

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

В. о. завідувача кафедри АКІТ

кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделєв

” ___ ” _____ 2024 р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: **«Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів»**

Пояснювальна записка

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

151 – КБР – 471.22017111

Студент _____ Солоха І.А.

Керівник _____ Гекова Т.В.

Консультант _____ Макарова О.В.

(дата)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

В. о. завідувача кафедри АКІТ
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделєв

«___» _____ 2024 р

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Видано студенту групи 471 факультету комп'ютерних наук

Солосі Ігорю Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів

Затверджена наказом по ЧНУ від «___» _____ 2024 р. № _____

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «___» _____ 2024 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

Вдосконалення та покращення техніко-економічних показників, автоматизованих систем моніторингу та оптимізації ресурсів у сільському господарстві.

4. Перелік питань, що підлягають розробці

1. Аналіз тенденцій розвитку сучасних аграрних дронів.

2. Аналіз конкурентних рішень, патентів та корисних моделій.
 3. Формувати критеріїв та вимог до автоматизованої системи аналізу врожаю.
 4. Обґрунтування вибору блоків для реалізації безпілотного літального апарату згідно до сформованих вимог.
 5. Розроблення блок схеми та алгоритму роботи автоматизованої системи.
 6. Розроблення електричної принципової схеми аграрного дрону для моніторингу стану рослин.
 7. Розроблення коду програми для аналізу відео за допомогою штучного інтелекту.
 8. Аналіз інформації з охорони праці та організації безпечного середовища.
5. Перелік графічних матеріалів: 12 слайдів презентації
6. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Гекова Т.В.	Автоматизація та КІТ	1 розділ
Гекова Т.В.	Автоматизація та КІТ	2 розділ
Макарова О.В.	Екології	3 розділ

Керівник роботи Гекова Тетяна Володимирівна _____
(підпис)

Завдання прийнято до виконання Солохою Ігорем Андрійовичем

(підпис)

Дата видачі завдання «_____» _____ 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

виконання магістерської наукової роботи

Тема: Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання	09.09.2023	16.09.2023	
2.	Огляд літератури за темою роботи	19.09.2023	21.10.2023	
3.	Складання календарного плану	21.10.2023	25.10.2023	
4.	Аналіз предметної області	27.10.2023	10.11.2023	
5.	Розробка проектних рішень	15.11.2023	10.12.2023	
6.	Моделювання та конструювання	15.12.2023	10.01.2024	
7.	Робота над основною частиною	15.01.2024	01.05.2024	
8.	Розробка спеціальної частини з охорони праці	06.05.2024	03.06.2024	
9.	Оформлення та презентація	31.05.2024	07.06.2024	
10.	Відгук керівника	19.06.2024	20.06.2024	
11.	Попередній захист	07.06.2024	07.06.2024	
12.	Рецензування	21.06.2024	21.06.2024	
13.	Завершення оформлення	21.06.2024	24.06.2024	
14.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2024	25.06.2024	

Розробив студент Солоха Ігор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

« ___ » _____ 2024р.

Керівник роботи Гекова Тетяна Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

« ___ » _____ 2024р.

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

«Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів»

Студента 471 Солохи Ігоря Андрійовича

Керівник: викладач кафедри АКІТ Гекова Т.В.

Використання безпілотних літальних апаратів у всіх сферах промисловості стає нормою для багатьох країн світу. Від архітектури до пожежогасіння, картографування та транспортування всюди – БпЛА відіграють ту або іншу функцію, що значною мірою спрощує та підвищує продуктивність усього виробництва або сфери послуг. Україна не стала винятком із цього правила, та почала активно розвивати використання дронів у найбільш вагомій з економічної точки зору діяльності нашої країни – сільському господарстві. Імплементация, та навіть їх власне виробництво в Україні вже давно налагоджено, більш того, у 2022 році Україну визнали першою у світі з впровадження роботизованих технологій в агробізнесі. Проте не зважаючи на лідируючі позиції, завжди залишається місце для впровадження інноваційних технологій.

Одним із напрямків використання дронів у сільському господарстві є моніторинг стану рослин на підприємстві, за допомогою БпЛА різних за формою, структурою, аеродинамічною конфігурацією але спільною глобальною проблемою – високою вартістю, яка враховуючи що вагома частина аграрного сектору країни зіставляє приватне фермерство, стає головною перешкодою перед купівлею нехай й сучасної, актуальної технології, яка проте потребує занадто високого внеску.

Однак замінивши високо вартісні спеціалізовані інфрачервоні та мультиспектральні камери, які зазвичай зіставляють сімдесят відсотків вартості усієї системи, на більш фінансово вигідну RGB камеру, та поєднавши її із технологією, що особливо активно розвивається впродовж останніх декількох років – штучним інтелектом, можливо зменшення вартості системи моніторингу

стану рослин вдвічі. Це допоможе розповсюдженню інноваційних технологій та стимулюватиме нові розробки та фінансування майбутніх проектів суміжної тематики.

Метою даної роботи було поставлено вдосконалення та покращення техніко-економічних показників, автоматизованих систем моніторингу та оптимізації ресурсів у сільському господарстві.

Об'єктом дослідження є процеси автоматизації сільського господарства.

Предметом дослідження є система аналізу стану врожаю на базі мультикоптеру.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі **задачі**:

1. Проаналізувати тенденції розвитку сучасних аграрних дронів.
2. Розглянути конкурентні рішення, патенти та корисні моделі.
3. Сформулювати критерії та вимоги до автоматизованої системи аналізу врожаю.
4. Запропонувати та обґрунтувати вибір блоків для реалізації безпілотного літального апарату згідно до сформованих вимог.
5. Розробити блок схему та алгоритм роботи автоматизованої системи.
6. Розробити електричну принципову схему аграрного дрону для моніторингу стану рослин.
7. Розробити код програми для аналізу відео за допомогою штучного інтелекту.
8. Проаналізувати інформацію з охорони праці та організації безпечного середовища.

У висновках сформульовано основні наукові та практичні результати бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Структура бакалаврської кваліфікаційної роботи складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел – 17 та двох додатків. Загальний обсяг – 82 сторінок, з них 2 додатки на 3 сторінки, 14 таблиць, 18 рисунків.

Апробація результатів дослідження:

Публікації. Гекова Т.В., Солоха І.А. Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів // Могилянські читання – 2023 р.: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти. Всеукраїнська студентська науково-практична конференція тези доповідей 07 листопада 2023 р., м. Миколаїв / ЧНУ ім. Петра Могили. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2023. –364 с.

ANNOTATION

to the bachelor's qualification work

«Improvement of unmanned aerial vehicles for agricultural monitoring and optimization of resources»

Student of group 471: Solokha Ihor

Supervisor: teacher of AKIT department T.V. Gekova.

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in various industrial sectors is becoming the norm for many countries around the world. From architecture to firefighting, cartography, and transportation, UAVs play roles that significantly simplify and increase the productivity of both production and service sectors. Ukraine is no exception to this trend and has actively started developing the use of drones in the country's most economically significant activity – agriculture. The implementation and even local production of drones have been well established in Ukraine. Moreover, in 2022, Ukraine was recognized as the world leader in the implementation of robotic technologies in agribusiness. However, despite holding leading positions, there is always room for the introduction of innovative technologies.

One area of drone use in agriculture is monitoring the condition of crops on farms using UAVs of various shapes, structures, and aerodynamic configurations, but all sharing a common global issue – high cost. This is a significant obstacle for private farmers, who make up a large part of the agricultural sector in the country, preventing them from adopting modern and relevant technologies due to the high initial investment required.

However, by replacing expensive specialized infrared and multispectral cameras, which typically account for seventy percent of the total system cost, with a more financially advantageous RGB camera and combining it with artificial intelligence technology – a field that has seen significant development in recent years – the cost of crop monitoring systems can be halved. This will facilitate the spread of innovative technologies and stimulate new developments and funding for future projects in related fields.

