор замкнений), і замкнутий, який характеризується режимом насичення транзистора або режимом, близьким до нього.

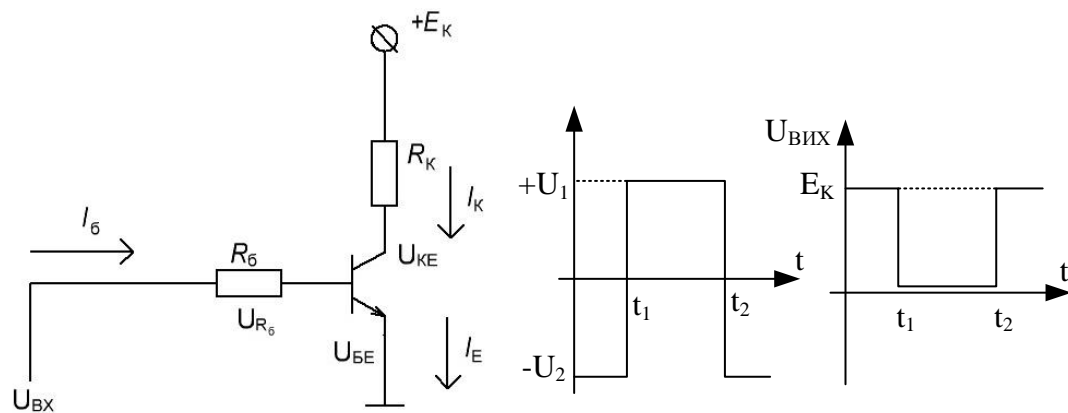


Рисунок 2.3 – Схема ключа на біполярному транзисторі з загальним емітером і часові діаграми вхідної і вихідної напруги

До моменту часу  $t_1$  емітерний перехід транзистора замкнений і транзистор знаходиться в режимі відсічення. В цьому режимі  $I_k = -I_b = I_{кз}$  (де  $I_b$  – струм бази,  $I_k$  – струм колектора,  $I_{кз}$  – зворотний струм колектора),  $I_e \approx 0$ . Малим струмом  $I_{кз}$  часто можна знехтувати і вважати, що  $I_k = I_b \approx 0$ . При цьому  $U_{Rб} \approx U_{Rк} \approx 0$ ,  $U_{бе} \approx -U_2$ ,  $U_{ке} \approx -E_k$ .

У проміжку часу  $t_1 \dots t_2$  транзистор відкритий. Для того, щоб напруга на транзисторі  $U_{ке}$  була мінімальною, напругу  $U_1$  зазвичай вибирають так, щоб транзистор знаходився або в режимі насичення, або в прикордонному режимі, дуже близькому до режиму насичення. Тоді для розглянутого відрізка часу

$$I_b = \frac{(U_1 - U_{бе})}{R_b} \approx \frac{U_1}{R_b},$$

$$I_k = \frac{(E_k - U_{ке})}{R_k} \approx \frac{E_k}{R_k}.$$

Струм колектора в режимі насичення

$$I_{\text{к.нас}} = \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к}}}.$$

Напруга в режимі насичення у транзисторів різного типу різна. Зазвичай вона лежить в межах 0,08...1 В.

Для оцінки глибини насичення користуються так званим коефіцієнтом насичення  $Q_{\text{нас}}$ , що показує, у скільки разів реальний струм бази більше того мінімального значення струму бази, який необхідний для забезпечення режиму насичення. Очевидно, що мінімальний струм бази  $I_{\text{б.нас.мін}}$ , необхідний для режиму насичення, визначається виразом

$$I_{\text{б.нас.мін}} = \frac{I_{\text{к.нас}}}{\beta_{\text{ст}}} = \frac{E_{\text{к}}}{(R_{\text{к}} \cdot \beta_{\text{ст}})}.$$

Тому

$$Q_{\text{нас}} = \frac{I_{\text{б}}}{I_{\text{б.нас.мін}}} \approx \frac{\left( \frac{U_1}{R_{\text{б}}} \right)}{\left( \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к}} \cdot \beta_{\text{ст}}} \right)}.$$

При виборі значення коефіцієнта насичення для конкретного транзисторного ключа зазвичай використовують такі міркування:

– режим насичення повинен бути забезпечений для різних екземплярів транзисторів обраного типу при роботі ключа в заданому діапазоні температури;

– збільшення струму бази в режимі насичення зменшує напругу між колектором і емітером, що зменшує потужність, що виділяється в вихідний ланцюг транзистора, але це зменшення практично припиняється при  $Q_{\text{нас}} \approx 3$ ;

– надмірне збільшення струму бази призводить до помітного збільшення потужності, що виділяється у вхідному ланцюзі транзистора.

Крім цих міркувань, що відносяться до сталого режиму, враховують вплив величини струму бази на тривалість перехідних процесів. Чим більше струм бази, тим швидше включається (тобто входить в режим насичення) транзисторний ключ, але тривалість перехідного процесу вимикання транзистора при цьому збільшується [7].

Протягом процесу перемикавання транзистор працює в активному режимі. Процеси в ключовому каскаді носять нелінійний характер.

Оператором вводяться команди, які надходять для подальшої обробки в ПЗ, далі інформація надходить через лінії інтернету по фізичному каналу зв'язку. Це може бути радіоканал, Wi-Fi, і т.п. У деяких випадках може бути використана існуюча інфраструктура фізичних ліній зв'язку. Після чого інформація надходить в транспортний протокол, який є протоколом для зв'язку «один-до-одного», і змодельований сигнал управління через лінії Wi-Fi за допомогою контролера інтерфейсу надходять безпосередньо на блок мікроконтролера, а саме на повторювач інтерфейсу.

Застосовувані в мережах Wi-Fi приймачі і передавачі нагадують пристрої, що використовуються в стільникових телефонах і дуплексних портативних радіостанціях. Вони передають і приймають радіохвилі, а також перетворюють цифровий сигнал в радіохвилі і навпаки. Відмінність пристроїв Wi-Fi від аналогічних пристроїв полягає в тому, що вони використовують частоти 2,4 ГГц або 5 ГГц, які істотно вище, що створює враження більшого числа даних. Схема Wi-Fi мережі містить точку доступу і клієнта. 0,1 Мбіт/с – найменша швидкість передачі даних для Wi-Fi.

Далі сигнал потрапляє в регулятор для підтримки заданого значення вимірюваного параметра розроблювального пристрою і через порти введення-виведення потрапляє на блок управління двигунами, внаслідок чого двигуни приходять в рух. На вході пропорційного регулятора дані від датчиків крену, тангажу, ристання, висоти і повторювача інтерфейсу, а на виході повинні отримати команду для управління датчиками, внаслідок чого пристрій здійснить необхідні рухи.

Даний блок перетворює отриманий сигнал в швидкість обертання валу чотирьох двигунів. Отримані дані, доповнені інформацією про стан акумуляторної батареї, надходять через порти введення-виведення на контролер інтерфейсу, який здійснює передачу в керуючу ЕОМ.

До акумуляторної батареї підключений стабілізатор напруги для забезпечення стійкої роботи системи. Стабілізатор дає 5В. Так само до акумуляторної батареї підключений регулятор напруги. Регулятор дає 3.3 В.

Від контролера живлення інформація надходить на мікроконтролер з метою запобігання аварійних ситуацій.

### **2.3 Машинне навчання**

Машинне навчання – клас методів штучного інтелекту, характерною рисою яких є не пряме рішення задачі, а навчання в процесі застосування рішень безлічі подібних завдань. Для побудови таких методів використовуються засоби математичної статистики, числові методи, методи оптимізації, теорії ймовірності, теорії графів, різні техніки роботи з даними в цифровій формі [11].

Машинне навчання знаходиться на стику математичної статистики, методів оптимізації та класичних математичних дисциплін, але має також і власну специфіку, пов'язану з проблемами обчислювальної ефективності та перенавчання. Багато методів індуктивного навчання розроблялися як

альтернатива класичним статистичним підходам. Багато методів тісно пов'язані з витяганням інформації та інтелектуальним аналізом даних.

Машинне навчання – не тільки математична, а й практична, інженерна дисципліна. Чиста теорія, як правило, не призводить відразу до методів і алгоритмів, які можуть застосовуватися на практиці. Щоб змусити їх добре працювати, доводиться винаходити додаткові евристики, що компенсують невідповідність зроблених в теорії припущень умов реальних завдань. Практично жодне дослідження в машинному навчанні не обходиться без експерименту на моделях або реальних даних, що підтверджує практичну працездатність методу.

### 2.3.1 Загальна постановка задачі навчання по прецедентах

Дана кінцева множина прецедентів (об'єктів, ситуацій), по кожному з яких зібрані (виміряні) деякі дані. Дані про прецедент називають також його описом. Сукупність усіх наявних описів прецедентів називається навчальною вибіркою. Потрібно за цими приватними даними виявити загальні залежності, закономірності, взаємозв'язки, властиві не тільки цій конкретній вибірці, але взагалі всім прецедентам, в тому числі тим, які ще не спостерігалися. Кажуть також про відновлення залежностей за емпіричними даними.

Найбільш поширеним способом опису прецедентів є признаковий опис. Фіксується сукупність  $n$  показників, вимірюваних у всіх прецедентів. Якщо всі  $n$  показників числові, то признаковий опис представляє собою числові вектори розмірності  $n$ . Можливі й більш складні випадки, коли прецеденти описуються часовими рядами або сигналами, зображеннями, відеорядами, текстами, попарними відносинами подібності або інтенсивності взаємодії, і т. д.

Для вирішення завдання навчання по прецедентах в першу чергу фіксується модель відновлюваної залежності. Потім вводиться функціонал якості, значення якого показує, наскільки добре модель описує спостережувані дані. Алгоритм навчання (learning algorithm) шукає такий набір параметрів

моделі, при якому функціонал якості на заданій навчальній вибірці приймає оптимальне значення. Процес настройки (fitting) моделі за вибіркою даних в більшості випадків зводиться до застосування числових методів оптимізації [12].

Успіх машинного навчання і його загальне визнання стали можливі завдяки трьом обставинам:

1. Дедалі більше в геометричній прогресії кількість даних. Вона викликає потребу в аналізі даних і є необхідною умовою для впровадження систем ML. Одночасно ця кількість даних відкриває можливість для навчання, оскільки породжує велику кількість зразків (прецедентів), і це достатня умова;

2. Сформувалася необхідна процесорна база. Відомо, що рішення задач ML розпадається на дві фази. На першій виконується навчання штучної нейронної мережі (тренування). Протягом цього етапу потрібно паралельно обробити велику кількість зразків. На даний момент для цієї мети немає альтернативи графічним процесорам GPU, в переважній більшості випадків використовують GPU Nvidia. Для роботи навченої нейронної мережі можуть бути використані звичайні високопродуктивні процесори CPU. Цей розподіл функцій між типами процесорів незабаром може зазнати суттєвих змін. По-перше, в 2017 році Intel випустив на ринок спеціалізований процесор Nervana, який на порядок продуктивніше, ніж GPU. По-друге, з'являються нові типи програмованих матриць FPGA і великих спеціалізованих схем ASIC, і спеціалізований процесор Google TensorFlow Processing Unit (TPU);

3. Створення бібліотек для програмного забезпечення ML. Станом на 2021 рік їх налічується більше 150. Ось тільки деякі, найбільш відомі: TensorFlow, Theano, Keras, Lasagne, Caffe, DSSTNE, Wolfram Mathematica. Список можна продовжити. Практично всі вони підтримують прикладний інтерфейс OpenMP, мови Python, Java і C++ і платформу CUDA.

Майбутня сфера застосування ML, без жодного перебільшення, неозора. В контексті Четвертої промислової революції найбільш значуща роль ML полягає в розширенні потенціалу області Business Intelligence (BI), назва якої умовно перекладається як «бізнес-аналітика».

### 2.3.2 Навчання з підкріпленням (reinforcement learning)

Це один із способів машинного навчання, в ході якого випробувана система (агент) навчається, взаємодіючи з деяким середовищем. Відгуком середовища (а не спеціальної системи управління підкріпленням, як це відбувається в навчанні з учителем) на прийнятті рішення є сигнали підкріплення, тому таке навчання є окремим випадком навчання з учителем, але учителем є середовище або його модель. Також потрібно мати на увазі, що деякі правила підкріплення базуються на неявних вчителях, наприклад, в разі штучного нейронного середовища, на одночасній активності формальних нейронів, через що їх можна віднести до навчання без учителя.

Роль об'єктів грають пари «ситуація, прийняте рішення», відповідями є значення функціоналу якості, що характеризує правильність прийнятих рішень (реакцію середовища). Як і в задачах прогнозування, тут істотну роль грає фактор часу. Приклади прикладних задач: формування інвестиційних стратегій, автоматичне керування технологічними процесами, самонавчання роботів, і т.д.

### 3 СТВОРЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ БЛОКУ КЕРУВАННЯ КВАДРОКОПТЕРОМ

Принципова схема є найбільш повною електричною схемою пристрою, на якій зображують всі електричні елементи і пристрої, необхідні для здійснення контролю в пристрої заданих електричних процесів, всі зв'язки між ними, а також елементи підключення (роз'єми, затискачі), якими закінчуються вхідні і вихідні мережі.

Виходячи з аналізу завдання на дипломну роботу і розробленої раніше функціональної схеми квадрокоптеру, була спроектована принципова схема (рис. 3.1).

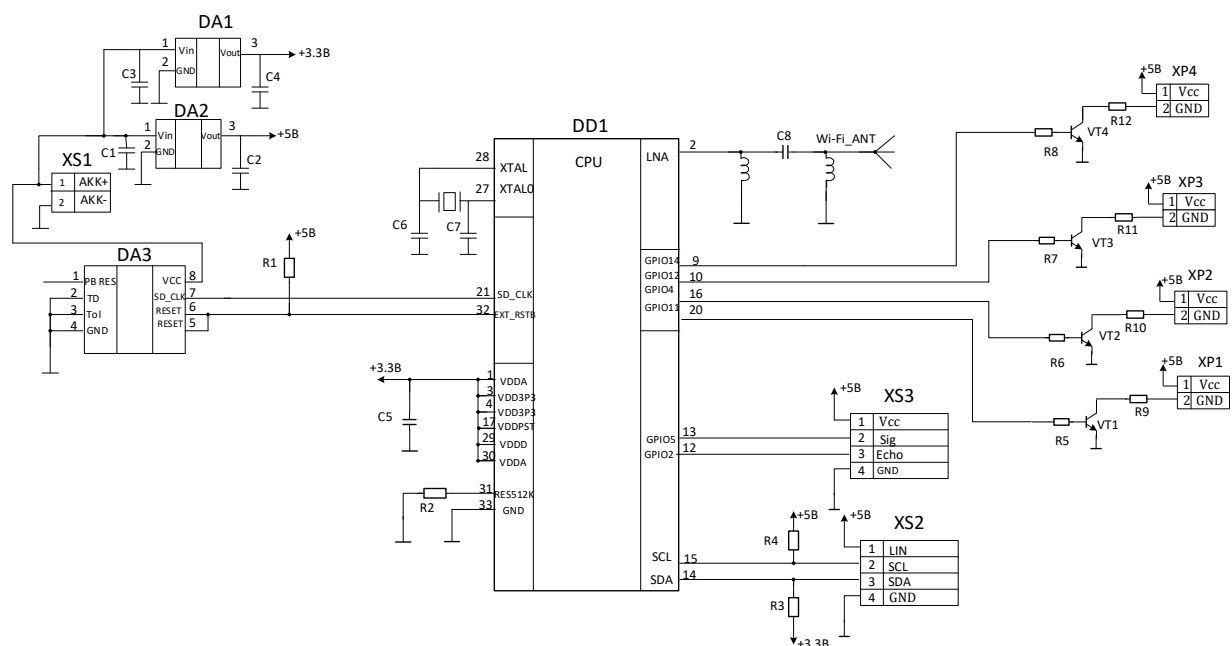


Рисунок 3.1 – Принципова схема польотного контролера

Особливістю схеми є те, що модуль зв'язку і мікроконтролер об'єднані в одній інтегральній мікросхемі ESP8266EX. Дана мікросхема характеризується низьким енергоспоживанням також високою компактністю за рахунок

високого ступеня інтеграції. Зокрема, для повноцінного використання інтерфейсу Wi-Fi необхідно лише додати до мікросхеми блок антени. У зв'язку з тим, що умова експлуатації розроблювального контролера припускає автономне використання, строгі вимоги пред'являються до живлячої напруги, тому для контролю її величини був застосований супервізор живлення. Живлення здійснюється від літій-іонної батареї.