The aim of this work is to improve and enhance the technical and economic indicators of automated systems for monitoring and optimizing resources in agriculture.

The object of the research is the automation processes in agriculture.

The subject of the research is the crop condition analysis system based on a multicopter.

To achieve this goal, the following tasks were set:

1. Analyze the development trends of modern agricultural drones.
2. Review competitive solutions, patents, and utility models.
3. Formulate criteria and requirements for an automated crop analysis system.
4. Propose and justify the selection of components for implementing the UAV according to the formulated requirements.
5. Develop a block diagram and algorithm for the automated system.
6. Develop an electrical schematic diagram for the agricultural drone used for crop monitoring.
7. Develop the program code for video analysis using artificial intelligence.
8. Analyze information on occupational safety and the organization of a safe environment.

The conclusions summarize the main scientific and practical results of the bachelor's qualification work.

The structure of the bachelor's qualification work includes an introduction, three chapters, conclusions, a list of references with 17 sources, and two appendixes. The total volume is 82 pages, including 2 appendixes on 3 pages, 14 tables, and 18 figures.

Research Findings Dissemination:

Publications. Hekova T.V., Salokha I.A. Improvement of Unmanned Aerial Vehicles for Agricultural Monitoring and Resource Optimization // Mohyla Readings – 2023: Experience and Development Trends of Society in Ukraine: Global, National, and Regional Aspects. All-Ukrainian Student Scientific and Practical Conference,

November 7, 2023, Mykolaiv / Petro Mohyla Black Sea National University. –
Mykolaiv: Publishing House of Petro Mohyla Black Sea National University, 2023. –
364 p.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ І ВИКОРИСТАННЯ В СФЕРІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МОНІТОРИНГУ.....	8
1.1 Історія розвитку та сфери використання безпілотних літальних апаратів....	8
1.2 Сучасні напрямки використання дронів	10
1.3 Сучасний стан сільськогосподарського сектору та проблеми оптимізації ресурсів	17
1.4 Роль безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві	20
1.5 Завдання на проектування.....	25
Висновки до першого розділу	25
2 РОЗВИТОК СТРУКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ КВАДРАКОПТЕРУ	27
2.1 Класифікація дронів за типом аеродинамічної конфігурації	27
2.2 Технології та обладнання для реалізації безпілотних літальних апаратів ..	32
2.3 Аеродинамічні принципи роботи дронів мультикоптерів	38
2.4 Обґрунтування та вибір блоків системи автоматизації.....	40
2.5 Алгоритм роботи дрону мультикоптеру	49
2.6 Електрична принципова	51
2.7 Написання коду для дрону	53
Висновки до другого розділу.....	60
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
3.1 Джерела впливу системи на довкілля	63
3.2 Джерела впливу на людину і на екосистему.....	64
3.3 Безпека життєдіяльності	69
3.4 Розрахунок можливих ризиків при роботі	71

Висновки до третього розділу	75
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	78
Додаток А	80
Додаток Б.....	81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА - безпілотні літальні апарати

АСК – автоматизовані системи керування

NIR – інфрачервоний спектр

RGB – видимий спектр, червоний, зелений, синій

GPS – глобальна система позиціонування

ESC - електронний регулятор швидкості

ІІ – штучний інтелект

ВСТУП

Сільськогосподарська сфера займає вагомую частину економічної незалежності України. Значні за розмірами та родючістю землі, і сприятливі кліматичні умови вже давно дозволяють не тільки сповна задовольняти потреби у продовольчих ресурсах всередині країни, але підтримувати стабільні продовольчі відносини з сусідніми державами [1]. Проте аграрна промисловість, як і будь який інший сектор виробництва, завжди залишається відкритим для впровадження нових технологій для слідкування за тенденціями світового ринку.

Одним із нових напрямків розвитку аграрного сектору є використання на господарствах безпілотних літальних апаратів. Раніше ідея переходу від машин наземного базування до авіації, вже зустрічалася при використанні літаків Ан-2, які завдяки простоті у використанні, надійності та можливості виконувати одразу серію різних завдань на великих площах та особливо складних умовах, активно застосовувались у багатьох аграрно спрямованих країнах. Зазвичай літаки використали для хімічної обробки полів, зрошення, посівів, та не в останню чергу – моніторингу та спостереження за станом рослин, визначення уражених шкідниками ділянок та оцінки загального стану аграрних угідь.

Сьогодні розвиток авіа техніки у господарстві змінив свій напрямок на використання сучасніших, та значно економніших – безпілотних літальних апаратів. Це літальні апарати, контроль якими відбувається дистанційно, без знаходження пілота на борту, завдяки чому вони можуть досягати значно менших габаритів. В свою чергу це веде до збільшення маневреності, зменшення витрат палива, та спрощення процесу керування, в порівнянні з традиційними, пілотованими літаками. Дані переваги відкривають широкі можливості для використання у різноманітних сферах, включаючи цивільні дослідження, моніторинг навколишнього середовища, пошуку, рятувальних та військових операціях, доставки вантажів, зйомки відео та фотографії, а також – у аграрному

секторі.

Імплементация, та навіть власне виробництво аграрних дронів в Україні вже давно налагоджено, більш того, у 2022 році Україну визнали першою у світі [5] з впровадження роботизованих технологій в агробізнесі, завдяки використанню дронів як вітчизняних виробників – UAV Ukraine, DroneUA, AeroDrone, так і лідерів за кордону, серед яких особливо виділяють DJI та XAG. Проте незважаючи на досить розвинену промисловість, в ній залишається місце для інновацій та нових розробок. Зараз для моніторингу стану рослин активно застосовуються дрони базовані на використанні інфрачервоних камер та подальшому визначенні стану рослин за допомогою індексів NDVI та NDRE. Головним недоліком цього методу є значна вартість NIR камер, в середньому в 10 разів вища за RGB аналоги.

Замінивши дорожчу спеціалізовану камеру, на значно дешевшу растрову, вдасться значною мірою зменшити вартість всієї системи, і зробити її доступнішою для широкого покупця. Для аналізу отриманих зображень з RGB камери, достатньо використати спрощену варіант, новітніх розробок у сфері штучного інтелекту. Натренувавши власну систему, на фото та відео зі свого угіддя та порівнюючи їх із зображеннями з інтернету, було розроблено систему оцінки стану рослин, значну дешевшу та доступнішу за будь-якого конкуренту на ринці.

Актуальність теми зумовлена тим, що в сучасному світі сільське господарство є однією з найважливіших галузей економіки, що забезпечує продовольчу безпеку та економічну стабільність країни. З розвитком технологій з'являються нові можливості для підвищення ефективності та продуктивності сільськогосподарських процесів. Використання квадрокоптерів для автоматизованого моніторингу та оптимізації ресурсів у сільському господарстві сприяє підвищенню ефективності, зниженню витрат та забезпеченню екологічної стійкості сільського господарства.

Метою даної роботи було поставлено вдосконалення та покращення

Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів техніко-економічних показників, автоматизованих систем моніторингу та оптимізації ресурсів у сільському господарстві.

Об'єктом дослідження є процеси автоматизації сільського господарства.

Предметом дослідження є система аналізу стану врожаю на базі мультикоптеру.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі **задачі**:

1. Проаналізувати тенденції розвитку сучасних аграрних дронів.
2. Розглянути конкурентні рішення, патенти та корисні моделі.
3. Сформувані критерії та вимоги до автоматизованої системи аналізу врожаю.
4. Запропонувати та обґрунтувати вибір блоків для реалізації безпілотного літального апарату згідно до сформованих вимог.
5. Розробити блок схему та алгоритм роботи автоматизованої системи.
6. Розробити електричну принципову схему аграрного дрону для моніторингу стану рослин.
7. Розробити код програми для аналізу відео за допомогою штучного інтелекту.
8. Проаналізувати інформацію з охорони праці та організації безпечного середовища.