Блок управління двигунами реалізований на основі схеми ключа на біполярному транзисторі. Опитування датчиків кутів Ейлера відбувається по інтерфейсу I2C. Інформація з датчика висоти надходить в аналоговому вигляді на вбудований аналого-цифровий перетворювач.

### 3.1 Елементна база пристрою

#### 3.1.1 Мікроконтролер ESP8266EX

Для виконання завдання, а саме забезпечення бездротового зв'язку зі швидкістю передачі даних не менше 500 Кбіт/с, та передачі команд та польотної інформації прекрасно підходить мікроконтролер ESP8266EX (рис. 3.2).

ESP8266 – мікроконтролер китайського виробника Espressif з інтерфейсом Wi-Fi. Крім Wi-Fi мікроконтролер відрізняється можливістю виконувати програми з зовнішньої флеш-пам'яті з інтерфейсом SPI.

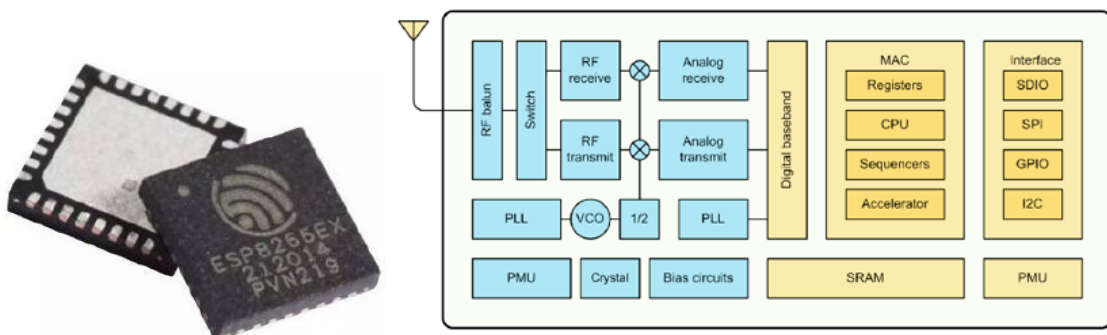


Рисунок 3.2 – Мікроконтролер ESP8266EX та його структурна схема

Мікроконтролер привернув увагу в 2014 році в зв'язку з виходом перших продуктів на його базі і їх надзвичайно низькою ціною. Навесні 2016 року розпочалося виробництво ESP8285, що поєднує ESP8266 і флеш-пам'ять на 1 МБайт. Восени 2015 року Espressif представила розвиток лінійки – мікросхему ESP32.

Обраний мікроконтролер має такі основні характеристики:

- 80 МГц 32-біт процесор Tensilica Xtensa L106. Можливий негарантований розгін до 160 МГц;
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi. Підтримується WEP і WPA/WPA2;
- 14 портів введення-виведення (з них можливо використовувати 11), SPI, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, UART, 10-bit АЦП;
- живлення 2,2 ... 3,6 В. Споживання до 200 мА в режимі передачі, 60 мА в режимі прийому, 40 мА в режимі очікування. Режим зниженого споживання зі збереженням з'єднання з точкою доступу ~ 1 мА, режим глибокого сну 0.1 мкА.

Мікроконтролер не має на кристалі користувальницької незалежної пам'яті. Виконання програми ведеться з зовнішній SPI ПЗП шляхом динамічного підвантаження необхідних ділянок програми в кеш інструкцій. Завантаження йде апаратно, прозоро для програміста. Підтримується до 16 МБ зовнішньої пам'яті програм. Можливий Standard, Dual або Quad SPI інтерфейс.

Виробник не надає документації на внутрішню периферію мікроконтролера. Замість цього він дає набір бібліотек, через API яких програміст отримує доступ до периферії. Оскільки ці бібліотеки інтенсивно використовують ОЗП контролера, то виробник в документах не вказує точну кількість ОЗП на кристалі, а тільки приблизну оцінку кількості ОЗП, що залишиться користувачеві після лінковки бібліотек – близько 50 кБ. Ентузіасти, які досліджували бібліотеки ESP8266, припускають, що МК містить 32 кБ кешу інструкцій і 80 кБ ОЗП даних.

Електричні параметри, розташування виведень та схеми включення можна знайти в документах «0A-ESP8266EX\_Datasheet» і «0B-ESP8266\_System\_Description» з Espressif SDK [12].

Джерело виконуваної програми ESP8266 задається станом портів GPIO0, GPIO2 і GPIO15 в момент закінчення сигналу *Reset* (тобто подачі живлення). Найцікавіші два режими: виконання коду з UART (GPIO0 = 0, GPIO2 = 1 і GPIO15 = 0) і з зовнішнього ПЗП (GPIO0 = 1, GPIO2 = 1 і GPIO15 = 0). Режим виконання коду з UART використовується для перепрошивки підключеної флеш-пам'яті, а другий режим – штатний для роботи.

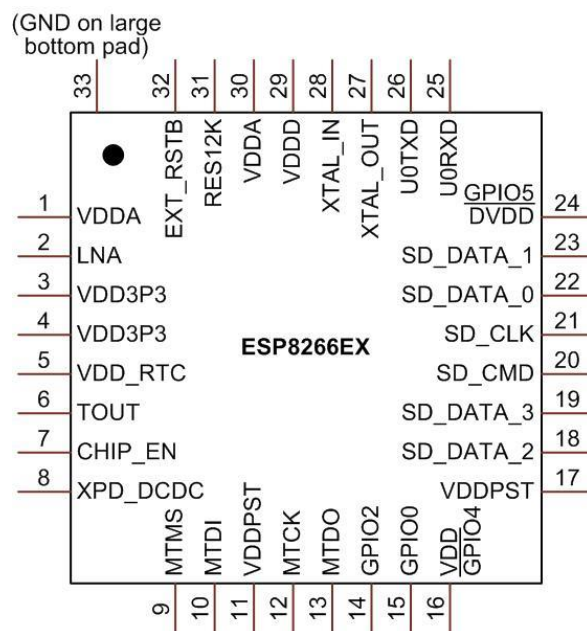


Рисунок 3.3 – Призначення виводів ESP8266EX

МК має вбудований передпідсилювач LNA, який призначений для:

- компенсації втрат;
- збільшення зони прийому;
- покращення стабільності прийому.

Передпідсилювач може збільшити дальність на 15-20% [13].

### 3.1.2 Контролер живлення ADM1232

ADM1232 регулює процес подачі електричного струму до батареї квадрокоптеру. Контролер живлення досить технологічний, щоб визначити, наприклад, що рівень заряду апарату нижче допустимого. У такому випадку процес подачі енергії просто зупиняється і передається повідомлення на пульт опетарору, яке повідомляє про те, що акумулятор не достатньо заряджений. Він також охороняє апарат від більш високої напруги, не даючи вийти з ладу [13]. Технічні характеристики:

- регульований прецизійний поріг контролю напруги: 4.5В і 4.75В;
- регульований інтервал контролю строб-імпульсу 150мс, 600мс або 1.2с;
- не вимагає зовнішніх компонентів;
- гарантовані характеристики в температурному діапазоні від -40<sup>0</sup>С до +85<sup>0</sup>С;
- здійснює такі функції контролю:
  - контроль напруги живлення мікропроцесора;
  - контроль попадання мікропроцесора в стан блокування;
  - контроль зовнішніх переривань.

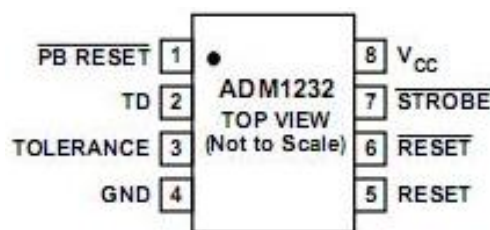


Рисунок 3.4 – Призначення виводів ADM1232

При підключенні на вхід  $V_{cc}$  подається позитивна напруга від акумуляторної батареї, на вихід RESET подається команда скидання на

мікроконтролер при малому заряді акумуляторної батареї, через порт STROBE здійснюється попередження мікроконтролера про низький заряд батареї [14].

### 3.1.3 Прецизійний регулятор напруги L78M05CDT

Для стабільної роботи мікроконтролера необхідно забезпечити високу стабільність його напруги живлення. Дане завдання вирішується застосуванням в пристрої регуляторів напруги. Регулятор напруги може бути, як нестабілізованим, так і стабілізованим. Стабілізований регулятор напруги, крім регулятора напруги, містить в собі ще й стабілізатор напруги. Технічні характеристики:

- максимальний струм навантаження: 0.5A;
- діапазон допустимих вхідних напруг: 35V;
- вихідна напруга: 5V;
- корпус: дпак;
- виробник: ST Microelectronics.

Для даної мікросхеми виробник рекомендує наступну схему включення:

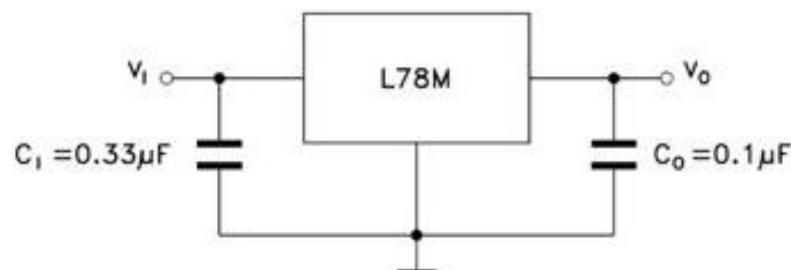


Рисунок 3.5 – Схема включення L78M05CDT

В даній схемі нестабілізована напруга джерела живлення надходить на вхід  $V_{in}$ , на виведенні ж  $V_{out}$  формується стабілізована напруга 3,3 В. Конденсатори  $C_1$ ,  $C_0$  використовуються для фільтрації високочастотних перешкод по входу і виходу.

### 3.1.4 Стабілізатор напруги ВА178М05Т

Стабілізатор напруги призначений для підтримки вихідної напруги при зміні вхідної напруги. Існують стабілізатори постійної напруги і стабілізатори змінної напруги. Перші поділяють на лінійні і імпульсні.

Лінійний стабілізатор представляє собою дільник напруги, на вхід якого подається вхідна (нестабільна) напруга, а вихідна (стабілізована) напруга знімається з нижнього плеча дільника. Стабілізація здійснюється шляхом зміни опору одного з плечей дільника: опір постійно підтримується таким, щоб напруга на виході стабілізатора знаходилася в встановлених межах.

Перевага лінійного стабілізатора – простота, відсутність перешкод і невелика кількість використовуваних деталей.

Залежно від розташування елемента із змінним опором лінійні стабілізатори діляться на два типи:

- послідовний: регулюючий елемент включений послідовно з навантаженням;
- паралельний: регулюючий елемент включений паралельно навантаженню.

Залежно від способу стабілізації:

- параметричний: в такому стабілізаторі використовується ділянка ВАХ приладу, який має велику крутизну;
- компенсаційний: має зворотний зв'язок. У ньому напруга на виході стабілізатора порівнюється з еталонною, з різниці між ними формується керуючий сигнал для регулюючого елемента.

Для реалізації розроблювального пристрою був встановлений лінійний стабілізатор, який володіє наступними характеристиками:

- тип виходу – фіксований;
- вихідний струм – 500мА;
- мінімальна робоча температура -40° С;

- максимальна робоча температура 85° C;
- кількість виведень: 3;
- номінальне значення вихідної напруги 5 В;
- мінімальна вхідна напруга 7.5 В;
- максимальна вхідна напруга 20 В;
- корпус TO-220FP.

В схемі пристрою нестабілізована напруга джерела живлення надходить на вхід  $V_{in}$ , на виведенні ж  $V_{out}$  формується стабілізована напруга 5 В. Конденсатори  $C_1$ ,  $C_2$  використовуються для фільтрації високочастотних перешкод по входу і виходу [15].

### 3.1.5 Датчики

На практиці для координації положення дрона в просторі необхідна пара датчиків: датчик тиску і електронний компас.

Датчик тиску використовується для визначення поточної висоти польоту. Це важливо для підтримки стабільної висоти і для забезпечення безпечного приземлення. Очевидно, що для квадрокоптеру бажано мати сенсор з високою швидкодією і максимальною точністю, мінімальною витратою і малими габаритами. Цим вимогам відповідають датчики з сімейства LPS виробництва ST. Зараз це сімейство нараховує 6 представників, які мають однаковий робочий діапазон 260 ... 1260 гПа, але відрізняються за низкою основних параметрів (споживання, корпусне виконання, частота опитування і так далі). На даний момент найбільш цікавим сенсором в цій лінійці виробів ST є LPS22HD (рис. 3.6).

– LPS22HD – датчик, що дозволяє вимірювати тиск в діапазоні 260 ... 1260 гПа з 24-бітною точністю. Максимальна частота вимірювань у LPS22HD досягає 200 Гц, при цьому споживання в активному режимі може становити 12 мкА (частота 1 Гц), а в режимі зниженого споживання і зовсім падає до 3 мкА. Okремо варто відзначити високу точність даного сенсора: похибка

вимірювань після виконання калібрування становить 0,1 гПа. Габарити LPS22HD малі – всього 2x2x0,76 мм.

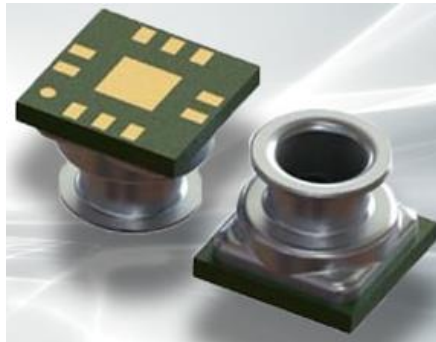


Рисунок 3.6 – Датчик тиску (висоти) LPS22HD

Електронний компас допомагає визначати положення дрона відносно сторін світу. До магнітометру пред'являються ті ж вимоги, що і до інших датчиків, це мінімальне споживання, малі габарити, висока точність. У номенклатурі ST є шість моделей електронних компасів сімейства LSM303, кожен з яких відповідає перерахованим вимогам. Як приклад розглянемо LSM303AGR [12].

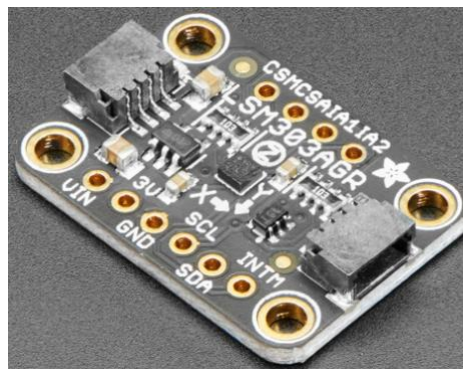


Рисунок 3.7 – Магнітометр (електронний компас) LPS22HD

LSM303AGR – електронний компас, який представляє комбінацію 3-осьового акселерометра ( $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16g$ ) і 3-осьового магнітометра  $\pm 50^\circ$ .

Датчик випускається в надкомпактному корпусі LGA 2x2x1 мм. Типове споживання акселерометра при максимальній розрядності вимірювань і частоті 50 Гц становить 12,7 мкА, магнітометр споживає до 200 мкА при максимальній роздільній здатності і тій же частоті опитування [12].

Квадрокоптер середньої цінової категорії має безліч режимів польоту. У всіх цих режимах не завжди просто зорієнтуватися. Режим утримання висоти дозволяє пілоту керувати креном (Roll), тангажем (Pitch) і ристанням (Yaw) не змінюючи висоти. Якщо потрібно змінити висоту необхідно скорегувати положення ручки газу (збільшити або зменшити).

Уміння утримувати висоту забезпечується шляхом аналізу тиску, який вимірюють спеціальним барометричним датчиком. Таким датчиком обладнано більшість сучасних польотних контролерів.

Принцип роботи бародатчика заснований на зменшенні атмосферного тиску зі збільшенням висоти. Однак дані барометричного датчика не завжди точні, наприклад, на малих висотах, в приміщенні або в разі зміни погоди, коли змінюється тиск.

Для того, щоб підвищити точність вимірювання на невеликих висотах (до 10 метрів) використовуються інші типи датчиків, наприклад, ультразвуковий датчик або сонар.

Ультразвукові сенсори активно застосовуються, наприклад, в селфі-дронах, багато з яких призначені для польотів в приміщенні. У випадку зі звукопоглинальними матеріалами ультразвукові датчики можуть невірно заміряти висоту.

Ще один тип датчиків, який допомагає квадрокоптеру орієнтуватися в просторі – це датчик візуального позиціонування. Цей датчик активно використовується в сучасних дронах фірми DJI, наприклад, Phantom 4 Pro або Mavic Pro. По суті це відеокамера, яка в режимі реального часу аналізує поверхню під дроном.

У неї теж є ряд обмежень, вона буде функціонувати належним чином у випадку з дуже темними або дуже яскравими поверхнями.

Якщо дрон використовується в основному на вулиці, для утримання положення використовуються GPS-приймачі.

Одного універсального датчика або сенсора на всі випадки життя не буває, тільки комплекс датчиків дозволяє дрону орієнтуватися в просторі і коректно утримувати висоту [12].

Розглянемо переваги і недоліки датчиків висоти, щоб вибрати з них найбільш підходящий.

Таблиця 3.1 – Переваги і недоліки датчиків

Тип датчика	Умови роботи	Умови відключення
Бародатчик	На висотах більше 1-2 метрів	На малих висотах. При поганій погоді
GPS	На відкритому повітрі	У приміщенні, де пошук супутників утруднений
Ультразвуковий датчик	На малих висотах (до 10 метрів). В приміщенні	На великих висотах. При польотах над звукопоглинальними поверхнями. При польоті над похилими поверхнями (які відбивають сигнал в сторону від дрона)
Датчик візуального позиціонування	У приміщенні і на відкритому повітрі. На висотах (0,3 до 10 метрів)	На великих висотах (понад 10 метрів). При польоті над водою або прозорими середовищами. При польоті над вкрай темними або вкрай яскравими поверхнями. При польоті над одноколірною поверхнею (наприклад, сніг). При польоті над поверхнями, що не мають чітких контурів або текстури

Після аналізу характеристик різних видів датчиків був обраний ультразвуковий датчик. Він цілком підходить для виконання необхідних вимог, а саме – вимірювання висоти дрона від 2 см до 4 м з похибкою 1 см.

Дія ультразвукового далекоміра HC-SR04 заснована на принципі ехолокації. Він випромінює звукові імпульси в простір і приймає відбитий від перешкоди сигнал. За часом поширення звукової хвилі до перешкоди і назад визначається відстань до об'єкта.

Запуск звукової хвилі починається з подачі позитивного імпульсу тривалістю не менше 10 мікросекунд на ніжку TRIG далекоміра. Як тільки імпульс закінчується, далекомір випромінює в простір перед собою пачку звукових імпульсів частотою 40 кГц. В цей же час на ніжці ЕСНО далекоміра з'являється логічна одиниця. Як тільки датчик уловлює відбитий сигнал, на виведенні ЕСНО з'являється логічний нуль. За тривалістю логічної одиниці на ніжці ЕСНО визначається відстань до перешкоди.

Діапазон вимірювання відстані далекоміра HC-SR04 – до 4 метрів з роздільною здатністю 0,3 см. Кут спостереження – 30°, ефективний кут – 15°. Струм споживання в режимі очікування 2 мА, при роботі – 15 мА [14].

### 3.2 Розрахунок ключа на біполярному транзисторі

Ключовий режим роботи характеризується тим, що транзистор знаходиться в одному з двох станів: в повністю відкритому (режим насичення), або повністю закритому (стан відсічення).

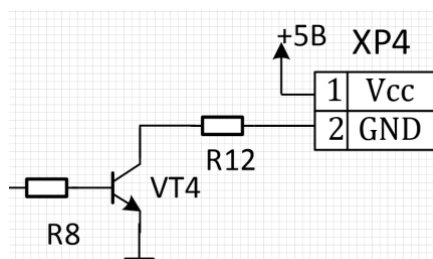


Рисунок 3.8 – Ключ на біполярному транзисторі

Як навантаження виступає мотор типу JJRC H8C на напругу 5В з опором 62 мОм.

Розраховуємо струм колектора:

$$I_k = \frac{(U_{cc} - U_{ке.нас})}{R_H} = \frac{(5 - 0,4)}{62} = 74,2 \text{ А},$$

де  $I_k$  – струм колектора;  $U_{cc}$  – напруга живлення (5В);  $U_{ке.нас}$  – напруга насичення біполярного транзистора (типово від 0.2 до 0.8 В, хоча і може відрізнятися для різних транзисторів), в даному випадку прийmemo 0.4 В;  $R_H$  – опір навантаження (62 Ом).

В якості обмежувача виступає резистор опором 200 мОм.

На практиці з міркувань надійності елементи завжди необхідно вибирати з запасом. Візьmemo коефіцієнт 1.5. Таким чином, потрібен транзистор з допустимим струмом колектора не менше  $1.5 \cdot 0,2 = 300$  мОм і максимальною напругою колектор-емітер не менше  $1.5 \cdot 5 = 7.5$  В.

По заданих параметрах підходить КТ815А ( $I_{к.макс} = 1.5$  А;  $U_{ке} = 40$ В). Він має наступні характеристики:

- структура n-p-n;
- максимально допустима (імпульсна) напруга колектор-база 40В;
- максимально допустима (імпульсна) напруга колектор-емітер 30 В;
- максимально допустимий постійний (імпульсний) струм колектора 1500 (3000) мА;
- максимально допустима постійна розсіювана потужність колектора без тепловідводу (з теплоотводом) 1 (10) Вт;
- статичний коефіцієнт передачі струму біполярного транзистора в схемі із загальним емітером 40-275;
- зворотний струм колектора  $\leq 50$  мкА;

– гранична частота коефіцієнта передачі струму в схемі з загальним емітером => 3 МГц;

– коефіцієнт шуму біполярного транзистора <0.6 дБ.

Наступним етапом розраховуємо струм бази, який потрібно створити, щоб забезпечити струм колектора 300 мА. Як відомо, струм колектора пов'язаний зі струмом бази співвідношенням

$$I_k = I_b \cdot h_{21e} = \frac{0.3}{60} = 0.005 \text{ А},$$

де  $h_{21e}$  – статичний коефіцієнт передачі струму.

При відсутності додаткових даних було взяте табличне гарантоване мінімальне значення для КТ815А – 60.

Розраховуємо втрати потужності на транзисторі:

$$P = I_k \cdot U_{ке.нас} = 0,005 \cdot 0,3 = 0,0015 \text{ Вт}.$$

Так як втрати потужності малі, то додаткові засоби охолодження не потрібні.

## 4 СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ КВАДРОКОПТЕРОМ

### 4.1 Основні поняття машинного навчання і нейронних мереж

Для вирішення завдання навчання по прецедентах в першу чергу фіксується модель відновлюваної залежності. Потім вводиться функціонал якості, значення якого показує, наскільки добре модель описує спостережувані дані. Алгоритм навчання (learning algorithm) шукає такий набір параметрів моделі, при якому функціонал якості на заданій навчальній вибірці приймає оптимальне значення. Процес настройки (fitting) моделі за вибіркою даних в більшості випадків зводиться до застосування числових методів оптимізації.

В навчанні з підкріпленням (reinforcement learning) роль об'єктів грають пари «ситуація, прийняте рішення», відповідями є значення функціоналу якості, що характеризує правильність прийнятих рішень (реакцію середовища).

Нейронна мережа – це математична модель, а також її програмна або апаратна реалізація, побудована в певному сенсі за образом і подобою мереж нервових клітин живого організму. Це один з методів машинного навчання. Таким чином штучна нейронна мережа може бути представлена у вигляді сукупності штучних нейронів, пов'язаних стрілками.

У реальній біологічній нейронній мережі від входів мережі до виходів передається електричний сигнал. В процесі проходження по нейронній мережі він може змінюватися.

Електричний сигнал завжди буде електричним сигналом. Концептуально нічого не змінюється. Змінюється величина цього електричного сигналу (сильніше/слабше). А будь-яку величину завжди можна виразити числом (більше/менше).

На входи мережі будемо подавати якісь числа, що символізують величини електричного сигналу, якби він був. Ці числа будуть просуватися по

мережі і якимось чином змінюватися. На виході мережі отримуємо якесь результуюче число, яке є відгуком мережі. У кожного нейрона, в тому числі і у штучного, повинні бути входи, через які він приймає сигнал.

В нейронних мережах є поняття ваг – це величини на які множаться сигнали, що проходять по зв'язку. Сигнали, що надійшли на входи множаться на свої ваги. Сигнал першого входу  $x_1$  множиться на відповідну йому вагу  $w_1$ , отримуємо  $x_1w_1$ . І так до  $n$ -ого входу. У підсумку на останньому вхід отримуємо  $x_nw_n$ .

Тепер всі значення, що отримані, передаються в суматор. Уже виходячи з його назви можна зрозуміти, що він робить. Він просто підсумовує все вхідні сигнали, помножені на відповідні ваги:

$$x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n = \sum_{i=1}^n x_iw_i.$$

## 4.2 Методи машинного навчання в системах управління

Можливості машинного навчання, тобто здатність навчатися і забезпечувати рекомендації на рівні експертів у вузькій предметній області, забезпечують алгоритми, які діляться на дві великі групи:

- навчання без вчителя (unsupervised learning, UL);
- навчання з учителем (supervised learning, SL).

Крім цього, іноді виділяють:

- навчання з підкріпленням (reinforcement learning, RL);
- напівкероване навчання (semi-supervised learning, SSL).

Головне завдання, яке вирішується алгоритмами машинного навчання, полягає у віднесенні об'єкта, що спостерігається до того чи іншого класу для прийняття подальшого рішення автоматично або людиною. Такі завдання поширені дуже широко. Як приклад можна вказати на завдання, що виникають в процесі руху мобільного автономного робота і пов'язані з розпізнаванням

образів майбутнього шляху; задачі розпізнавання осіб, міміки, емоцій; аналіз дії користувача при отриманні послуг в системах електронної комерції, який дозволяє проводити як оптимізацію інтерфейсу, так і планувати дії системи. В цілому, це аналіз даних в різних інформаційних системах, що дозволяє виконувати передбачені стани або класифікацію об'єктів. Розрізняються способи вирішення зазначеного завдання.

Методи UL вирішують задачу кластеризації, коли множина заздалегідь не позначених об'єктів розбивається на групи шляхом автоматичної процедури виходячи з властивостей цих об'єктів. При цьому кількість груп (кластерів) може бути заздалегідь задано або формуватися автоматично. До числа таких алгоритмів відносяться теорія адаптивного резонансу (adaptive resonance theory – ART) і карти, що самоорганізуються (self-organizing map – SOM) або карти Кохонена, а також велика група алгоритмів кластеризації (k-means, mixture models, hierarchical clustering і ін.).

SL вирішують задачу класифікації, коли в потенційно нескінченній множині об'єктів виділяються кінцеві групи певним чином позначених об'єктів. Зазвичай формування груп виконується експертом. При цьому експерт може пояснювати, а може і не пояснювати, з яких причин він виконав первинну класифікацію.

Алгоритм класифікації повинен, використовуючи цю первісну класифікацію як зразок, віднести наступні непозначені об'єкти до тієї чи іншої організованої експертом групи виходячи з властивостей цих об'єктів. SL включають великий набір алгоритмів або сімейств алгоритмів, які часто поділяються на лінійні і нелінійні класифікатори, в залежності від форми (гіперплощини або гіперповерхні), що розділяють класи об'єктів. У двовимірному випадку лінійні класифікатори поділяють класи єдиною прямою, тоді як нелінійні класифікатори – ломаною лінією (рис. 4.1).

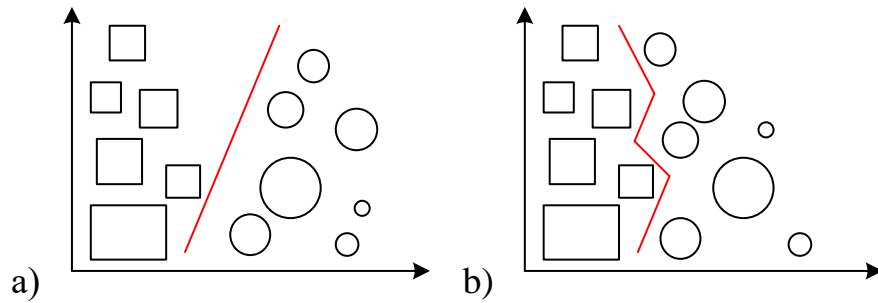


Рисунок 4.1 – Лінійний (а) і нелінійний (b) класифікатори

Основна відмінність навчання з підкріпленням (reinforcement learning) від класичного машинного навчання полягає в тому, що штучний інтелект навчається в процесі взаємодії з навколишнім середовищем, а не на історичних даних. Поєднавши в собі здатність нейронних мереж відновлювати складні взаємозв'язки і самонавчання агента (системи) в reinforcement learning, машини досягли величезних успіхів.

Навчанню з підкріпленням характерні наступні властивості:

- різні дії призводять до різних вигравів. Наприклад, при пошуку скарбів в лабіринті поворот наліво може означати купу діамантів, а поворот направо – яму отруйних змій;

- агент отримує вигреш з затримкою в часі. Це означає, що, повернувши наліво в лабіринті, ми не відразу зрозуміємо, що це правильний вибір;

- вигреш залежить від поточного стану системи. Продовжуючи приклад вище, поворот наліво може бути правильним у поточній частині лабіринту, але не обов'язково в інших.

Навчання з частковим залученням вчителя або напівавтоматичне навчання або часткове навчання (Semi-supervised learning) – спосіб машинного навчання, різновид навчання з учителем, який також використовує немарковані дані для навчання – зазвичай невелику кількість розмічених даних і велику кількість нерозмічених даних.

Напівавтоматичне навчання займає проміжну позицію між навчанням без учителя (без залучення будь-яких розмічених даних для тренування) і навчанням з учителем (з залученням лише розмічених даних).

Багато дослідників машинного навчання виявили, що немарковані дані, при використанні в поєднанні з невеликою кількістю розмічених даних, можуть значно поліпшити точність навчання.

Завдання розмічених даних для завдання навчання часто вимагає кваліфікованої людини (наприклад, для транскрибування аудіо файлу) або фізичного експерименту (наприклад, для визначення 3D структури білка або виявлення наявності нафти в певному регіоні). Тому витрати на розмітку даних можуть зробити процес навчання з використанням лише розмічених даних нездійсненним, в той час як процес завдання нерозмічених даних не є дуже витратним. У таких ситуаціях, напівавтоматичне навчання може мати велике практичне значення. Таке навчання також становить інтерес в сфері машинного навчання і як модель для людського навчання.

#### 4.2.1 Стратегія навчання з підкріпленням

Формально найпростіша модель навчання з підкріпленням складається з:

- множини станів оточення  $S$ ;
- множини дій  $A$ ;
- множини дійсних скалярних «виграшів».

У довільний момент часу  $t$  агент характеризується станом  $s_t \in S$  і множиною можливих дій  $A(s_t)$ . Вибираючи дію  $a \in A(s_t)$ , він переходить в стан  $s_{t+1}$  і отримує виграш  $r_t$ . Грунтуючись на такій взаємодії з навколишнім середовищем, агент, який навчається з підкріпленням, повинен виробити стратегію  $\pi: S \rightarrow A$ , яка максимізує величину  $R = r_0 + r_1 + \dots + r_n$  в разі МППР, що має термінальний стан, або величину

$$R \sum_t \gamma^t r_t$$

для МППР без термінальних станів (де  $0 \leq \gamma \leq 1$  – дисконтний множник для «майбутнього виграшу»).