1 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ І ВИКОРИСТАННЯ В СФЕРІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МОНІТОРИНГУ

1.1 Історія розвитку та сфери використання безпілотних літальних апаратів

1.1.1 Перший в історії БпЛА

Першими зафіксованими у історії безпілотними літаючими апаратами були кулі з вибухівкою, використані австрійською армією під час нападу на Венецію у 1849 році [6]. Саме військова сфера стара першим напрямком використання дронів. Цю назву, за однією версією, вони отримали як посилення на один із перших військових безпілотних літальних апаратів – «DH.82B Queen Bee» що перекладається як королева бджіл. Вважається що саме так безпілотні апарати почали асоціюватися з бджолами та трутнями – прямий переклад слова «drone» з англійської. За іншою версією, назвати безпілотники в честь комахи було вирішено через їх характерний гул, що нагадує звук, який створюють трутні під час польоту.

1.1.2 Перший квадрокоптер

Перший у світі відомий квадрокоптер був створений у 1907 році, двома братами на ім'я Жак та Луї Бреге [6]. Вони працювали разом з суперечливим лауреатом Нобелівської премії професором Шарлем Ріше, що стало вагомим кроком у розвитку безпілотної авіації. Свій винахід вони назвали «Gyroplane No.1», він мав чотири ротори, розташовані на кінцях рами у формі хреста. Кожен ротор був оснащений двома лопатями, які оберталися в протилежних напрямках, що забезпечувало стабільність під час польоту. Попри інноваційний дизайн, апарат мав численні недоліки. Однією з основних проблем була нестабільність: квадрокоптер вимагав присутності чотирьох людей, щоб утримувати його у

вертикальному положенні під час зльоту. Крім того, він міг піднятися лише на висоту приблизно 60 см над землею і залишався у повітрі дуже короткий час. Перший квадрокоптер був здебільшого експериментальним апаратом і не мав практичного застосування, однак він заклав основи для майбутніх досліджень та розробок у сфері багатороторних літальних апаратів.

1.1.3 Початок промислового застосування

На початку 21 століття, дрони стали доступними для широкого загалу. Це стимулювало подальше вдосконалення технологій та розширення сфер застосування, включаючи аерофотозйомку, моніторинг навколишнього середовища, доставку товарів та багато іншого.

Перший аграрний дрон був розроблений японським виробником Yamaha у 2000 році [7] і фактично став першим комерційним дроном, віднайшовши своє місце у сільському господарстві. Модель R-50 була призначена для аналізу полів та картографування врожаю. Встановлені GPS та камера дозволяли збирати інформацію про розмір, стан і розвиток рослин. R-50 був першим дроном, створеним виключно для сільськогосподарських цілей. З моменту його випуску було створено багато інших аграрних дронів, і технологія постійно вдосконалюється. Сьогодні аграрні дрони використовуються для багатьох різних цілей, таких як сівба, моніторинг врожаю та обприскування культур.

У 2010 році французька компанія Parrot SA виготовила перший у світі безпілотник, керований за допомогою Wi-Fi мережі та смартфона. Він отримав схвальні відгуки як від критиків, так і від споживачів, і здобув нагороду CES Innovation 2010 за найкраще електронне ігрове обладнання.

У 2016 році одна з найкращих на той час компаній-виробників дронів, DJI, представила Phantom 4, перший «розумний» дрон з високотехнологічними можливостями навчання. Він міг уникати перешкод і відстежувати людей, тварин і об'єкти за допомогою фотозйомки. В тому ж самому році, на виставці Consumer

Electronics Show 2016, вперше було представлено дрон-таксі EHang 184 – пасажирський одномісний дрон здатний автономно перевозити пасажирів на відстань до 16 км зі швидкістю до 100 км/год. Дрон оснащений вісьмома роторами для забезпечення стабільного польоту та має вбудовану систему безпеки, яка активується у разі виникнення проблем [8].

За історію розвитку безпілотних літальних апаратів, технологія зазнавала, значних змін і вдосконалень. Ранній етап розвитку характеризувався технічними викликами та обмеженнями, однак, з часом, розвиток електроніки, матеріалознавства та програмного забезпечення сприяв появі більш надійних і функціональних моделей. Сучасні дрони використовують передові системи навігації, штучний інтелект та автономне управління, що робить їх незамінними інструментами у багатьох галузях. Швидкий темп технологічного прогресу та інновацій вказує на те, що дрони матимуть все більший вплив на наше повсякденне життя та економіку в майбутньому, технологія має великий потенціал і продовжує розвиватися, відкриваючи нові можливості для різних галузей.

1.2 Сучасні напрямки використання дронів

Загалом сфери використання дронів поділяється на два напрямки – військовий та цивільний. В межах цивільної категорії, їх також класифікують за конкретними напрямками – архітектури та будівництва, логістики та транспортування, охорони навколишнього середовища, безпеки та охорони, освіти та наукових досліджень, або сільськогосподарського використання.

Нижче детальніше розглянемо актуальні, комерційні сфери використання БПЛА, переважно у цілях моніторингу, картографування та спостереження у різних напрямках виробництва та промисловості.

1.2.1 Архітектура та будівництво

Одним з ключових застосувань дронів в архітектурі є фотограмметрія та 3D-моделювання. Завдяки здатності знімати зображення будівель та місцевості з різних ракурсів, архітектори створюють високоточні 3D-моделі. Це значно полегшує процес проектування, дозволяючи деталізувати та вдосконалювати структури ще до початку будівництва.

Дрони також забезпечують швидкий і детальний огляд будівельних майданчиків, що дозволяє архітекторам оцінювати стан території, виявляти потенційні проблеми та планувати розміщення об'єктів [9]. Інспекція будівель на різних етапах будівництва та експлуатації допомагає виявляти дефекти, пошкодження та необхідність ремонтних робіт без використання дорогого обладнання та ризику для людей.

Регулярний моніторинг прогресу будівництва дозволяє документувати кожен етап процесу, сприяючи кращому управлінню проектами та своєчасному виявленню відхилень від плану, значно підвищуючи ефективність та знижуючи витрати на будівництво. Особливо цінним є використання дронів для документування історичних об'єктів. Для збереження культурної спадщини дрони використовуються для детального документування історичних будівель та пам'яток, для створення їх точних цифрових копій.

Використання дронів у архітектурі значно підвищує ефективність проектування, будівництва та експлуатації будівель, дозволяє оцінювати рівень безпеки на будівельних майданчиках. Вони забезпечують нові можливості для збору даних, моніторингу та візуалізації, майбутніх проектів.

1.2.2 Транспортування

Використання дронів у транспортуванні та доставці стає все більш популярним і перспективним напрямком розвитку логістичних послуг.

Технологія відкриває нові можливості для швидкої та ефективної доставки товарів, особливо в умовах, де традиційні методи транспортування виявляються недостатньо оперативними або економічно не вигідними.

Одним з основних переваг дронів є їх здатність обминати транспортні заборони та швидко доставляти товари на короткі та середні відстані. Це особливо актуально для великих міст з інтенсивним трафіком, де доставка вантажів автомобільним транспортом може займати багато часу. Дрони дозволяють значно скоротити час доставки, що є критично важливим для таких сфер, як доставка медикаментів, продуктів харчування та інших товарів з коротким терміном придатності [9].

Дрони відіграють важливу роль у доставці товарів у важкодоступні райони, такі як віддалені села, гірські місцевості та острови. Використання дронів у таких умовах дозволяє забезпечити необхідні поставки навіть у тих випадках, коли традиційні засоби транспортування є неможливими або занадто дорогими. Це значно підвищує доступність товарів та послуг для жителів віддалених регіонів.

Іншою важливою перевагою використання дронів для транспортування та доставки є їх екологічність. На відміну від автомобільного транспорту, дрони не викидають шкідливих речовин у атмосферу, що робить їх використання більш дружнім до довкілля [9]. Це особливо актуально в умовах зростаючої уваги до екологічних проблем та необхідності зниження викидів парникових газів.