Таким чином, навчання з підкріпленням особливо добре підходить для вирішення завдань, пов'язаних з вибором між довгостроковою і короткостроковою вигодою. Воно успішно застосовувалося в різних областях, таких як робототехніка, управління перевезеннями, телекомунікації.

Тепер, коли була визначена функція виграшу, потрібно визначити алгоритм, який буде використовуватися для знаходження стратегії, що забезпечує найкращий результат.

Наївний підхід до вирішення цього завдання має на увазі наступні кроки:

- випробувати всі можливі стратегії;
- вибрати стратегію з найбільшим очікуваним виграшем.

Перша проблема такого підходу полягає в тому, що кількість доступних стратегій може бути дуже великою або ж нескінченною. Друга проблема виникає, якщо виграші стохастичні – щоб точно оцінити виграш від кожної стратегії буде потрібно багато разів застосувати кожну з них. Цих проблем можна уникнути, якщо допустити деяку структуру і, можливо, дозволити результатам, отриманим від проби однієї стратегії, впливати на оцінку для іншої. Двома основними підходами для реалізації цих ідей є оцінка функцій корисності і пряма оптимізація стратегій.

Підхід з використанням функції корисності використовує безліч оцінок очікуваного виграшу тільки для однієї стратегії  $n$  (або поточної, або оптимальної). При цьому намагаються оцінити або очікуваний виграш, починаючи з стану  $s$ , при подальшому проходженні стратегії  $n$ ,

$$V(s) = E[R | s, n],$$

або очікуваний виграш, при ухваленні рішення  $a$  в стані  $s$  і надалі дотриманні  $n$ ,

$$Q(s, a) = E[R | s, n, a].$$

Якщо для вибору оптимальної стратегії використовується функція корисності  $Q$ , то оптимальні дії завжди можна вибрати як дії, що максимізують корисність. Якщо ж користуємося функцією  $V$ , необхідно або мати модель оточення у вигляді ймовірностей  $P(s' | s, a)$ , що дозволяє побудувати функцію корисності виду

$$Q(s, a) = \sum_{s'} V(s') P(s' | s, a),$$

або застосувати т.зв. метод виконавець-критик, в якому модель ділиться на дві частини: критик, що оцінює корисність стану  $V$ , і виконавець, що вибирає сприятливу дію в кожному стані.

Маючи фіксовану стратегію  $n$ , оцінити  $E[R | \cdot]$  при  $\gamma = 0$  можна просто усереднивши безпосередні виграші. Найбільш очевидний спосіб оцінки при  $\gamma > 0$  – усереднити сумарний виграш після кожного стану. Однак для цього потрібно, щоб МППР досяг термінального стану (завершився).

Тому побудова шуканої оцінки при  $\gamma > 0$  неочевидна. Однак, можна помітити, що  $R$  утворюють рекурсивне рівняння Беллмана:

$$E[R | s_t] = r_t + \gamma E[R | s_{t+1}].$$

Підставляючи наявні оцінки,  $V$ , і застосовуючи метод градієнтного спуску з квадратичною функцією помилок, приходимо до алгоритму навчання з тимчасовими впливами. У найпростішому випадку і стан, і дії дискретні і можна дотримуватися табличних оцінок для кожного стану. Інші схожі методи: адаптивний евристичний критик (Adaptive Heuristic Critic, АНС), SARSA і  $Q$ -навчання (Q-learning). Всі вищезгадані використовують різні методи наближення, але в деяких випадках збіжність не гарантовано. Для уточнення оцінок використовується метод градієнтного спуску або метод найменших квадратів у випадку лінійних наближень.

Зазначені методи не тільки сходяться до коректної оцінки для фіксованої стратегії, але і можуть бути використані для знаходження оптимальної стратегії. Для цього в більшості випадків приймають стратегію з максимальною оцінкою, приймаючи іноді випадкові кроки для дослідження простору. При виконанні деяких додаткових умов існують докази збіжності згаданих методів до оптимальної стратегії. Однак, ці докази гарантують тільки асимптотичну збіжність, в той час як поведінка алгоритмів навчання з підкріпленням в задачах з малими вибірками мало вивчена, не рахуючи деяких дуже обмежених випадків.

Альтернативний метод пошуку оптимальної стратегії – шукати безпосередньо в просторі стратегій. Такі методи визначають стратегію як параметричну функцію  $n(s, \theta)$  з параметром  $\theta$ . Для налаштування параметрів застосовуються градієнтні методи. Однак, застосування градієнтних методів ускладнюється тим, що відсутня інформація про градієнти. Більш того, градієнт теж доводиться оцінювати через результати виграшів, що зашумлені. Так як це суттєво збільшує обчислювальні витрати, може бути вигідніше використовувати більш потужні градієнтні методи, такі як метод якнайшвидшого спуску. Алгоритми, що працюють безпосередньо з простором стратегій привернули значну увагу в останні 5 років і в даний момент досягли

досить зрілої стадії, але до сих пір залишаються активним полем для досліджень. Існують і інші підходи, такі як метод відпалу, що застосовуються для дослідження простору стратегій.

#### 4.2.2 Застосування навчання з підкріпленням в управлінні електродвигуном

Для вирішення задачі ухилення квадрокоптеру від перешкоди застосовано алгоритм навчання з підкріпленням. Стартова позиція квадрокоптеру, положення перешкоди і параметри польоту вибиралися довільно. Проведено ряд експериментів, в ході яких система управління навчалася уникати зіткнення з перешкодою і відновлювати початкове положення, прикладаючи мінімальні зусилля в двигунах. При цьому для побудови системи управління використовувалася тільки інформація про стан квадрокоптеру, про здійснюваних діях і про подію зіткнення. Після кількох повторень системі управління вдається уникнути зіткнення квадрокоптеру з перешкодою. В результаті подальших повторень рух квадрокоптеру стає плавнішим.

Система управління логічно складається з двох модулів: кінематичний синтез траєкторії за допомогою навчання з підкріпленням і реалізація траєкторії. Для проходження по траєкторії використовується класична система безперервного управління з лінеаризацією за допомогою зворотного зв'язку. Синтез траєкторії здійснюється розробленим алгоритмом на основі навчання з підкріпленням.

Добре досліджена сфера побудови систем управління для промислових квадрокоптерів для сільськогосподарських потреб (оприскування полів, контроль зрілості і т.п.). Але керовані таким чином квадрокоптери призначені тільки для використання в умовах польоту переважно над полями, для виконання однієї конкретної задачі, в умовах практичної відсутності

перешкод. Більш «гнучкі» системи управління можуть бути побудовані за допомогою операційного управління.

За допомогою цього методу можна незалежно управляти будь-якими параметрами польоту квадрокоптеру, наприклад, висота і напрямок руху, не замислюючись про їх взаємовплив. І хоча система управління як і раніше «жорстка», за допомогою цієї технології набагато простіше вирішити багато завдань, що вимагають адаптації в реальному часі, такі як податливість або спільне управління.

Є різні методи побудови алгоритмів керування квадрокоптером за допомогою машинного навчання. Одним з напрямків є використання статистичних алгоритмів, заснованих на прихованій марківській моделі. Принципово методи з даної групи відрізняються способом завдання управління і способом навчання.

Для завдання управління широко застосовуються нейронні мережі, сплайни, динамічні системи, що задають аттрактори форми, що настроюється, для подання рухів. Важливими перевагами останнього підходу є швидкість навчання, простота застосування до завдань з відмінними параметрами (наприклад, координатою аттрактора), стійкість до невеликих збурень.

Для навчання цих моделей можуть використовуватися алгоритми регресії, налаштовують параметри моделі згідно з даними прикладів руху, або навчання з підкріпленням. Можливо також спільне застосування цих алгоритмів, коли спочатку параметри моделі налаштовуються за допомогою регресії на основі прикладів рухів, заданих людиною, а потім вони налаштовуються за допомогою навчання з підкріпленням, покращуючи характеристики управління. У роботі розглядається підхід, який використовує в якості моделі, яка описує траєкторії, інтерполяцію сплайнами. Параметри моделі налаштовуються за допомогою алгоритму навчання з підкріпленням.

### 4.3 Математична модель адаптивної системи управління

Розробка систем управління передбачає побудову моделі об'єкта управління і налаштування системи управління на основі отриманої моделі. Однак найчастіше побудова моделі управління буває утруднена або неможлива. У таких випадках може бути використана емпірична настройка регулятора або побудова моделі, як чорного ящика. Останній підхід успішно реалізується методами машинного навчання. При цьому застосовується стратегія навчання з учителем. Однак існує клас методів, що реалізують іншу стратегію – навчання з підкріпленням. Дані методи передбачають розгляд регулятора в якості агента, що діє в просторі станів. В роботі розроблено систему регулювання, засновану на застосуванні зазначеної стратегії, з використанням ПД-регулятора для зменшення впливу зовнішніх збудників (вітер, висхідні потоки теплого повітря і т.п.). В якості методу навчання з підкріпленням використано алгоритм  $Q$ -навчання.

Відповідно до даного методу навчання агента відбувається в кілька епізодів. На кожному епізоді агент робить деяку дію, відповіддю на яку є величина підкріплення. Застосована дія, стану системи що мав місце і отримане підкріплення формує функцію  $Q(a, s)$ , яка може бути апроксимована за допомогою нейронної мережі. Мета агента – мінімізація даної величини.

Розглянемо систему управління польотом квадрокоптера. Агентом є літальний апарат, він може керувати двигунами – обертати ними або припиняти обертання. Підкріпленням є вплив літального апарату – рух двигунів.

Управління квадрокоптера повністю в ручному режимі не тривіальна задача. Для управління необхідно аналізувати близько семи вхідних параметрів і виконувати чотири керуючих впливи в реальному часі. У зв'язку з цим розробка моделі системи автоматичного управління (САУ) квадрокоптера, є актуальним завданням. Основне завдання системи

управління полягає в тому, щоб стабілізувати квадрокоптер в заданих координатах  $(x, y, z)$ , стабілізувати площину, в якій обертаються пропелери, паралельно площині горизонту (зменшити кути крену і тангажу), а також стабілізувати поздовжню вісь корпусу апарату (кут рискання). Іншими словами, слід зробити стабілізацію за всіма шістьма ступенями свободи.

Пропонована система автоматичного управління істотно полегшить оператору управління квадрокоптером. Оператор повинен буде призначити мету і кінцеву орієнтацію, а квадрокоптер самостійно її досягне. Побудову моделі системи автоматичного управління здійснюватимемо в наступних обмеженнях:

- раму квадрокоптера будемо вважати абсолютно жорсткою;
- деталі, з яких зроблений апарат однакові по щільності і масі, тобто квадрокоптер має ідеальну симетричну конструкцію;
- квадрокоптер буде абсолютно твердим тілом з шістьма ступенями свободи;
- сила опору повітря не враховується.

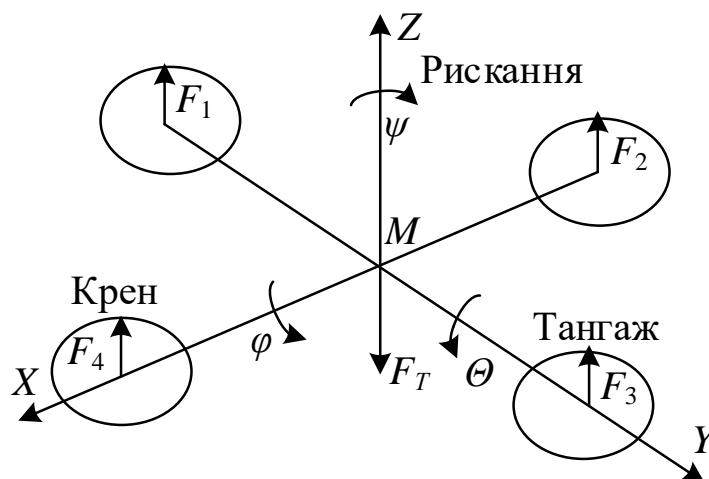


Рисунок 4.2-Аналітична модель

Квадрокоптер описується шістьма ступенями свободи три поступальні  $(x, y, z)$  і три обертальні  $(\phi, \theta, \psi)$ . Для опису поступальної ходи будемо використовувати інерційну систему відліку, пов'язану з землею, а для обертального руху будемо використовувати систему відліку, пов'язану з корпусом апарату. В інерціальній системі прискорення апарату викликане тягою двигунів і гравітацією. Для отримання вектора сили в інерціальній системі відліку, можна використовувати матрицю повороту  $R$  для перенесення вектора тяги з системи відліку апарату в інерційну систему відліку. Таким чином, поступальний рух може бути описано рівнянням

$$mr = F,$$

$$I\omega B + \omega B \cdot I\omega = M.$$

Нехтуючи силами опору, і роблячи невеликий кут наближення, модель може бути виражена як,

$$m \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \psi & \theta \\ \psi & 1 & \phi \\ \theta & \phi & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix}.$$

Припускаючи постійну загальну тягу  $T = mg$ , крім в напрямку  $z$ ,

$$m \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\bar{T} & 0 \\ \bar{T} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix}.$$

Звернемо увагу, що  $\psi$  (рискання) не з'являється в лінійних динамічних рівняннях. Лінеаризація кутових рівнянь, поряд із заміною на даний момент  $M$ , дає в результаті,

$$m \begin{bmatrix} I_{xx} & \phi \\ I_{yy} & \theta \\ I_{zz} & \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -l & 0 & -l \\ l & 0 & -l & 0 \\ K_r & -K_r & K_r & -K_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix},$$

де  $l$  – довжина руки,  $K_r$  – пропорційна постійна, що відносить тягу до кутового обертального моменту і  $T_i$  це тяга від ротора  $i$ .

Короткий виклад лінійних рівнянь в просторі станів представлений нижче,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} r_x \\ \dot{r}_x \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_x \\ \dot{r}_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -g \end{bmatrix} \theta, \\ \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ l/I_{yy} \end{bmatrix} u_\theta, \\ \begin{bmatrix} r_y \\ \dot{r}_y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_y \\ \dot{r}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix} \phi, \\ \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ l/I_{xx} \end{bmatrix} u_\phi, \\ \begin{bmatrix} r_z \\ \dot{r}_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_z \\ \dot{r}_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix} T, \end{aligned}$$

де  $T$  – повна різниця тяги від зависання при умовах,  $u_\theta = (T_1 - T_3)$  і  $u_\phi = (T_2 - T_4)$ .

Остаточний результат для рівнянь обертального руху в системі координат, пов'язаній з апаратом, представимо у вигляді

$$\dot{\omega} = \begin{bmatrix} N_{\phi} I_{xx}^{-1} \\ N_{\theta} I_{yy}^{-1} \\ N_{\psi} I_{zz}^{-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} \omega_y \omega_z \\ \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} \omega_x \omega_z \\ \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} \omega_x \omega_y \end{bmatrix}.$$

Уявімо модель САУ у вигляді «чорного ящика». Тоді, для наступних вхідних сигналів поточні координати апарату  $x$ ,  $y$  і  $z$ , кути крену  $\phi$ , тангажу  $\theta$  і ролу  $\psi$ , координати цілі, яку потрібно досягти  $M$ ,  $N$  і  $P$ , а так же кут потрібної орієнтації. Управління квадрокоптера забезпечується шляхом маніпулювання значенням тяги на кожному окремому двигуні. Тому виходами системи управління будуть тяги  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  і  $T_4$ . Модель системи автоматичного управління представлена на рис. 4.3.