Дрони оснащені різноманітними датчиками та технологіями, дозволяють здійснювати доставку з високою точністю. Наприклад, використання GPS-навігації та системи уникнення перешкод забезпечує безпечний та надійний маршрут для дрону, мінімізуючи ризики аварій та втрати вантажу. Це важливо для доставки цінних або делікатних товарів, які вимагають особливої обережності.

Компанії, які впроваджують дрони для доставки, також стикаються з певними викликами, такими як регулювання повітряного простору, забезпечення безпеки польотів та розробка відповідної інфраструктури для зарядки та

обслуговування дронів. Попри ці труднощі, перспективи використання дронів у логістиці є дуже обнадійливими, і багато компаній активно працюють над їх подоланням.

У транспортуванні та доставці, дрони є інноваційним підходом, який має потенціал значно підвищити ефективність логістичних послуг, скоротити час доставки та знизити негативний вплив на довкілля. З розвитком технологій та впровадженням нових рішень, дрони стануть невід'ємною частиною сучасної логістичної інфраструктури, забезпечуючи швидку, надійну та екологічно чисту доставку товарів.

1.2.3 Застосування при надзвичайних ситуаціях

Використання БПЛА забезпечує швидке та ефективне реагування, що особливо важливо при надзвичайних ситуаціях, при яких дрони охоплюють одразу кілька ключових напрямків, кожен з яких значно підвищує ефективність рятувальних операцій та знижує ризики для рятувальників і постраждалих. Під час пошуково-рятувальних операцій, їх застосовують для швидкого обстеження великих території, на яких важко або потенційно небезпечно знаходитись людям, такі як гори, ліси, водні об'єкти чи зони стихійних лих. Завдяки високоякісним камерам та тепловізорам, дрони здатні виявляти місцезнаходження людей навіть у важкодоступних областях або в умовах низької видимості. Це дозволяє рятувальникам оперативно визначати місцезнаходження постраждалих та планувати найбільш ефективні шляхи для їх порятунку.

Дрони активно використовуються для моніторингу та оцінки ситуацій під час надзвичайних подій – пожеж, повеней, землетрусів та інших природних катастроф, забезпечують візуалізацію подій у реальному часі, дозволяючи рятувальникам отримувати актуальну інформацію про масштаби та динаміку ситуації. Це допомагає приймати обґрунтовані рішення та координувати дії рятувальних бригад.

У важкодоступних районах або зонах, де традиційний транспорт не може дістатися, дрони використовуються для доставки медичних препаратів, перев'язувальних матеріалів та іншого рятувального обладнання, що особливо важливо в ситуаціях, коли кожна хвилина має значення, і своєчасна доставка медичних засобів може врятувати життя.

Дрони оснащені тепловізійними камерами та іншими сенсорами, які дозволяють виявляти осередки пожеж та відслідковувати їх розповсюдження. Це значно полегшує роботу пожежних, дозволяючи ефективніше планувати заходи з гасіння вогню. Сучасні моделі дронів оснащують засобами для безпосереднього гасіння невеликих вогнищ.

Дрони також використовуються поліцією та іншими службами безпеки для моніторингу великих масових заходів, виявлення правопорушень та координації дій під час надзвичайних ситуацій. Вони забезпечують огляд великої території з повітря, що дозволяє швидко реагувати на потенційні загрози та запобігати небезпекам.

Використання дронів у службах екстреної допомоги значно підвищує ефективність та оперативність рятувальних операцій, забезпечуючи швидкий доступ до актуальної інформації та можливість діяти в складних умовах. Вони стають важливим інструментом у боротьбі зі стихійними лихами, техногенними катастрофами та іншими надзвичайними ситуаціями, допомагаючи рятувати життя та мінімізувати наслідки катастроф.

1.2.4 Охорона навколишнього середовища

В межах охорони навколишнього середовища, дрони відкривають нові можливості для моніторингу та захисту екосистем. Завдяки своїм невеликим габаритам, в порівнянні з повно розмірними літальними апаратами на кшталт гелікоптерів та літаків, дрони здатні забезпечувати швидкий та ефективний збір даних, що сприяє більш точному аналізу та прийняттю рішень щодо охорони

природи.

Одним з ключових напрямків застосувань дронів для охорони навколишнього середовища є моніторинг стану лісів. Швидко обстежуючи великі території, збираючи високоякісні зображення та відеоматеріали, дрони дозволяють виявляти незаконну вирубку лісів, стежити за станом рослинності та відстежувати зміни у ландшафті. Завдяки цьому екологи можуть оперативно реагувати на загрози та розробляти ефективні стратегії захисту лісів.

Також БПЛА використовуються для моніторингу водних ресурсів, здатні здійснювати аерофотозйомку водойм, річок та узбережжя, що дозволяє виявляти забруднення, оцінювати стан водних екосистем та контролювати якість води, що особливо важливо в умовах зростаючої загрози забруднення водойм від промислових та сільськогосподарських відходів.

Значну роль дрони відіграють і у дослідженні дикої природи. Вони дозволяють спостерігати за поведінкою та міграцією тварин, не втручаючись у їх природне середовище. Це сприяє збереженню рідкісних та зникаючих видів, а також допомагає вивчати екологічні процеси, що відбуваються у різних екосистемах.

Окрім цього, дрони використовуються для моніторингу стану атмосферного повітря. Обладнані датчиками, що вимірюють рівень забруднення повітря, вони виявляють викиди шкідливих речовин та стежать за якістю повітря у різних районах. Це дозволяє екологам оперативно виявляти джерела забруднення та розробляти заходи для покращення якості повітря.

Дрони також допомагають у боротьбі з браконьерством та незаконним полюванням, забезпечуючи постійний нагляд за охоронюваними територіями, виявляючи підозрілу активність та допомагаючи службам охорони природи реагувати на порушення. Це значно підвищує ефективність заходів з охорони рідкісних видів та збереження біорізноманіття.

Таким чином, використання дронів у охороні навколишнього середовища

значно підвищує ефективність моніторингу та захисту екосистем, забезпечує швидкий та точний збір даних, сприяє оперативному реагуванню на загрози та допомагає розробляти ефективні стратегії для збереження природи.

1.2.5 Сільське господарство

У сільському господарстві дрони надають фермерам можливість здійснювати точний моніторинг стану посівів, оптимізувати використання добрив та водних ресурсів, а також швидко реагувати на загрози, такі як шкідники та хвороби.

Однією з головних переваг дронів у сільському господарстві є їх здатність швидко обстежувати великі площі полів. Використовуючи високоякісні камери та сенсори, БПЛА збирають детальні зображення та дані про стан рослин. Це дозволяє фермерам оперативно виявляти проблеми на ранніх стадіях, такі як нестача поживних речовин, хвороби або ураження шкідниками. Завдяки цьому є можливість своєчасно вжити заходів для запобігання поширенню проблем і мінімізувати втрати врожаю.

Дрони також використовуються для створення точних карт полів, що допомагає в оптимізації використання ресурсів. Зокрема, вони визначають зони, де необхідно додатково внести добрива або здійснити полив. Це дозволяє значно знизити витрати на агрохімікати та воду, забезпечуючи при цьому рівномірний розвиток посівів. Крім того, точне внесення добрив і пестицидів з допомогою дронів знижує негативний вплив на довкілля.

Ще одним важливим аспектом використання дронів є моніторинг стану ґрунту. Вони вимірюють вологість ґрунту, вміст органічних речовин та інші параметри, що впливають на врожайність. Це дозволяє фермерам приймати обґрунтовані рішення щодо зрошення та добрив, що сприяє підвищенню ефективності господарства та збереженню природних ресурсів. Крім того, дрони використовуються для моніторингу стану сільськогосподарських угідь та

запобігання деградації ґрунтів, допомагають виявляти ерозійні процеси, оцінювати стан посівів та розробляти стратегії для сталого використання земельних ресурсів.

Моніторинг у тваринництві також може бути спрощено та покращено за допомогою обстеження великих площ пасовищ, та фіксування переміщення стад, що допомагає виявляти хворих або поранених тварин та своєчасно надавати їм допомогу, це підвищує ефективність управління тваринницькими фермами та сприяє збереженню здоров'я тварин.

Дрони також грають важливу роль у сільськогосподарських дослідженнях. Вони дозволяють збирати великі обсяги даних для аналізу та моделювання, що сприяє розробці нових методів і технологій для підвищення врожайності та стійкості аграрних систем. Завдяки цьому можна впроваджувати інноваційні підходи до управління сільським господарством, підвищуючи його продуктивність та економічну ефективність.

Таким чином, використання дронів у сільському господарстві значно покращує управління аграрними ресурсами, підвищує продуктивність та знижує витрати. Вони забезпечують точний моніторинг стану посівів і ґрунтів, оптимізують використання добрив і водних ресурсів, а також сприяють своєчасному виявленню та запобіганню загрозам. Детальніше особливості використання дронів у аграрному секторі буде розглянуто наступному розділі.

1.3 Сучасний стан сільськогосподарського сектору та проблеми оптимізації ресурсів

1.3.1 Україна на світовому ринку

Впродовж десятиліть Україна займає передові позиції на світовому ринку збиту сільськогосподарської продукції, постійно знаходячись в топ-10 країн експортерів. Щорічно вирощуючи 90-100 мільйонів тон зернових культур, з 32,5

мільйонами гектарів родючої землі, на Україну приходить 30% світових чорноземів – одного з найродючіших типів ґрунтів, що характеризується своєю високою здатністю утримувати вологу та поживні речовини [3].

Сільськогосподарський сектор України є одним з ключових компонентів економіки країни, забезпечуючи значну частку ВВП, кожна друга гривня українського ВВП, походить від сільського господарства, яке забезпечує роботою близько 20% населення усієї країни [3], і експортних доходів. Сільське господарство має великий потенціал завдяки родючим ґрунтам, сприятливому клімату та великій кількості сільськогосподарських угідь. Україна є одним з найбільших світових виробників та експортерів зернових культур, зокрема пшениці, кукурудзи, ячменю та соняшника. Також активно розвивається виробництво та експорт олії, цукру, м'яса та молочних продуктів.

1.3.2 Сучасний стан сільськогосподарського сектору

Сільське господарство сучасної України знаходиться в складному стані, не зважаючи на значний тривалий ріст у минулому, наявність якого можна було побачити у довоєнний період 2016 – 2022 роках [1].

Завдяки відмінним кліматичним умовам та якісним земельним ресурсам, що створюють сприятливі умови для ефективного розвитку галузі, Україна могла не лише забезпечувати своє населення якісною та безпечною їжею, але й вносити значний внесок у боротьбу з глобальним голодом. У 2016 році тогочасний прем'єр-міністр А. Яценюк, зазначав ріст виробництва українського продовольства у 16%, порівняно з попереднім роком, та зокрема збільшення урожайності на 14%, що дозволило сільському господарству стати новим драйвером економічної стабільності у країні.

Укладена асоціація з ЄС, яка набрала чинності у листопаді 2014 року, дозволяла країні успішно вивозити свою продукцію на європейські ринки. За допомогою скасування мит і інших обмежень, зокрема щодо продажу зернових

культур, вважалася першим кроком у напрямку економічного зростання та більш глибокої інтеграції України у Євросоюз [1].

Але вже тоді приділялась особлива увага до інноваційної діяльності, яка має важливе значення для розвитку сільського господарства. Один з пріоритетних напрямків інновацій – впровадження передових агро технологій для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності на ринках.

Сьогодні ж Україна стоїть перед надзвичайно важким періодом, який має негативні наслідки для багатьох галузей економіки, зокрема для сільського господарства. Неможливість проведення посівних кампаній на великій частині території країни лише поглиблює ці проблеми. Крім того, розвиток сільського господарства до війни був супроводжуваний рядом соціально-економічних проблем [2].

Вирішення цих проблем потребує інноваційного підходу до розвитку сільського господарства. Зокрема, необхідно впроваджувати передові технології, що сприятимуть збільшенню інвестицій у економіку країни, та оптимізацію використання наявних державних ресурсів.

1.3.3 Актуальні проблеми аграрного сектору

Однією з основних проблем є недостатня ефективність використання земельних ресурсів, що використовуються не відповідно до їх потенціалу, і призводить до втрати можливих збільшених врожаїв і зниження прибутковості. Сюди також важливо віднести і наявну потребу відновлення родючості ґрунтів, через внесення органічних та мінеральних добрив.

Також існує проблема низької технологізації в аграрному секторі. Використання застарілих технологій та обладнання, відставання у впровадженні сучасних агро технологій та цифрових рішень, все це обмежує ефективність виробництва і ускладнює конкуренцію на ринку.

Проблема управління та організації також впливає на ефективність

сільського господарства. Відсутність вчасної, налагодженої координації між виробниками, постачальниками та ринками. Недостатньо розвинена транспортна інфраструктура для перевезення сільськогосподарської продукції, що може призвести до надмірного запасу або недостатньої його кількості.

Для оптимізації ресурсів в сільському господарстві необхідно впроваджувати сучасні технології, підвищувати доступність фінансових ресурсів для аграріїв, розвивати систему управління та координації. Також важливо здійснювати раціональне використання земельних ресурсів і стимулювати впровадження екологічно чистих методів виробництва.

Серед можливих шляхів для вирішення проблеми важливо виділити системи точного землеробства – використання GPS, дронів, супутникових даних для точного моніторингу полів та оптимального внесення добрив і засобів захисту рослин. Впровадження систем крапельного зрошення та інших водозберігаючих технологій.

Сучасний стан сільськогосподарського сектору України свідчить про значний потенціал для розвитку, але для його реалізації необхідно вирішити існуючі проблеми та оптимізувати використання ресурсів.

1.4 Роль безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві

Аграрний сектор є одним із найбільших і найпопулярніших напрямків застосувань дронів. Ця тенденція зумовлена потребою обстежувати та обробляти великі, відкриті ділянки, що часто буває дуже громіздким завданням при виконанні пішки, або коштує зайвих витрат при об'їзді масивних угідь на авто або тракторі, що не в останню чергу, забирає багато часу або потребує великого персоналу. Проте ці роботи можна легко і швидко виконувати з повітря. Існує цілий ряд сільськогосподарських заходів, які виконуються значно швидше і економніше, за допомогою вже існуючих дронів на ринку.

Сільськогосподарська авіація має переваги перед наземним обладнанням у ефективності обробки полів до дванадцяти разів [3]. Це дозволяє проводити швидко повітряне засівання ряду культур, обприскування пестицидами та іншими хімікатами для сільського господарства, внесення добрива і здійснення моніторингу ресурсів. Крім того, на відміну від традиційного наземного обладнання, літаки не пошкоджують врожай і не залишають колій від коліс, що забезпечує додаткові 6% врожаю і дозволяє фермерам обробляти посіви тоді, коли земельна техніка не може працювати на полі. Наприклад, на ранню весну або безпосередньо після дощів, коли ґрунт мокрий і трактори просто не можуть потрапити на поле, або наприкінці літа, коли рослини вже високі (понад 1 м) і трактори можуть пошкодити врожай [3].

1.4.1 Моніторинг стану рослин

Окрім застосування дронів для швидкого і легкого оброблення рослин поживними речовинами, їх також використовують для проведення превентивних обстежень рослин. На основі аналізу отриманих з дрону даних, визначається стан розвитку рослин та рівень зараження, що використовується як основа для планування майбутнього втручання. Оцінка поточного стану рослин дозволяє точно визначати потреби у додатковому добриві, з чим також допомагає вже окремий дрон, запрограмований випускати матеріали в тих місцях, де це необхідно. Таким чином вдається не тільки доглядати за станом рослин та ідентифікувати появу хвороби на ранніх стадіях, а й гарантувати однорідну якість врожаю на всій території господарства.