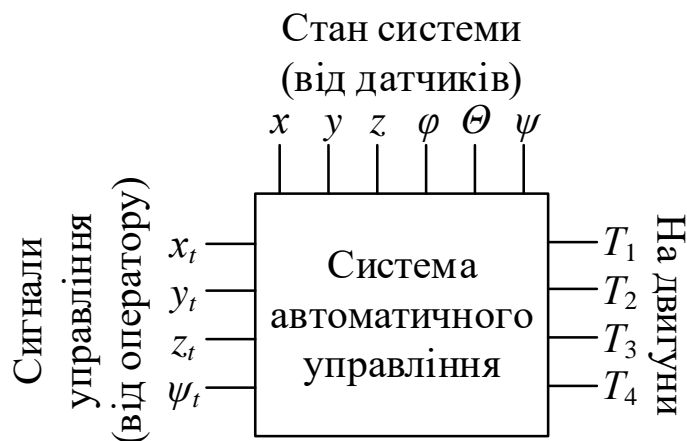


Рисунок 4.3 – Модель системи автоматичного управління квадрокоптера

Комбінуючи вищезгадані регулятори разом, отримуємо остаточне управління для кожного двигуна:

$$T_1 = Tmg + T_z - T_\varphi + T_\psi - T_{yx'},$$

$$T_2 = Tmg + T_z - T_\theta - T_\psi - T_{xy'},$$

$$T_3 = Tmg + T_z + T_\varphi + T_\psi + T_{yx'},$$

$$T_4 = Tmg + T_z + T_\theta - T_\psi - T_{xy'},$$

Експериментальні дослідження запропонованої моделі проводилися в середовищі Matlab при наступних значеннях параметрів:

- маса апарату  $m = 3$  кг.;
- маса одного пропелера  $m_r = 0,01$  кг.;
- відстань між протилежними двигунами  $l = 1$  м.

Коефіцієнт в пропорційному регуляторі для тангажу  $k_{p\varphi} = k_{p\theta} = 0,1$ . Коефіцієнт в диференціальному регуляторі для тангажу  $k_{d\varphi} = k_{d\theta} = 4$ . Коефіцієнт в пропорційному регуляторі для висоти  $k_{pz} = 1$ . Коефіцієнт в диференціальному регуляторі для висоти  $k_{dz} = 1,5$ . Коефіцієнт в пропорційному регуляторі для ристання  $k_{p\psi} = 2$ . Коефіцієнт в диференціальному регуляторі для ристання  $k_{d\psi} = 1$ . Коефіцієнт в пропорційному регуляторі для стабілізації в площині  $X_oY$   $k_{pxy} = 1$ . Коефіцієнт в диференціальному регуляторі для стабілізації в площині  $X_oY$   $k_{dxy} = 5$ . Коефіцієнт в пропорційному регуляторі для стабілізації в площині  $X_oY$   $k_{pyx} = 1$ . Коефіцієнт в диференціальному регуляторі для стабілізації в площині  $X_oY$   $k_{dyx} = 5$ . Коефіцієнт крутизни реакції по переміщенню поблизу мети  $s = 2$ . Коефіцієнт крутизни реакції швидкості  $s = 3$ .

Параметри регуляторів підбиралися емпіричним методом. Як експериментальний розглядалося рух квадрокоптеру від точки старту – початок координат  $(0, 0, 0)$  – до мети – точка  $(1, 2, 3)$ . Початкова орієнтація по

куту  $\psi$  становила  $0^\circ$ , а цільова орієнтація повинна бути  $45^\circ$ . Результати моделювання представлені на рис. 4.4-4.5.

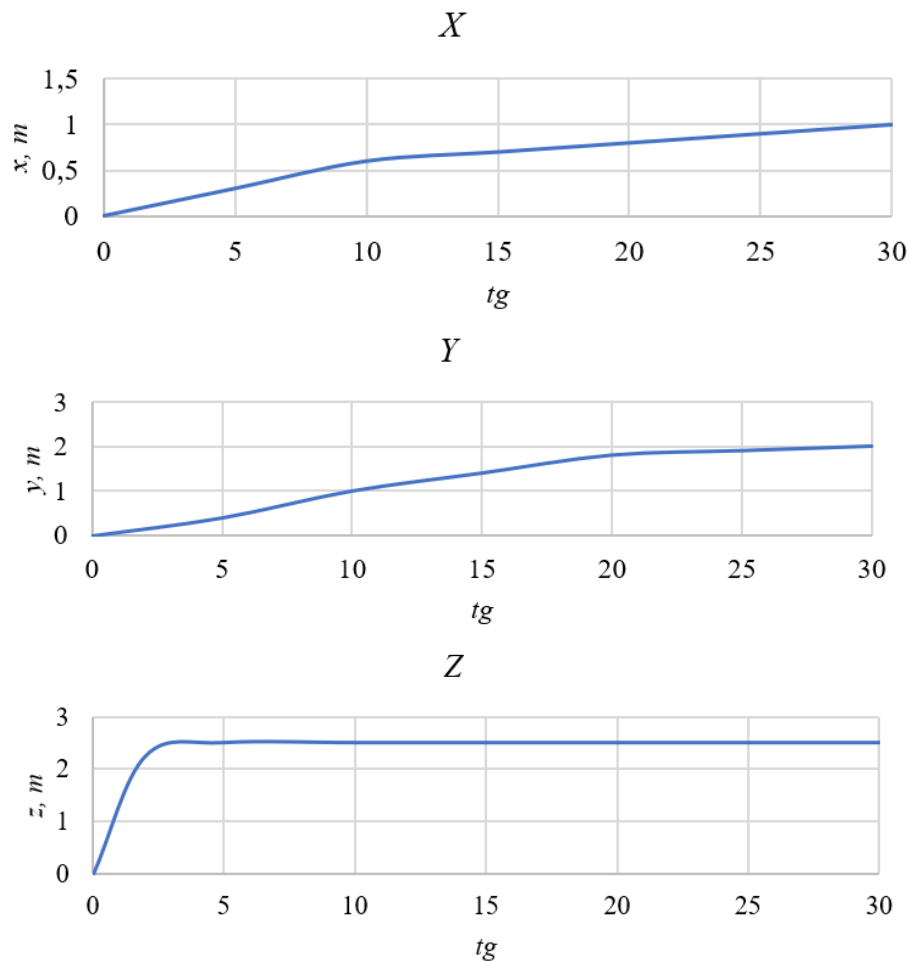


Рисунок 4.4 – Координати переміщення центру мас апарату

#### 4.3.1 Управління з використанням ПД-регулятора

Більш надійний підхід полягає в застосуванні інтегрального управління LQR до системи з ПД-регулятором. Для цього підходу розглянуто зв'язок між лінійною і кутовою динамікою.

ПД – регулятор був винайдений ще в 1910 році; пізніше, в 1942 р, Зіглер і Нікольс розробили методику настройки ПД-регулятора, а появи мікропроцесорів в 80-х роках, посприяла розвитку ПД-регуляторів.

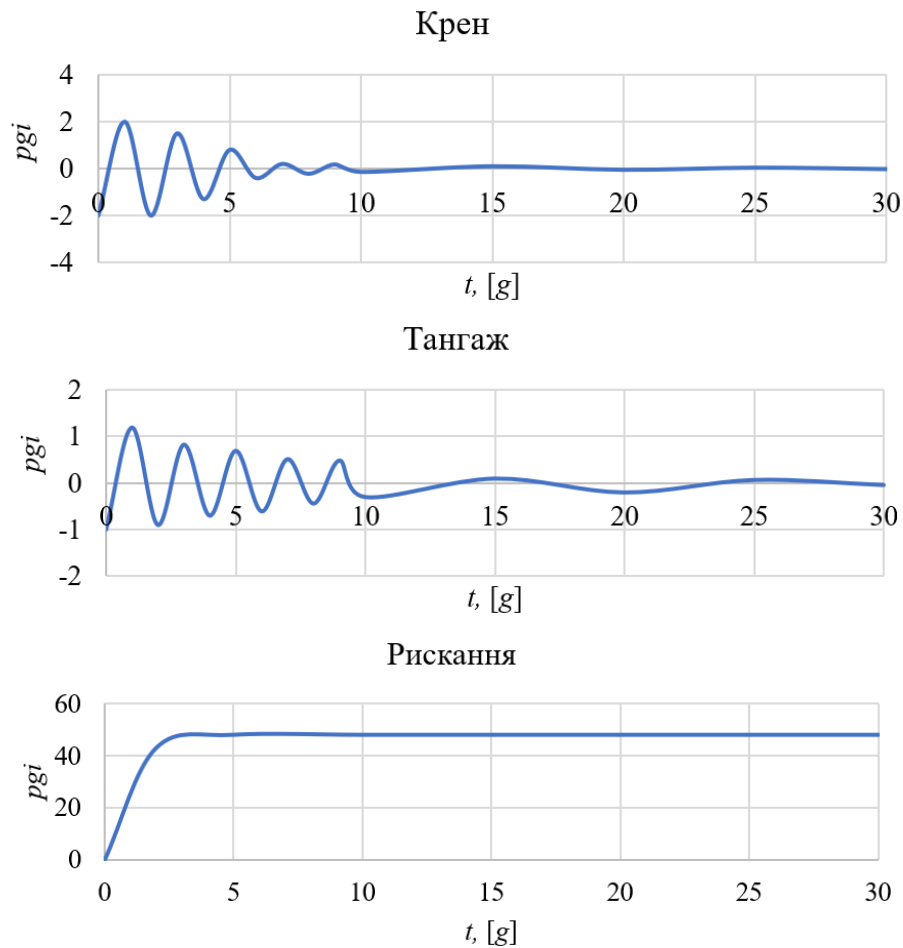


Рисунок 4.5 – Орієнтація апарату в польоті

ПД – регулятор відноситься до найпоширенішого типу регуляторів. Близько 90-95% регуляторів, що знаходяться в даний час в експлуатації, ґрунтуються на ПД-алгоритмі. Причиною такої високої популярності є простота побудови і промислового застосування, зрозумілість функціонування, придатність для вирішення більшості практичних завдань і низька вартість.

Динамічна модель, представлена вище, містить два гіроскопічних ефекти. Вплив цих ефектів, в загальному, на систему в даному випадку менш важливий, ніж обертальні властивості двигуна. Особливо якщо фокусувати увагу на режимі зависання квадрокоптеру на певній висоті. Для того, щоб зробити можливим створення декількох ПД-регуляторів для досліджуваної

системи, можна знехтувати цими гіроскопічними ефектами і тим самим усунути перехресний зв'язок в системі управління. Таким чином, модель польоту можна переписати в наступному вигляді:

$$\begin{cases} I_{xx}\dot{\varphi} = lU_2 \\ I_{yy}\dot{\theta} = lU_3 \\ I_{zz}\dot{\psi} = U_4. \end{cases}$$

Якщо в формулу додати, динаміку роторів і переписати модель в Лапласовому зображенні, то отримаємо

$$\begin{cases} \varphi(s) = \frac{B^2bl}{s^2(s+A)^2 I_{xx}} (u_4^2(s) - u_2^2(s)) \\ \theta(s) = \frac{B^2bl}{s^2(s+A)^2 I_{yy}} (u_3^2(s) - u_1^2(s)) \\ \psi(s) = \frac{B^2b}{s^2(s+A)^2 I_{zz}} (-1)^{i+1} \sum_{i=1}^4 u_i^2(s), \end{cases}$$

де  $A$  і  $B$  це коефіцієнти лінеаризованої за допомогою ряду Тейлора динаміки ротора, тоді як коефіцієнт  $C$ , занадто малий у порівнянні з  $B$ , і їм можна знехтувати. Використовуючи керуючі впливи  $U_i$  замість вхідних сигналів моторів  $u_i$ , отримуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi(s) = \frac{B^2 b l}{s^2 (s + A)^2 I_{xx}} U_2 \\ \theta(s) = \frac{B^2 b l}{s^2 (s + A)^2 I_{yy}} U_3 \\ \varphi(s) = \frac{B^2 b}{s^2 (s + A)^2 I_{zz}} U_4. \end{array} \right.$$

Коригування руху квадрокоптера відбувається шляхом використання ПД-регуляторів. Так як під час польоту необхідно забезпечувати стабілізацію по всіх осях руху квадрокоптеру. Таким чином отримуємо, що необхідно реалізувати чотири ПД-регулятора. Перший буде стабілізувати крен, другий буде стабілізувати тангаж, третій буде стабілізувати ролання, а четвертий відповідає за стабілізацію квадрокоптера по висоті. Під час налаштування ПД-регуляторів, основний упор робиться на регуляторі, що відповідає за утримання висоти.

Для настройки ПД-регулятора був використаний метод Зіглера–Нікольса. Цей метод є найбільш поширеним при налаштуванні ПД-регулятора. Процедура настройки починається з експериментального дослідження системи, що складається з П-регулятора і заданого об'єкта регулювання. Коефіцієнт передачі П-регулятора збільшується до тих пір, поки на виході системи не встановляться коливання з постійною амплітудою коливань, тобто система не виявиться на межі стійкості. Результат фіксується і позначається через значення коефіцієнта передачі регулятора, при якому система знаходиться на межі стійкості. Вимірюється період сталих в системі коливань. Значення параметрів регулятора обраного типу розраховуються за формулами, наведеними в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри типових регуляторів

	$k_{\Pi}$	$k_I$	$k_D$
П-регулятор	$0,50k_{\Pi}^*$		
ПІ-регулятор	$0,45k_{\Pi}^*$	$0,54k_{\Pi}^*/T^*$	
ПІД-регулятор	$0,60k_{\Pi}^*$	$1,20k_{\Pi}^*/T^*$	$0,075k_{\Pi}^*T^*$

Розрахунок параметрів регулятора за формулами, часто не може дати ідеального результату. Так як аналітичні розрахунки ґрунтуються на спрощеній моделі об'єкта. Тому після аналітичних розрахунків рекомендується зробити підстроювання регулятора. Підстроювання виконується на основі правил. Ці правила отримані з численних параметрів, теоретичного аналізу і досвіду, і мають наступний вигляд:

- збільшення пропорційного коефіцієнта збільшує швидкодію і знижує запас стійкості;
- зі зменшенням інтегральної складової помилка регулювання з плином часу зменшується швидше;
- зменшення постійної інтегрування зменшує запас стійкості;
- збільшення диференціальної складової збільшує запас стійкості і швидкодію.

Таким чином, були визначені коефіцієнти регулятора, і виконано підстроювання:

- $k_{\Pi} = 1,9$ ;
- $k_I = 0,95$ ;
- $k_D = 5,2$ .

Графік перехідного процесу представлений на рис. 4.6, з графіка видно, що перехідний процес є сталим, усталене значення входить в коридор

припустимих значень в 5%. І можна сказати, що такий перехідний процес повністю задовольняє вихідній задачі.

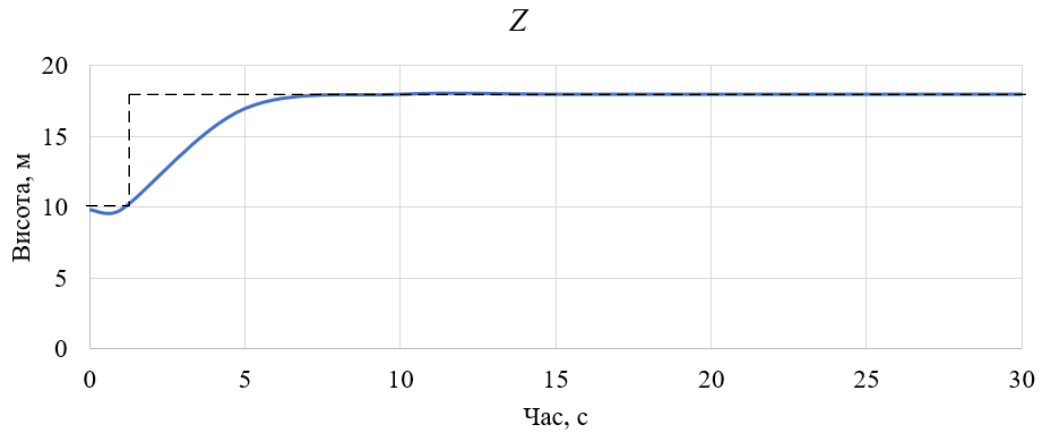


Рисунок 4.6 – Перехідний процес регулювання висоти

Таким чином, була побудована математична модель квадрокоптера, та синтезована система автоматичного управління його рухом, проведені комп'ютерні експерименти в середовищі MATLAB, які показали адекватність отриманих моделей. В результаті математичного моделювання були отримані параметри системи автоматичного управління, що забезпечують рух центру мас квадрокоптера в задану точку.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Вступ

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності [11].