Моніторинг рослин відбувається за допомогою спеціалізованих камер – мультиспектральних, інфрачервоних та цифрових сенсорів, з яких дрони отримують зображення, що надають інформацію про здоров'я рослин, рівень хлорофілу, вміст води та інші важливі параметри, швидко обстежуючи великі площі полів, та забезпечуючи детальну аерофотозйомку високої роздільної

здатності. Оптимальне використання дронів в аграрному секторі може включати комбінацію обох типів камер для досягнення найкращих результатів.



Рисунок 1.1 – Фото RGB та мультиспектральної зйомки

Такий моніторинг дозволяє створювати точні карти стану полів, які відображають різноманітні показники здоров'я рослин. Ці карти допомагають визначати зони стресу та проблемні ділянки, де необхідно втручання, додаткове внесення добрив або полив. Такий підхід дозволяє оптимізувати використання ресурсів, знижуючи витрати на агрохімікати та воду, що, у свою чергу, сприяє підвищенню екологічної стійкості господарства.

Крім того, дрони використовуються для моніторингу динаміки росту рослин протягом вегетаційного періоду. Регулярні обльоти полів з фіксацією стану рослин дозволяють відстежувати зміни та оцінювати ефективність застосованих агротехнічних заходів. Це забезпечує фермерам можливість оперативно коригувати стратегії управління посівами та максимально підвищувати їх врожайність.

Ще одним важливим аспектом є можливість використання дронів для точного внесення засобів захисту рослин. Дрони оснащені системами розпилення, які дозволяють рівномірно розподіляти пестициди або добрива по полю. Це не

тільки підвищує ефективність обробки, але й знижує ризик передозування та негативного впливу на довкілля.

Моніторинг стану рослин за допомогою дронів також сприяє більш точному прогнозуванню врожайності. Зібрані дані аналізуються для оцінки потенційного обсягу врожаю, що допомагає фермерам планувати збір урожаю та продаж продукції, що забезпечує більш стабільний дохід та знижує ризики, пов'язані з коливаннями врожайності.

Використання дронів для моніторингу стану рослин є ефективним інструментом для підвищення продуктивності та ефективності сільськогосподарського виробництва. Вони забезпечують швидкий та точний збір даних, допомагають виявляти та вирішувати проблеми на ранніх стадіях, оптимізують використання ресурсів та сприяють екологічній стійкості господарства. З розвитком технологій дрони стають невід'ємною частиною сучасного сільського господарства, допомагаючи фермерам забезпечувати стабільне та високе виробництво якісної продукції.

Як вже було зазначено вище, для моніторингу стану рослин використовуються різні камери, ціни на котрі значно варіюються залежно від типу камери, її технічних характеристик та виробника. Обирати камеру потрібно в залежності від поставленої задачі та бюджету проекту.

Кожен тип камер на ринку має свої переваги і недоліки. RGB камери є хорошим вибором для загальної візуальної оцінки стану рослин та для завдань, що не вимагають детального аналізу. Інфрачервоні камери, забезпечують більш детальну інформацію про фізіологічний стан рослин, але вони є більш дорогими і вимогливими до обробки даних. Мультиспектральні камери охоплюють діапазони від видимого до ближнього інфрачервоного спектру, що дозволяє отримувати докладні дані про стан рослин і їх фізіологічні процеси, детальніше про порівняння типів сенсорів описано у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Сенсори для виявлення захворювань та моніторингу за рослинами

Тип сенсору	Переваги	Недоліки
Цифрова камера (RGB)	Характеристики рослин фіксуються на чорно-білих або кольорових знімках, у видимому спектрі, що дозволяє виявляти захворювання на рівні листя. Легкі, недорогі, надзвичайно прості у використанні, з простим обробленням даних та мінімальними вимогами до робочого середовища.	Менша інформаційна цінність через зйомку лише у видимому спектрі і залежність від умов освітлення, що впливає на якість та точність даних.
Теплові інфрачервоні камери	Виявляють різні аспекти здоров'я рослин, включаючи рівень хлорофілу, стан водного стресу та фотосинтетичну активність, використовуватися вдень і вночі, дозволяють обчислювати різні індекси рослинності, такі як NDVI (нормалізований різницевий вегетаційний індекс)	Обробка зображень вимагає більш складних методів аналізу, чутливість до температурних змін та інших факторів навколишнього середовища, значно дорожчі в порівнянні з RGB камерами.
Мультиспектральна камера	Охоплює видимий, та діапазон між червоним і	Дорожчі в порівнянні з RGB, чутливі до змін

	ближнім інфрачервоним спектром, чутливим до змін у вмісті хлорофілу в рослинах, що дозволяє виявляти хвороби на ранніх стадіях.	навколишнього середовища – хмарності та сильного вітру
--	---	--

Проте не менш вагомим фактором при виборі камери є їх ціна. Мультиспектральні камери починаються від 1,500 доларів, а інфрачервоні сенсори – від 500 доларів, значно дорожче за цифрові RGB камери, ціни на котрі, можуть досягати 500 доларів, а починаються з 100. В межах даного проекту, було вирішено обрати саме RGB камеру, через її значно меншу ціну та відповідність поставленій для проектування задачі.

1.5 Завдання на проектування

1. Проаналізувати напрямки розвитку та типи популярних аграрних дронів в сільському господарстві.
2. Визначити задачі котрі вирішуватиме дрон, та на основі них сформулювати критерії для вибору комплектуючих.
3. Обрати аеродинамічну конфігурацію структури дрона, на основі аналізу існуючих рішень.
4. Описати алгоритм роботи дрона.
5. Створити структурну схему.
6. Розробити код програми для аналізу відео з використанням ШІ.

Висновки до першого розділу

1. Сфери використання безпілотних літальних апаратів активно розширюються, завдяки чому дрони вже інтегровані у серії напрямків

промисловості, а саме у архітектурі, будівництві, транспортуванні, охороні навколишнього середовища, сільському господарстві тощо. Це є відповідним наслідком стрімкого розвитку технології, що стає дедалі простішою у використанні, економнішою та гнучкою, для адаптації під різні умови роботи.

2. У аграрному секторі, безпілотні літальні апарати надають можливість швидко, економічно та ефективно виконувати задачі, за умов, коли інша сільськогосподарська техніка не може бути задіяна, наприклад у сезони дощів. Використання дронів передбачає, але не обмежується: дистанційною обробкою великих площ господарських угідь, проведенням повітряного засівання, обприскуванням пестицидами та добривами, а також моніторингом стану рослин. Головним напрямком використання, який буде розглядатися впродовж роботи є моніторинг стару здоров'я рослин завдяки спеціалізованим камерам, що дозволяє створювати точні карти стану полів, оптимізувати використання ресурсів, підвищуючи врожайність та екологічну стійкість господарства, а також знижуючи витрати на агрохімікати та воду.

2 РОЗВИТОК СТРУКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ КВАДРАКОПТЕРУ

2.1 Класифікація дронів за типом аеродинамічної конфігурації

Аеродинамічна конфігурація дрона визначає його конструкцію, що в свою чергу впливає на маневреність, тривалість польоту та інші характеристики, від яких залежить можливість виконання тих або інших завдань. У аграрній сфері широко використовуються дрони з різними аеродинамічними конфігураціями, кожна з яких має свої переваги та недоліки в залежності від напрямку використання. Розглянемо різні типи детальніше.

2.1.1 Літакові дрони з нерухомим крилом (Rigid-wing)

Літакові дрони з нерухомим крилом є поширеним типом аеродинамічної конфігурації літальних апаратів, завдяки їх перевагам у високій ефективності, тривалості польоту та здатності покривати великі відстані за короткі проміжки часу. Така структура широко використовується в різних сферах, включаючи картографування, моніторинг сільськогосподарських угідь, розвідувальні операції та рятувальні місії.