Наведене вище визначення охорони праці, яке встановлене Законом України «Про охорону праці», свідчить, що охорона праці являє собою сукупність законів, нормативно-правових актів, а також комплекс різноманітних заходів та засобів, які забезпечують безпеку праці, збереження життя, здоров'я та працездатності людей при виконанні ними трудових обов'язків.

Охорона праці водночас вирішує дві задачі.

Одна з них – інженерно-технічна, що передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними;
- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання;
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці;
- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друга задача – соціальна, пов'язана з відшкодуванням матеріальної та соціальної шкоди, отриманої внаслідок нещасного випадку або роботи в несприятливих умовах, тобто захист працівника та його прав. Виходячи з поставлених перед нею задач, охорона праці складається з правових та організаційних основ, виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки на виробництві [12].

Всі розробки з точки зору охорони праці регулюються Законом України «Про охорону праці» та іншою нормативною документацією.

## 5.2 Загальна характеристика приміщення

Приміщення підприємства, в якому проводиться основна робота має характеристики, які наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристика приміщення

Шкідливі та небезпечні фактори на робочому місці	Джерела утворювання небезпеки	Примітка (данні наведені для технічного відділу)
Електрична напруга 220В; шум; випромінювання: електромагнітне та теплове; статична електрика; іонізація повітря; неякісне освітлення.	2 -ПЕОМ, світильники (лампи).	Розміри приміщення (м): довжина – 10; ширина – 5; висота – 3. Кількість працюючих – 8.

Робоче місце, яке обладнано комп'ютерами, повинне відповідати ДСанПіН 3.3.2-007-98[13].

Будівлі та приміщення, де розміщене робоче місце також повинно відповідати вимогам нормативно-технічної та експлуатаційної документації виробника персональних комп'ютерів, а також ДСанПіН 3.3.2-007-98 [13]. На одне робоче місце повинно бути виділено не менше 6,0 кв.м., а отже площа приміщення має бути не менше 6,0 кв. м., а об'єм – не менше 20,0 куб.м. За умовами завдання це виконується повністю. В приміщенні немає умов, які створюють підвищену або особливо підвищену небезпеку, тому воно відноситься до класу звичайних. Джерелом живлення є однофазна мережа напруги 220 В з глухо заземленою нейтраллю, з частотою 50 Гц. За пожежонебезпекою приміщення відноситься до класу В (ДСТУ Б.В. 1.1-36:2016) [14].

### 5.3 Загальна характеристика процесу праці

Робота за ПЕОМ характеризується підвищеною розумовою напругою, нервово-емоційним навантаженням, значною напругою зорових аналізаторів та досить високим навантаженням на м'язи рук.

Під час роботи за ПЕОМ виконується напружена зорова робота за наступних умов освітлення: мінімальний розмір об'єкта розрізнення складає  $0,3 \div 0,5$  мм; яскравість знака (яскравість фону) – від 35 до 120 кд/м<sup>2</sup>; контраст – середній (від 3:1 до 1,5:1) згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 [14].

Оператор має 10 хвилин перерви на кожну годину праці. Умови роботи за важкістю та напруженістю повинні відповідати I та II категоріям згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 [14].

### 5.4 Перелік небезпечних та шкідливих факторів

При роботі за комп'ютером на людину впливають ряд шкідливих і небезпечних факторів, що класифікуються відповідно до таблиці 5.2 наведено перелік небезпечних і шкідливих факторів.

Таблиця 5.2 – Перелік небезпечних і шкідливих факторів

Назва фактора	Джерело виникнення	Значення параметрів, що нормуються	Нормативні документи
1	2	3	4
Фізичні			
1.1 Підвищений рівень електромагнітних випромінювань	Електронно-променева трубка монітору	На відстані 5 см від екрану рівень випромінювання не повинен	НПАОП 0.00-1.28-10 [4]

		перевищувати 100 мкР/год	
1.2 Прямий та відбитий відблиск	Невірне розташування ПЕОМ, особливість поглинання світла монітором	$P=40$	ДСанПіН 3.3.2-007-98[3]
1.3 Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	Неправильна робота системи вентиляції та кондиціонування повітря.	Холодний період: $22 \div 24^{\circ}$ Теплий період: $23 \div 25^{\circ}$	ДСН 3.3.6.042-99 [5]
1.4 Знижена чи підвищена вологість повітря робочої зони	Неправильна робота системи вентиляції та кондиціонування повітря.	$\varphi = 40 \div 60\%$	ДСН 3.3.6.042-99 [5]
1.5 Знижена чи підвищена рухомість повітря робочої зони	Неправильна робота системи вентиляції та кондиціонування повітря.	$v \leq 0,1$ м/с	ДСН 3.3.6.042-99 [5]
1.6 Підвищений рівень статичної електрики	Діелектрична поверхня комп'ютера, джерела живлення, монітор, неекранований корпус	$E \leq 20$ кВ/м	ДСанПіН 3.3.2-007-98[3]
1.7 Підвищена яскравість світла	Невірне розташування монітора	$B = 100$ кд/м <sup>2</sup>	НПАОП 0.00-1.28-10[4]
1.8 Відсутність або недолік природного світла	Невірне розташування віконних отворів	$ln$ не нижче 1,08%	ДБН В. 2.5-28-2016[7]

1.9 Недостатня освітленість робочої зони	Невірне розташування ламп денного світла	$E_{min} = 400$ лк	ДБН В. 2.5-28-2016[7]
1.10 Підвищена пульсація потоку світла	Лампи денного світла, монітор	$K_p = 5\%$	НПАОП 0.00-1.28-10[4]
1.11 Підвищений рівень шуму на робочому місці	Вентилятор, техніка для друку	$LA = 50$ дБ(А)	ДСанПіН 3.3.2-007-98[3]
1.12 Підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі	Мережа живлення	$I \leq 0,3$ мА $U_{dot} = 2$ В	ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008[16]
Хімічні			
2.1. Виробничий пил	Статична електрика, накопичена на поверхні комп'ютера. Нерегулярне вологе прибирання.	$ГДК = 10$ мг/м <sup>3</sup>	ДСанПіН 3.3.2-007-98 [3]
Психофізіологічні			
3.1 Розумова перенапруга	Відповідальність, складність задачі	Категорія роботи – напружена	НПАОП 0.00-1.28-10[4]
3.2 Перенапруга аналізаторів	Складність задачі	Зниження витривалості до вихідного 40÷50%	НПАОП 0.00-1.28-10[4]
3.3 Емоційне перевантаження	Відповідальність, складність задачі	Подовження часу реакції на світло та звук	НПАОП 0.00-1.28-10[4]

		до вихідного 40÷50%	
--	--	------------------------	--

## 5.5 Виробнича санітарія

### 5.5.1 Мікроклімат виробничого приміщення

На працездатність людини великий вплив чинить мікроклімат приміщення. Навколишнє середовище визначається діючим на організм людини сполученням вологості, температури та швидкості руху повітря. Робота дослідника не потребує фізичних навантажень, але оскільки робота відноситься до нервово-напруженої праці, то умови мікроклімату в приміщенні відповідають нормальним значенням у відповідності до ДСН 3.3.6.042-99 [15]. Параметри мікроклімату наведені у табл. 5.3.

Для забезпечення комфортних умов у холодний період року діє загальна система опалення, а у теплий – вентиляція (штучна, механічна припливно-витяжна) та кондиціонування згідно зі ДБН В.2.5-67:2013 [15].

Таблиця 5.3 – Оптимальні параметри мікроклімату

Категорія робіт	Період року	Температура t, °C	Відносна вологість φ, %	Швидкість руху повітря v, м/с
Легка Ia	холодний	22 ÷ 24	40 ÷ 60	≤ 0,1
Легка Ia	теплий	23 ÷ 25	40 ÷ 60	≤ 0,1

### 5.5.2 Природне освітлення

Освітлення – важливий фактор для працездатності оператора. Оскільки розряд зорової роботи III, тому необхідно використовувати суміщене освітлення.

У приміщенні використовується природне бокове освітлення. Світло проникає крізь бокові світлові прорізи. Природне освітлення нормується за

допомогою коефіцієнта природної освітленості (КПО) згідно з ДБН В. 2.5-28-2016 [17], III розряд.

### 5.5.3 Штучне освітлення

Приміщення з робочими місцями, які оснащені комп'ютерами, може бути обладнане системою загального рівномірного освітлення.

Дане робоче місце розташоване в кімнаті, яка оснащена суміщеним загальним штучним освітленням. Штучне освітлення нормується згідно з ДБН В. 2.5-28-2016 [17].

Для забезпечення комфортних умов зорової праці високої точності необхідно дотримуватися наступних норм освітлення, котрі наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Характеристика виробничого освітлення

Харак-ка зорової праці	Мін. розмір об'єкта розрізнення	Фон	Контраст	Розряд, підрозряд зорової праці	Нормоване значення характеристик освітлення		
					Суміщене	Штучне $E_{\min}$ , лк	
						$e_n$ , %	комбіноване
Висока точність	0,3 ÷ 0,5 мм	Світлий	середній	III,г	2	400	200

### 5.5.4 Шум та вібрація

Шум та вібрацію в машинному залі створюють пристрої для друку та вентиляція системних блоків ПЕОМ, кондиціонер.

Дотримання нормованих значень вібрації та шуму досягається завдяки використанню якісного обладнання, що виготовлене з використанням новітніх звукопоглинаючих та віброізолюючих матеріалів.

У робочому приміщенні рівень звукового тиску, рівень шуму та еквівалентні рівні шуму відповідають вимогам ДСН 3.3.6-037-99 [17].

Рівень шуму складає 45дБ(А), що не перевищує норму  $L_A = 50$  дБ(А) згідно ДСН 3.3.6-037-99 [17].

Оптимальними заходами для зниження рівня шуму в залі з комп'ютерами є оброблення стін та стелі звукопоглинаючими матеріалами та своєчасне змащення систем вентиляції системних блоків комп'ютерів.

Оскільки рівень вібрації в приміщенні незначний, засоби запобігання вібрації не розглядаються.

#### 5.5.5 Допустимий рівень іонізації повітря приміщення

Іонний склад повітря в машинному залі може значно змінюватись під дією випромінювання від моніторів. Для підтримки необхідної концентрації позитивних та негативних іонів у повітрі робочих зон застосовують наступні заходи та обладнання: зволожувачі, кондиціонери, провітрювання, примусову вентиляцію (системи загально обмінної припливно-витяжної вентиляції, пристрої місцевої вентиляції), захисні екрани, що заземлені.

Рівні іонізації повітря приміщення згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 [4] наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Оптимальні рівні іонізації повітря в приміщенні з ПЕОМ

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	
	n <sup>+</sup>	n <sup>-</sup>
Оптимальні	1500÷3000	3000÷5000

#### 5.5.6 Допустимі параметри електромагнітного іонізуючого випромінювання та електростатичного поля

Електромагнітні поля високої інтенсивності призводять до перегріву тканин та впливають на органи зору:

- помірної інтенсивності викликають порушення діяльності центральної нервової та серцево-судинної систем, порушення біологічних процесів у тканинах та клітинах;

- малої інтенсивності – підвищення стомлюваності, головні болі, випадіння волосся.

Гранична напруга електростатичного поля становить 15кВ/м, що відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.6-007-98 [9] та не перевищує значення  $E \leq 20$  кВ/м.

Для захисту від впливу електромагнітних полів застосовуються наступні заходи:

- захист часом (обмеження часу перебування в зоні джерела електромагнітного поля);

- захист збільшенням відстані (60÷80 см від екрана);

- метод екранування робочого місця або джерела випромінювання електромагнітного поля.

Допустимі рівні неіонізуючого та іонізуючого випромінювання електромагнітного та електростатичного полів на робочих місцях згідно з ДСанПіН 3.3.6-007-98 [10] наведені в табл. 5.6.

## **5.6 Електробезпека**

Джерелом живлення комп'ютерів є однофазна трипровідова мережа (фазний провід, нульовий робочий провід, нульовий захисний провід): напругою 220 В, частотою 50 Гц, потужністю 2 кВт.

Робоче місце з небезпекою ураження електричним струмом відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки можливе одночасне доторкання людини до металевих конструкцій споруди, що мають з'єднання з одного боку з ґрунтом, а з іншого – з металевим корпусом електрообладнання відповідно до ПУЕ-2014[20].

Таблиця 5.6 – Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань та електричного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Припустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність), Вт/м <sup>2</sup>
	Електрична складова E, В/м	Магнітна складова H, А/м	
Напруженість ЕМП			
60 кГц ÷ 3 МГц	50	5	10
3 МГц ÷ 30 МГц	20	-	
30 МГц ÷ 50 МГц	10	0,3	
30 МГц ÷ 300 МГц	5	-	
300 МГц ÷ 300 ГГц	-	-	
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовому спектрі			
УФ – С (220 ÷ 280 нм)			0,001
ВФ – В (280 ÷ 320 нм)			
УФ – А (320 ÷ 400 нм)	-	-	0,01
У видимій частині спектру:			10,0
400 ÷ 750 нм			10,0
В інфрачервоній частині спектру			
0,76 ÷ 10,0 нм			35,0 ÷ 70,0
Напруженість електричного поля	20 кВ/м		

В приміщенні обчислювального центру прокладена шина повторного заземлення (провідник, яким заземлюється), яка відповідає вимогам ПУЕ-2014[10] та з'єднується із заземленою нейтраллю електроустановки.

Електробезпека електричних приладів забезпечується комплексом конструктивних, схемно-конструктивних та експлуатаційних засобів та способів захисту.

#### 5.6.1 Конструктивні заходи електробезпеки

Конструктивні заходи електробезпеки запобігають можливості дотику людини до струмоведучих частин. Всі вимірювальні прилади виконані в захисних корпусах. Розкриття кришок корпусів слід проводити тільки після від'єднання приладу від мережі живлення. Згідно з ПУЕ-2014 [10] ступінь захисту оболонок та корпусів апаратури прийнята не нижче IP-44, де перший знак «4» – захист від твердих тіл розміром більше 1 мм, другий знак «4» – захист від бризок відповідно до ГОСТ 14254-96 [11].

#### 5.6.2 Схемно-конструктивні заходи електробезпеки

Схемно-конструктивні заходи електробезпеки забезпечують безпеку дотику людини до металевих та струмоведучих частин електричних апаратів при випадковому ушкодженні їхньої ізоляції та виникнення електричного потенціалу на них.

Зважаючи на той факт, що напруга менше 1000В, але більше 42В, то згідно з ПУЕ-2014 [20] з метою захисту від ураження електричним струмом застосовується заземлення.

Згідно з ПУЕ-2014 [210] приймаємо I клас захисту від ураження електричним струмом персоналу, тому що комп'ютер має робочу ізоляцію та елементи заземлення, що забезпечують безпеку дотику людини до металевих не струмоведучих частин електроприладів при випадковому пробіі ізоляції та виникнення на них електричного потенціалу.

#### 5.6.3 Експлуатаційні заходи електробезпеки

До основних експлуатаційно-технічних заходів електробезпеки відносять: захисне заземлення; занулення; вирівнювання потенціалів; малу напругу; електричне розподілення мереж (за допомогою розділових трансформаторів); захисне вимкнення; ізоляція струмопровідних частин (робоча, додаткова, підсилена, подвійна); компенсація струмів замикання на землю; огорожувальні пристрої; електрична попереджувальна сигналізація; блокування. Допоміжними технічними засобами, що використовуються при обслуговуванні та експлуатації ЕУ, вважають плакати – знаки безпеки/небезпеки.

### **5.7 Пожежна безпека**

Причинами виникнення пожежі в робочому залі можуть бути: несправність електропроводки, коротке замикання електричних ланцюгів, перегрівання апаратури, блискавка й також неправильна експлуатація ЕОМ.

Пожежна безпека згідно з ДБН В.2.5-56-2014 [12] забезпечується системами запобігання пожежі, пожежним захистом та організаційно-технічними заходами.

З точки зору пожежної безпеки відповідно до ПУЕ-2014[10] клас зони приміщення П-Па (приміщення, в якому горючі речовини знаходяться у твердому або волокнистому стані без виділення пилу та волокон).

Категорія приміщення згідно з ДСТУ Б.В-1.1-36:2016 [14] за вибуховою, пожежо-вибуховою та пожежною небезпекою відноситься до категорії В, оскільки в приміщенні наявні тверді горючі матеріали, здатні при взаємодії з киснем повітря або один з одним тільки горіти.

Ступінь вогнестійкості будівлі – II згідно з ДБН В 1.1-7-02 [14], оскільки будівля відноситься до будинків з несучими та огорожувальними конструкціями з цегли та залізобетону.

Для даного класу будівель і місцевості із середньою грозовою діяльністю 10 і більше грозових годин на рік, тобто для умов міста Харкова встановлено III рівень захисту від блискавок відповідно до ДСТУ Б.В. 2.5-38:2008 [15].

Пожежна безпека людини забезпечується використанням вуглекислотного вогнегасника ВВК-5, ємністю 5 літрів відповідно з речовиною гасіння вогню малої електропровідності. Застосування пінних вогнегасників виключено, тому що ЕОМ може перебувати під напругою. Робоче місце відповідає всім вимогам пожежної безпеки.

### **5.8 Охорона навколишнього природного середовища**

В Україні охорона навколишнього природного середовища виконується відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [18].

Основною ідеєю охорони навколишнього середовища є використання та відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, попередження та ліквідація негативного впливу будь-якої діяльності на навколишнє середовище.

При виконанні дипломної роботи основними джерелами забруднення в приміщенні є: відпрацьоване канцелярське приладдя, відходи паперу, побутове сміття.

Усі відходи утилізуються відповідним чином – вони збираються в спеціальні контейнери та відправляються на утилізацію.

## 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

### 6.1 Мета і призначення

Розроблений в дипломній роботі контроллер квадрокоптеру дозволяє виконувати напівавтоматичне керування дроном. Розроблена структура квадрокоптеру і обраний мікроконтролер ESP8266EX забезпечують можливості напівавтоматичного керування літальним апаратом із застосуванням бездротової технології Wi-Fi в режимах вертикального зльоту і посадки (VTOL), режимі зависання (Hover mode) і режимі проходження курсу (Course tracking mode) з використанням ПД-регулятора для розрахунку поправок до керуючих впливів.

### 6.2 Розробка бізнес плану

При переході до ринкових відносин найважливіше значення має підготовка висококваліфікованих програмістів і менеджерів здатних розробити і зробити конкурентноздатну продукцію, а також організувати її просування і збут. Одним з вимог таких фахівців є уміння складати, аналізувати і застосовувати у своїй практичній діяльності бізнес-план.

Бізнес-план – це документ, що дозволяє обґрунтувати доцільність розробки виробництва, і збуту продукції в умовах конкуренції.

Ціль виконання економічної частини дипломного проекту розробити бізнес-план для конкретного продукту відповідно до завданням.

Формування бізнес-плану включає розрахунки по визначенню місткості ринку, його сегментації по параметрах, споживачам, конкурентам, ціновому фактору. Складання кошторису витрат на розробку продукту, його тиражування і збут, розрахунок договірної ціни і прибутку, визначення обсягу фіксування в умовах кредитування.

#### 6.2.1 Структура і загальні вимоги до змісту бізнес-плану

## 1. Аналіз і підготовка вихідних даних.

Вихідними даними для оцінки доцільності розробки продукту служать матеріали спеціальної частини дипломного проекту, а також дані, що містяться в планових і звітних документах підприємств, періодичній печаті спеціалізованих виробів, біржових новинах, результатах аукціонів, виставок і іншої комерційної інформації. Ці дані дозволяють порівняти функціональні і конструкторські характеристики розроблювального продукту (програмного засобу, нової технології і т.д.) з характеристиками аналогічної продукції конкурентів.

У порівнянні з існуючими аналогами система має переваги в точності роботи.

Розробка системи завершується створенням і передачею замовнику програмного продукту на основі разового замовлення.

2. Дослідження й аналіз ринку збуту. При аналізі ринку збуту перед нами ставиться задача відповісти на наступні питання: хто, чому, у якому обсязі, коли і за якою ціною купить цю систему.

Ціль цього дослідження – сегментація ринку і визначення ємності сегмента.

Ємність товарного ринку – це показник, що характеризує принципово можливий обсяг збуту товару. Місткість ринку визначається обсягом (у фізичних чи одиницях вартісному вираженні) реалізованих на ньому товарів протягом року і складається з ємності його сегментів. Джерела зведень про місткість ринку статичні, галузеві і фірмові довідники, бюлетені іноземної комерційної інформації. Знаючи місткість ринку і тенденції її зміни, можна оцінити перспективність ринку збуту.

Сегмент ринку – це особливим образом виділена частина ринку, група споживачів, чи продуктів підприємств, що володіють визначеними загальними ознаками.

Сегментація ринку – один з найважливіших інструментів маркетингу. Від правильності вибору сегмента ринку багато в чому залежить успіх підприємства в конкурентній боротьбі.

У табл. 6.1 представлена сегментація ринку розробки.

Таблиця 6.1 – Сегменти ринку по основних споживачах

Галузь використання	Код споживача	Споживач			
		1	2	3	4
1 Корпорації	А	+		+	+
2 Навчальні заклади	Б		+		
3 Великі підприємства	В	+		+	
4 Малі підприємства	Г	+			+

- 1) програмісти;
- 2) викладачі;
- 3) співробітники підприємств;
- 4) контролери ОТК.

Наступним кроком нашої роботи є вибір сегмента, на який орієнтоване вироб, відзначаємо (+) у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Аналіз ємності сегментів ринку

Код сегмента	Кількість об'єктів	Передбачуване число продажів	Передбачувана ємність
1	2	3	4
А	8	2	16
Б	7	2	14
В	3	5	15
Г	2	6	12

Потім необхідно оцінити орієнтовану ємність сегментів. Висновок: таким чином, місткість ринку дорівнює 57 споживачів.

### 6.2.2 Параметрична сегментація ринку

У цьому розділі впливає, регламентовано відповіді на запитання, які показники найбільше приваблюють споживача. Особливо важливий даний вид сегментації для нових розробок.

Сегментацію проводять за наступною схемою:

- 1) Випишемо сегменти з табл. 6.3 і упорядкуємо їх по зростанню ємності.
- 2) Необхідно сформулювати перелік характеристик і розташувати їх по ступені важливості для кожного сегмента споживчого ринку, використовуючи 5 бальну шкалу.
- 3) Оцінимо характеристики розроблювального виробу в тій же шкалі.
- 4) Виберемо найбільш істотні параметри програмного продукту з урахуванням ємності сегментів і виконуємо сегментацію за даними параметрами.

Таблиця 6.3 – Параметрична сегментація ринку

Параметри продукту	Оцінка споживачів				Підсумкова оцінка	Питома вага, %
	А	Г	В	Б		
1. Ціна	4	5	4	4	17	15,18
2. Надійність	5	5	5	5	20	17,86
3. Швидкість роботи	5	4	5	5	19	16,96
4. Універсальність	4	5	5	5	19	16,96
5. Рівень сервісу	5	5	4	4	18	16,08
6. Простота використання	5	5	4	5	19	16,96
Всього						100

Висновок: у такий спосіб варто звернути увагу на такі показники як надійність, швидкість роботи, універсальність, простота використання.

### **6.3 Розрахунок собівартості і ціни**

Собівартість являє собою виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства, науково-технічних інститутів на виробництво і реалізацію продукції. Це один з основних економічних показників підприємства, і це обумовлює необхідність однозначного визначення методики його розрахунку незалежно від того, де буде використовуватися показник, виробничої собівартості. У ході виробничо-господарської діяльності ці витрати повинні відшкодовуватися за рахунок виторгу від продажу.

Використання показників собівартості в практиці, у всіх випадках вимагає забезпечення однаковості витрат, що враховуються в її складі. Для забезпечення такої однаковості конкретний склад витрат, які відносяться на собівартість, регламентується типовим положенням по плануванню, обліку і калькулюванню собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості.

Ціль планування собівартості є економічно обґрунтоване визначення величини витрат, необхідних у планованому періоді для виробництва кожного виду і всієї промислової продукції підприємства, що відповідає вимогам по її якості.

Метою обліку собівартості продукції є повне і достовірне визначення фактичних витрат, зв'язаних з розробкою, виробництвом і збутом продукції.

Витрати, що включаються в собівартість продукції (робіт, послуг) групуються по наступним елементах:

- матеріальні витрати;
- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи;
- амортизація;

– інші операційні витрати.

а) До складу елемента "Матеріальні витрати" включаються витрати на:

1) покупні комплектуючі вироби. Розрахунки приведені в табл. 6.4;

Таблиця 6.4 – Розрахунок вартості покупних комплектуючих виробів

Найменування матеріалу	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
Комп'ютер з ліцензійним програмним забезпеченням	1	10330	10330
Разом:			10330

2) транспортно-заготівельні витрати включають витрати на заготівлю матеріалу, оплата за вантажно-розвантажувальні роботи, транспортування матеріальних цінностей, включають витрати по страхуванню ризику транспортування.

У роботі транспортно-заготівельні витрати приймаються в розмірі 12% від вартості покупних комплектуючих виробів і розраховуються по формулі:

$$Z_{\text{ТЗР}} = 0,12 \cdot (Z_{\text{пок}}) \quad (6.1)$$

$$Z_{\text{ТЗР}} = 0,12 \cdot (10330) = 1239,6 \text{ грн.}$$

б) Витрати на оплату праці.

До складу елемента включаються: заробітна плата по окладам і тарифам, надбавки і доплати до тарифних ставок і посадових окладів у розмірах передбачених чинним законодавством; премії і заохочення, матеріальна допомога, компенсаційні виплати, оплата відпусток і іншої праці персоналу, зайнятого безпосередньо на виконанні конкретної теми (науковці, науково-

технічний, науково-допоміжний персонал і виробничі робітники). Розрахунок витрат на основну заробітну плату по темі приведені в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Розрахунок витрат на основну заробітну плату

Посада	Оклад, грн.	Кількість місяців	Пайова участь, %	Сума, грн.
Керівник теми	4500,00	1,5	20	1350,00
Програміст	6000,00	1,5	80	7200,00
Разом:				8550,00

в) Додаткова заробітна плата. Вона включає доплати і надбавки до тарифних ставок і посадових окладів у розмірах, передбачених чинним законодавством, премії і заохочення робітником, керівникам, фахівцям і іншому службовцям за виробничі результати; гарантійні і компенсаційні виплати; оплата іншого невідпрацьованого часу й інші витрати на оплату праці.

Додаткову заробітну плату приймаємо 10 % від  $Z_{\text{осн}}$

$$Z_{\text{дод}} = 8550,00 * 0,1 = 855,0 \text{ грн.}$$

г) До складу елемента «Відрахування на соціальні заходи» включаються:

1) відрахування на державне (обов'язкове) пенсійне страхування (у Пенсійний фонд) – 33,2 % від  $(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}})$ :

$$(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}) \cdot 0,332 = (9405) \cdot 0,332 = 3122,5 \text{ грн.}$$

2) відрахування на державне (обов'язкове) соціальне страхування, включаючи відрахування на обов'язкове медичне страхування – 2,5 % від  $(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$ :

$$(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot 0,025 = (9405) \cdot 0,025 = 235,1 \text{ грн.}$$

3) відрахування у Фонд сприяння зайнятості населення 2,5 % від  $(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$ :

$$(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot 0,025 = (9405) \cdot 0,025 = 235,1 \text{ грн.}$$

4) страхування по травматизму 0,01 % від  $(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$ :

$$(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot 0,01 = (9405) \cdot 0,01 = 94,1 \text{ грн.}$$

д) До статті калькуляції «Витрати на експлуатацію устаткування (РСЕО)» відносяться витрати на експлуатацію виробничого і підйомно-транспортного устаткування, амортизаційні відрахування від вартості виробничого устаткування, витрати на ремонти і зміст цехових транспортних засобів, вартість послуг автоматики і т.д.

У роботі РСЕО приймається в розмірі 40 % від заробітної плати основної виробничих робітників

$$З_{\text{РСЕО}} = 8550 * 0,4 = 3420 \text{ грн.}$$

е) До статті калькуляції «Загальновиробничі витрати» відносяться витрати на керування виробництвом; на амортизацію основних засобів загальнозаводського призначення; на витрати некапітального характеру, зв'язані з удосконаленням технологій і організацією виробництва, поліпшенням якості продукції, підвищенням її надійності, довговічності й ін. експлуатаційних властивостей; витрати на обслуговування виробничого процесу.

У роботі загальновиробничі витрати приймаємо в розмірі 35 % від  $Z_{\text{осн}}$

$$Z_{\text{заг.вир.}} = 8550 * 0,35 = 2992,5 \text{ грн.}$$

ж) До статті «Адміністративні витрати» відносяться витрати; зв'язані з придбанням сировини, матеріалів, витрати на пожежну і сторожову охорону, забезпечення правил техніки безпеки праці, витрати по підготовці кадрів, набір робочої сили і т.д.

У роботі адміністративні витрати приймаємо в розмірі 10 % від  $Z_{\text{осн}}$

$$Z_{\text{адм}} = 8550 * 0,1 = 855 \text{ грн.}$$

з) В статті «Витрати на збут» включаються витрати на витрати по доставці продукції, комісійні збори і т.д.

Витрати на збут приймаємо в розмірі 5% від виробничої собівартості.

За результатами проведених розрахунків складаємо калькуляцію собівартості, представлену в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Калькуляція собівартості розробки програмного продукту

Найменування статей калькуляції	Сума, грн.
1. Покупні напівфабрикати, вироби і послуги виробничого характеру сторонніх організацій і підприємств	10330
2. Транспортно-заготівельні витрати	1239,6
3. Основна заробітна плата працівників	8550,00
4. Додаткова заробітна плата	855,0
5. Відрахування на соціальні заходи	
А) пенсійне страхування	3122,5
Б) соціальне страхування	235,1
В) зайнятість населення	235,1
Г) травматизм	94,1
6. Витрати на експлуатацію устаткування	3420
7. Загальновиробничі витрати	2992,5
8. Виробнича собівартість	31073,9
9. Адміністративні витрати (10% )	855
10. Витрати на збут (5% )	1553,7
11. Повна собівартість	33482,6
12. Прибуток (10 % )	3348,3
13. Відпускна ціна розробки	36830,9

Прибуток становить 3348,3грн. Відпускна ціна розробки програмного продукту складає 36830,9 грн.

#### 6.4 Оцінка ризику і страхування

Ризик – це діяльність, що пов’язана з подоланням невизначеності в ситуації неминучого вибору, в процесі якого є можливість кількісно і якісно оцінити ймовірність досягнення передбаченого результату, невдачі і відхилення від мети.

Економічний ризик – це ризик, що виникає при будь-яких видах підприємницької діяльності, спрямованих на одержання прибутку і пов'язаних з виробництвом продукції, товарів і послуг, їхньою реалізацією; товарно-грошовими і фінансовими операціями; комерцією, а також реалізацією науково-технічних проектів.

Ризик виникає лише тоді, коли має місце невизначеність, відсутність вичерпної інформації про умови прийняття рішень. Якщо все відомо – ризик відсутній. Ризик відсутній також у випадку, коли немає зацікавленості в результатах прийняття рішень.

Господарський ризик – невід'ємна частина господарської діяльності будь-якого підприємства незалежно від форми власності. Його можна визначити як діяльність суб'єктів підприємств, пов'язану з подоланням невизначеності в ситуаціях неминучого вибору, у процесі якого є можливість оцінити імовірність досягнення бажаного результату чи невдачі, відхилення від мети.

У практичній діяльності господарські ризики можуть бути настільки великими, що здатні зупинити виробничу роботу, змусити підприємця відмовитися від здійснення операцій, що вимагають великих початкових інвестицій і часу. У той же час наявність фактора господарського ризику є для підприємця сильним стимулом для постійного здійснення режиму економії, змушує його ретельно аналізувати рентабельність проектів, розробляти інвестиційні кошториси, наймати відповідні кадри.