Дрони з нерухомим крилом мають конструкцію, схожу на традиційні літаки, основними компонентами яких є фюзеляж, нерухомі крила, хвостова частина, двигун та системи управління. Нерухомі крила створюють підйомну силу за рахунок аеродинамічного профілю, коли дрон рухається вперед під впливом двигуна. Така конфігурація дозволяє літаковим дронам досягати високої швидкості та покривати великі відстані з мінімальним енергоспоживанням.

Наявним прикладом такого дизайну є дрон Ebee SQ – сучасний безпілотний літальний апарат з нерухомим крилом, розроблений спеціально для сільськогосподарського застосування, має аеродинамічний дизайн з розмахом крил близько 110 см, що дозволяє забезпечити стабільний політ і високу

ефективність. Дрон важить приблизно 1,1 кг, що робить його достатньо легким для транспортування і запуску з руки, та може залишатися в повітрі до 55 хвилин на одному заряді акумулятора, що дозволяє покривати великі площі за один політ [10].

Дана структура дозволяє eBee SQ проводити аерофотозйомку з висоти від 100 до 1000 метрів, створюючи зображення з роздільною здатністю від 3 до 30 см на один піксель, покриваючи до 200 гектарів за один політ, що є значною перевагою для великих сільськогосподарських угідь, проте ціною такої швидкості є вбудована коштовна камера, здатна зберігати чіткі зображення та відео на великій швидкості руху. Дрон оснащений мультиспектральною камерою Parrot Sequoia, яка забезпечує зйомку в різних спектральних діапазонах (зеленому, червоному, та ближньому інфрачервоному), що дозволяє отримувати детальні дані про стан рослин. Вбудована RGB камера забезпечує високоякісні зображення у видимому спектрі, що дозволяє проводити візуальні інспекції полів.

Дрон використовуються для різних сільськогосподарських завдань, включаючи моніторинг стану посівів, оцінку врожайності, управління зрошенням та внесенням добрив. Однак даний БпЛА залишається досить дорогим інструментом, що може бути суттєвою перешкодою для дрібних фермерів або підприємств з обмеженим бюджетом. Зібрані дронами дані потребують подальшої обробки та аналізу, що вимагає додаткового програмного забезпечення і навичок. Загалом, Parrot eBee SQ є високотехнологічним і ефективним інструментом для сільськогосподарського моніторингу та управління.

2.1.2 Мультироторні дрони

Конструкція мультироторних дронів включає в себе кілька роторів, зазвичай від чотирьох до восьми, розташованих симетрично навколо центрального корпусу, що забезпечує високу маневреність і стабільність польоту при відносно повільному русі, в порівнянні з конструкціями з нерухомими

крилами. Кожен ротор складається з двигуна і пропелера, який генерує підйомну силу. Принцип роботи мультироторних дронів ґрунтується на незалежному керуванні швидкістю обертання кожного пропелера, що дозволяє точно регулювати напрямок і швидкість польоту.

Квадрокоптери, найпоширеніший тип мультироторних дронів, мають чотири ротори, розташовані у вигляді хреста. Ця конфігурація забезпечує баланс між стабільністю і маневреністю, роблячи їх придатними для різних застосувань, від аматорської аерофотозйомки до професійного використання в промисловості. Гексакоптери і октокоптери, з шістьма і вісьмома роторами відповідно, забезпечують більшу підйомну силу і стабільність, що робить їх придатними для транспортування важчих вантажів і в результаті складніших завдань, таких як кінематографія і рятувальні операції.

Особливістю аеродинамічної конфігурації мультироторних дронів є відсутність необхідності в традиційному хвостовому оперенні або крилатих поверхнях для стабілізації. Стабільність досягається за рахунок електронних систем управління, які постійно коригують швидкість обертання пропелерів для підтримки рівноваги і напрямку. Це дозволяє мультироторним дронам зависати на місці, виконувати точні маневри і здійснювати вертикальні зльоти та посадки, що робить їх надзвичайно гнучкими і зручними для використання в обмежених просторах.

Недоліком такої конфігурації є відносно високе енергоспоживання порівняно з дронами з нерухомим крилом. Через необхідність постійного обертання пропелерів для підтримки польоту, мультироторні дрони мають менший час польоту і дальність дії. Однак їх універсальність і здатність виконувати складні маневри компенсують ці обмеження, роблячи їх незамінними в багатьох сферах, включаючи зйомку, інспекцію, доставку вантажів і рятувальні операції.

Прикладом аграрного квадрокоптеру на ринку, є Dji Phantom 4 RTK –

спеціально розроблений для точного картографування та геодезії, він є однією з найпопулярніших моделей у лінійці DJI завдяки своїй точності. Оснащений RTK-модулем (Real-Time Kinematic), БПЛА забезпечує виняткову точність позиціонування до рівня сантиметрів, що значно перевершує стандартні GPS-системи [11].

2.1.3 Гібридні дрони або конвертоплани

Дрони зі скомбінованою структурою, які поєднують крила та пропелери, об'єднують переваги як гелікоптерів, так і літаків з нерухомим крилом. Вони мають здатність до вертикального зльоту і посадки, як і гелікоптери, але також можуть переходити у режим польоту з використанням крил, що забезпечує більшу дальність польоту та ефективність, як у літаків.

Основною характеристикою таких дронів є їхня здатність змінювати режим польоту. Під час зльоту і посадки вони використовують пропелери для вертикального підйому та опускання, що дозволяє уникнути необхідності у довгих злітно-посадкових смугах. Як тільки дрон досягає певної висоти, він може перемикатися на горизонтальний політ, використовуючи свої крила для підйомної сили, що значно зменшує витрати енергії порівняно з мультироторними дронами.

У сільському господарстві такі дрони здійснюють моніторинг великих площ землі з високою ефективністю, оскільки їхні крила дозволяють покривати великі відстані на одній зарядці. Водночас здатність до вертикального зльоту та посадки дозволяє їм працювати в обмежених умовах, наприклад, у міських середовищах або на складних рельєфах.

Гібридні дрони знаходять застосування у військових та рятувальних операціях, де необхідна гнучкість у виборі місця для зльоту та посадки, а також можливість швидкого переміщення на великі відстані [12]. Їх використовують для доставки вантажів, проведення розвідки або надання підтримки в місцях, де звичайні гелікоптери або літаки не можуть працювати ефективно.

Проте, є й певні виклики, пов'язані з розробкою і експлуатацією таких дронів. Їхня складна конструкція вимагає більш ретельного технічного обслуговування і вразливіша до механічних поломок. Також управління гібридними дронами потребує складніших алгоритмів контролю польоту, щоб забезпечити безпечний і ефективний перехід між вертикальним та горизонтальним режимами польоту.

Незважаючи на ці виклики, розвиток технологій та зростаючий попит на гнучкі та ефективні безпілотні системи сприяють подальшому вдосконаленню гібридних дронів. Вони стають все більш популярними в різних галузях, демонструючи свою здатність виконувати завдання, які раніше були недоступні для традиційних типів дронів [13].

2.1.4 Вибір аеродинамічної конфігурації розроблюємого дрона

Вибір типу аеродинамічної конфігурації БПЛА залежить від багатьох факторів, таких як мета використання, умови місцевості, енергоефективність і бюджет на розробку дрона або купівлю дрона.

На основі аналізу існуючих дронів у аграрному секторі, враховуючи всі переваги та недоліки різних аеродинамічних конфігурацій, було обрано структуру мультикоптеру з чотирьома двигунами. Дане рішення було прийнято з урахування економічних показників системи, висока маневреність та можливість пересування з відносно повільною швидкістю, дозволяє зберегти кошти на купівлі більш економічної камери, через відсутність потреби у високій роздільній здатності відео та фото зйомки, та зручності у використанні в умовах відсутності рельєфної місцевості.