Господарський ризик у підприємницькій діяльності можна поділити на види:

- ризик втрати майна внаслідок стихійних лих;
- ризик виникнення цивільної відповідальності за збиток, який нанесено навколишньому середовищу;
- ризик втрати прибутку;

- ризик, пов'язаний з реалізацією продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках;
- технічний ризик, пов'язаний з експлуатацією обладнання, будівельно-монтажних споруджень і т. ін.;
- комерційні ризики, спричинені недопоставкою продукції, невиконанням фінансових зобов'язань;
- валютний ризик, пов'язаний з розширенням сфери зовнішньоекономічної діяльності.

Бізнес-ризик виникає у випадках, коли комерційна і господарська діяльність компанії виявляється менш успішною, ніж очікувалося. Наприклад, може зменшитися обсяг реалізації через те, що конкуренти знизили ціни чи запропонували на ринку конкурентоспроможний товар. Одне з основних завдань менеджменту – звести бізнес-ризик до мінімуму шляхом забезпечення ефективного функціонування виробництва, ретельного вивчення ринків збуту продукції і послуг та гнучкого реагування на зміни, що відбуваються на ньому.

В умовах ринкового господарства актуальним для підприємця стає ризик цивільної відповідальності. Під цивільною відповідальністю варто розуміти обов'язок кожної особи відшкодувати збиток, нанесений іншій особі. Ризики цивільної відповідальності характерні для всіх сфер життя – як господарської діяльності, так і особистого життя громадян. До числа таких ризиків варто віднести: ризик виникнення відповідальності за забруднення навколишнього середовища, за недотримання договорів постачань, якість продукції, що випускається підприємством.

Одним з найбільш значних для підприємців видів ризику є ризик втрати прибутку з різних причин. До цієї групи входять такі види ризиків:

- ризик втрати прибутку внаслідок змушених перебоїв у виробництві;
- ризик втрати прибутку внаслідок втрати майна;
- ризик втрати прибутку через невиконання договірних зобов'язань;

- ризик втрати прибутку внаслідок зміни кон'юнктури ринку і переходу на випуск іншої продукції;
- ризик втрати прибутку через заміну застарілого обладнання і впровадження нової техніки й технології;
- ризик втрати прибутку внаслідок проведення страйків та дії інших суспільно-політичних факторів.

Інноваційний ризик – це імовірність утрат, що виникають при вкладанні підприємством коштів у виробництво нових товарів (послуг), які, можливо, не знайдуть очікуваного попиту на ринку. Інноваційний ризик виникає за таких умов:

- при впровадженні більш дешевого методу виробництва товару чи послуги порівняно уже з тим, що використовується. Подібні інвестиції будуть приносити підприємству тимчасовий надприбуток доти, поки воно є єдиним власником даної технології. У подібній ситуації підприємство зіштовхується лише з одним видом ризику – можливою неправильною оцінкою попиту на вироблений товар;
- при створенні нового товару (послуг) на старому устаткуванні. У цьому випадку до ризику неправильної оцінки попиту на новий товар чи послугу додається ризик невідповідності якості товару (послуги) у зв'язку з використанням старого устаткування;
- при виробництві нового товару (послуги) за допомогою нової техніки і технології. У даній ситуації інноваційний ризик включає в себе ризики: того, що новий товар (послуга) може не знайти покупця; невідповідність нового обладнання і технології необхідним вимогам для виробництва нового товару (послуги); неможливості продажу створеного устаткування, тому що воно не підходить для виробництва іншої продукції у випадку невдачі.

Для розробленого програмного продукту, можливі наступні види ризику:

– несанкціоноване копіювання з метою подальшого використання (з імовірністю до 50 %);

– несанкціоноване копіювання з метою продажів (з імовірністю до 10%).

Зменшити ступінь ризику можна двома способами: самострахування і страхування за допомогою страхових компаній.

Самострахування передбачає забезпечення контролю за ЕОМ і систему захисту інформації. Способами захисту інформації в даному випадку є:

– контроль за доступом до терміналів;

– створення архівних копій інформаційних файлів, що зберігаються в пам'яті ЕОМ.

У такий спосіб доцільно зменшити ризик за допомогою страхування, з огляду на що сучасні страхові компанії, розташовуючи ексклюзивними ліцензіями, мають можливість проводити усі види захисту об'єктів інтелектуальної власності.

У даному випадку, користаючись послугами ОАО «Аска», маємо розмір страхової премії в розмірі 1% ціни розробки програмного продукту, тобто – 368,3 грн. на місяць.

## ВИСНОВКИ

Розроблений в дипломній роботі контролер квадрокоптеру дозволяє виконувати напівавтоматичне керування дроном. Розроблена структура квадрокоптеру і обраний мікроконтролер ESP8266EX забезпечують можливості напівавтоматичного керування літальним апаратом із застосуванням бездротової технології Wi-Fi в режимах вертикального зльоту і посадки (VTOL), режимі зависання (Hover mode) і режимі проходження курсу (Course tracking mode) з використанням ПІД-регулятора для розрахунку поправок до керуючих впливів.

Створена структура дрону дозволяє реалізувати систему за допомогою великої кількості стандартних елементів високого ступеня інтеграції, що підвищує надійність системи, що особливо важливо, враховуючи характер її застосування.

Для обраного контролера було розроблено програмне забезпечення, що дозволяє підтримувати необхідні режими, завдяки наявності вбудованого інтерфейсу I2C вести протокол і зупиняти політ в разі нештатних ситуацій.

У роботі розроблена система регулювання, заснована на застосуванні стратегії навчання з підкріпленням. В якості методу навчання з підкріпленням використано алгоритм Q-навчання. Підкріпленням є відхилення рівня висоти апарату від необхідного, агентом є літальний апарат, а його дії – зміна швидкості обертання двигунів для стабілізації висоти. В результаті настройки статична помилка склала не більше 5%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Валерий Яценков. Твой первый квадрокоптер. Теория и практика / Валерий Яценков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2016. – 256 с.
2. Лачин В.И, Савелов Н.И. Электроника. Учебное пособие / Лачин В.И, Савелов Н.И. – СПб. : Феникс, 2015. – 703 с.
3. Arduino Mega 5260. [Электроний ресурс] // Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoadrMega5260>. Дата звернення: 15.02.21 р.
4. Справочная информация по радиоэлементам. [Электроний ресурс] // Режим доступу: <http://www.chipdip.ru>. Дата звернення: 01.03.21 р.
5. Собираем квадрокоптер [Электроний ресурс] // Режим доступу: <https://mirquadrocoptero.ru/obshie-voprosy/datchiki-uderzhaniya-visoty-drona.html>. Дата звернення: 01.03.21 р.
6. Датчики для квадрокоптера. [Электроний ресурс] // Режим доступу: <https://mirquadrocoptero.ru/?s=датчик+давления>. Дата звернення: 03.03.21 р.
7. Справочная информация. [Электроний ресурс] // Режим доступу: <http://amperkot.ru/>. Дата звернення: 04.03.21 р.
8. Гэн К, Чулин Н.А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторией движения квадрокоптера / Гэн К, Чулин Н.А. – М. : Наука и образование. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2018. – с. 218-235.
9. Witten I.H., Frank E. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Second Edition) / Witten I.H., Frank E. – Morgan Kaufmann, 2005. – 359 p.
10. Machine Learning Proceedings 1991: Proceedings of the Eighth International Workshop (ML91) / Elsevier Science, 2014. – 854 p.
11. Юревич Е. И. Основы робототехники / Юревич Е. И. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 207 с.
12. Закон України «Про охорону праці» від 21.11.2002р.

13. ГОСТ 12.0.003-74\*. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
14. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. – Затверджено наказом Держкомітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничного нагляду від 26.03.2010, № 65.
15. НАПБ Б 03.002-2007 Нормативний акт пожежної безпеки. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
16. ДБН В. 1.1-7-2002 Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
17. ПУЕ:2007 Правила улаштування електроустановок. – Діє від 2007р., №305.
18. ГОСТ 12.1.003-83\* ССБТ. Шум. – Введен 01.07.84 г.
19. ДБН В.2.5-28-2006 Державні будівельні норми. Інженерне обладнання будинків та споруд. Природне і штучне освітлення.
20. ГОСТ 12.1.038-82\*. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
21. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введен 01.01.90 г.
22. ГОСТ 12.1.045-84. ССБТ. Электростатические поля. Допустимые урони на робочих местах и требования к проведению контроля. – Введен 01.01.85.
23. СанПіН 2.2.4.1294-03 Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень. – Введено 15.06.2003г.
24. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин. – Затверджено постановою Головного держсанлікаря України 10.12.1998, №7.

25. СНиП 2.04.05-91\*. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Стройиздат, 1994 – 110 с.
26. ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008. «Вібраційна безпека. Загальні вимоги.– Чинний з 01.02.2009.
27. ГОСТ 12.1.004–91\*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования безопасности. – Введ.01.07.95
28. НПАОП 0.00–1.21–98. Нормативні акти про охорону праці. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К: 1998.
29. ДСТУ Б В.2.5.–38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – Київ: МІНРЕГІОНБУД УКРАЇНИ. Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 27.06.2008 №269, чинний з 2009–01–01.
30. ГОСТ 12.1.030–81\*. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – Введ.01.01.82.
31. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» – від 01.07.1991р.

# ДОДАТОК 1

## ВИХІДНІ ФАЙЛИ ПРОГРАМИ ДЛЯ БЛОКУ КЕРУВАННЯ КВАДРОКОПТЕРОМ

```

ANN_RL.m
clear all;
clc;
% Визначаємо остаточний стан
global state_desired;
state_desired= 7;
% Q2 не контролюється і, отже, встановлюється на нуль
global Q2;
Q2=0;
% Дискретизація простору станів
global h1;
global h2;
h1=linspace(0,10,15);
h2=h1;
global delta;
delta= (h1(2)-h1(1))/2;
% Дискретизація простору дій
global action;
Q1=linspace(0,20,10);
N1 = length(h1);
N2 = length(h2);
% Ініціалізація попередніми значеннями
pibest = zeros(N1,N2);
gamma =0.99;
% Встановлюємо початкове значення для V(s) рівним нулю для кожного стану s.
V = zeros(N1,N2);
policy = zeros(N1,N2);
% Обчислюємо функцію оптимального значення, використовуючи

```

```

% алгоритм Value Iteration.
for runs=1:1000
for m=1:N1
for n=1:N2
for p =1:length(Q1)
% Вживаємо всі можливі попередні дії.
action = Q1(p);
snext = [h1(m); h2(n)]+ 0.1*tank(0,[h1(m); h2(n)]);
% Обчислюємо найближчий дискретизований стан.
[r,s] = closest(snext);
nextV(p)=V(r,s);
end
[Vbest,bestind] = max(nextV);
% Покращуємо оцінку функції значення за допомогою рівняння Беллмана.
V(m,n)= Reward([h1(m); h2(n)]) + gamma*Vbest;
end
end
end
% Обчислити оптимальні значення з функції.
for m=1:N1
for n=1:N2
% Виконуємо дії.
for p =1:length(Q1)
action = Q1(p);
snext = [h1(m); h2(n)]+ 0.1*tank(0,[h1(m); h2(n)]);
% Обчислюємо найближчий дискретизований стан.
[r,s] = closest(snext);
nextV(p)=V(r,s);
end
[Vbest,bestind] = max(nextV);
pibest(m,n) = Q1(bestind);
end
end

```

```

% тренуємо нейронну мережу до наближеного pbest
p=1;
targetQ = zeros(1,length(h1)*length(h2));
input_states = zeros(2,length(h1)*length(h2));
for m=1:length(h1)
for n=1:length(h2)
input_states(:,p)= [h1(m); h2(n)];
targetQ(p) = pibest(m,n);
p=p+1;
end
end
net = feedforwardnet(1);
net=init(net);
[net,tr] = train(net,input_states,targetQ);
N = 100;
state=[1 0]; %Initial state
states = zeros(N,2);
states(1,:)= state;
Ts = 0.1; % Define time between control actions.
% Імітуємо систему з оптимальною політикою управління.
for n=2:N
% Використовуємо оптимальні значення
action = net(state');
% Імітуємо роботу системи.
[t,y]=ode45(@tank,[0 Ts],state);
state = real(y(end,:));
states(n,:) = state;
end
% Обчислюємо часові інтервали.
time = (1:length(states))*Ts;
plot(time,states);
xlabel('time (s)');
ylabel('state: liquid levels h_1 and h_2');

```

```

tank.m
function hdot = tank(t,h)
global Q2;
global action;
Q1=action;
a1=1;
a2=1;
a3=1;
A1=1;
A2=1;
if h(1) >= h(2)
    hdot= [(Q1 -a3*sqrt(h(1)-h(2)))/A1; (Q2 - a2*sqrt(h(2)) + a3*sqrt(h(1)-h(2)))/A2];
else
    hdot= [(Q1 +a3*sqrt(h(2)-h(1)))/A1; (Q2 - a2*sqrt(h(2)) - a3*sqrt(h(2)-h(1)))/A2];
end
end
tank_RL.m
clear all;
clc;
% Визначаємо остаточний бажаний стан
global state_desired;
state_desired= 7;
% Q2 не контролюється і, отже, встановлюється на нуль
global Q2;
Q2=0;
global h1;
global h2;
h1=linspace(0,10,15);
h2=h1;
global delta;
delta= (h1(2)-h1(1))/2;
global action;
Q1=linspace(0,20,10);

```

```

N1 = length(h1);
N2 = length(h2);
pibest = zeros(N1,N2);
gamma =0.99;
V = zeros(N1,N2);
policy = zeros(N1,N2);
% Обчислюємо функцію оптимального значення, використовуючи алгоритм
% Value Iteration.
for runs=1:1000
for m=1:N1
for n=1:N2
for p =1:length(Q1)
action = Q1(p);
snext = [h1(m); h2(n)]+ 0.1*tank(0,[h1(m); h2(n)]);
[r,s] = closest(snext);
nextV(p)=V(r,s);
end
[Vbest,bestind] = max(nextV);
V(m,n)= Reward([h1(m); h2(n)]) + gamma*Vbest;
end
end
end
for m=1:N1
for n=1:N2
for p =1:length(Q1)
action = Q1(p);
snext = [h1(m); h2(n)]+ 0.1*tank(0,[h1(m); h2(n)]);
[r,s] = closest(snext);
nextV(p)=V(r,s);
end
[Vbest,bestind] = max(nextV);
pibest(m,n) = Q1(bestind);
end

```

```

end
N = 100;
state=[1 0]; %Initial state
states = zeros(N,2);
states(1,:)= state;
Ts = 0.1; % Define time between control actions.
% Симулюємо роботу системи з оптимальними значеннями
for n=2:N
[r,s] = closest(state);
% Використовуємо лінійну регресію для інтерполяції між керуючими діями
if r > 1 && s > 1 && r < N1 && s < N2
X = [h1(r) h2(s);h1(r-1) h2(s);h1(r+1) h2(s);h1(r) h2(s-1);h1(r) h2(s+1)];
Y = [pibest(r,s) pibest(r-1,s) pibest(r+1,s) pibest(r,s-1) pibest(r,s+1)]';
lin_model = fitlm(X,Y);
action = predict(lin_model,state);
else
action = pibest(r,s);
end
% Моделюємо роботу системи.
[t,y]=ode45(@tank,[0 Ts],state);
state = real(y(end,:));
states(n,:) = state;
end
time = (1:length(states))*Ts;
plot(time,states);
xlabel('time (s)');
ylabel('state: liquid levels h_1 and h_2');
closest.m
function [r,s] = closest(snext)
global h1;
global h2;
global delta;
if snext(1) > h1(end)+delta

```

```
r = length(h1);  
end  
if snext(2) > h2(end)+delta  
s = length(h2);  
end  
if snext(1) <= h1(end)+delta  
r = find(abs(h1-snext(1)) <= delta,1);  
end  
if snext(2) <= h2(end)+delta  
s = find(abs(h2-snext(2)) <= delta,1);  
end  
end  
  
Reward.m  
  
function r = Reward(state)  
global state_desired;  
r = -abs(state(1)-state_desired);  
end
```