2.2 Технології та обладнання для реалізації безпілотних літальних апаратів

2.2.1 Загальний опис структури мультикоптеру

Структура типового мультикоптеру складається з серії необхідних компонентів – корпусу, рами, двигунів та пропелерів, системи управління, системи живлення, системи навігації і зв'язку, камери та бортових сенсорів, які обираються в залежності від поставлених до дрона задач. Блок схема структури компонентів квадрокоптеру зображена на рисунку 2.1.

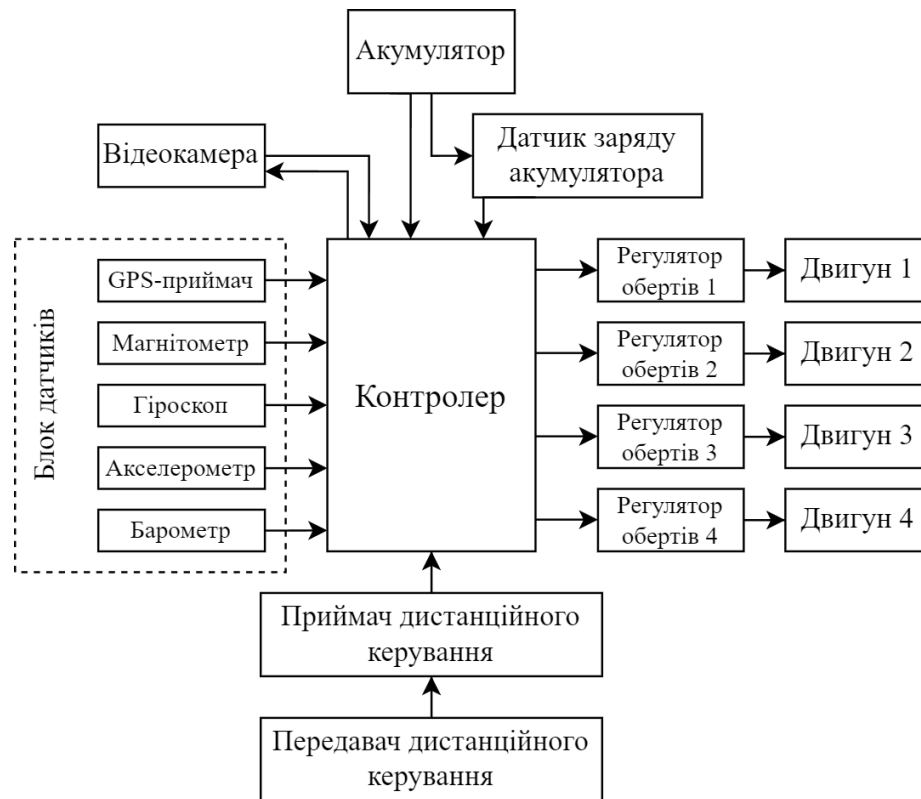


Рисунок 2.1 – Блок схема структури компонентів квадрокоптеру

2.2.2 Корпус

Корпус є основною структурою, яка об'єднує всі компоненти та забезпечує їх захист, зазвичай виготовляється з легких та міцних матеріалів, таких як вуглецеве волокно або алюміній, та може бути укріплений для додаткової

міцності наприклад композитними матеріалами. Корпус включає раму, на якій кріпляться двигуни, плати управління та інші компоненти. Рама визначає форму БПЛА та забезпечує жорсткість конструкції. Існує кілька типів рам, зокрема вони відрізняються за формою, яка може приймати вигляд літер Н, Х, або квадрату, та залежністю від кількості двигунів, поділяються на вертольотні рами з одним двигуном, трикоптери з трьома, та quadro- гекса- октокоптери відповідно з чотирма, шістьма та вісьмома двигунами. Збільшення кількості двигунів дозволяє піднімати важчі вантажі, підвищує стабільність польоту але збільшує вагу БПЛА та підвищує споживання енергії батареї, що напряму впливає на час польоту дрону.

2.2.3 Контролер польоту

Важливу роль у роботі quadroкоптера відіграє контролер польоту, що забезпечує стабільність та керування дрону. Основна функція контролера польоту полягає в обробці даних від різних датчиків, таких як гіроскоп, акселерометр, компас та GPS, для визначення поточного положення та орієнтації БПЛА в просторі, аналізуючи дані та коригуючи роботу моторів для підтримання стабільного польоту та виконання команд оператора. Також він відповідає за виконання різних маневрів, таких як зліт, посадка, зависання в одному місці, а також пересування в заданому напрямку. Контролер використовує алгоритми управління для коригування швидкості обертання кожного мотору, щоб забезпечити рівномірний підйом, обертання, нахил та рух quadroкоптера. Це особливо важливо під час виконання складних маневрів або польотів у вітряних умовах, де потрібна постійна корекція для збереження стабільності.

Окрім цього, контролер польоту може бути оснащений додатковими функціями, такими як автопілот, який дозволяє quadroкоптеру слідувати задалегідь заданим маршрутом без участі оператора, включати функції повернення додому, які автоматично повертають quadroкоптер до місця зльоту у

випадку втрати зв'язку з пультом управління або низького рівня заряду акумулятора [14].

Контролер польоту також інтегрується з різними системами передачі даних, забезпечуючи передачу інформації про стан квадрокоптера, його координати та інші параметри польоту на наземну станцію управління або до пульта оператора. Це дозволяє мати повний контроль над квадрокоптером і оперативно реагувати на зміни в умовах польоту.

Таким чином, контролер польоту є центральним елементом системи управління квадрокоптером, забезпечуючи його стабільність, маневреність і здатність виконувати складні завдання в автоматизованому режимі.

2.2.4 Барометр

Барометр на борту квадрокоптеру забезпечує точне вимірювання висоти польоту, завдяки вимірюванню атмосферного тиску та використанню цих даних для обчислення висоти над рівнем моря, оскільки атмосферний тиск змінюється зі зміною висоти. Ці дані дозволяють контролеру польоту квадрокоптера підтримувати стабільний рівень польоту, особливо під час зависання на місці або під час автоматичних маневрів. Наприклад, коли квадрокоптер зависає на одному місці, барометричний датчик постійно відстежує зміни висоти і передає ці дані на контролер польоту. Контролер польоту, у свою чергу, коригує роботу моторів для підтримання стабільної висоти, компенсуючи вплив вітру або інших зовнішніх факторів.

Використання барометра також допомагає зберігати енергію акумулятора, оскільки точне вимірювання висоти дозволяє контролеру польоту ефективно керувати енерговитратами, уникати надмірного збільшення висоти і підтримувати оптимальний режим польоту, що особливо важливо під час тривалих польотів, коли ефективне використання енергії акумулятора є критично важливим.

2.2.5 Двигуни

Двигуни у конструкції дронів забезпечуючи необхідну тягу для підйому та утримання в повітрі, а їхня продуктивність безпосередньо впливає на стабільність, швидкість і маневреність дронів. Сільськогосподарські дрони, як правило, використовують безщіткові двигуни постійного струму через їхню високу ефективність, надійність та довговічність, яка досягається завдяки меншій кількості зношуваних частин, що зменшує потребу в обслуговуванні і збільшує термін служби пристрою.

Кількість і розмір двигунів можуть змінюватися в залежності від конструкції дрона та його призначення, впливає на стабільність польоту, вантажопідйомність та контроль в умовах сильного вітру або при виконанні складних маневрів. Розмір моторів також відіграє важливу роль. Великі мотори здатні генерувати більшу тягу, що дозволяє дрону нести важчі камери, сенсори та інше обладнання, необхідне для виконання конкретних завдань, однак, більші мотори споживають більше енергії, що вагомо зменшує час польоту. Тому вибір моторів завжди є балансом між необхідною потужністю і бажаним часом автономної роботи.

Завдяки різноманітності моторів, дрони можуть бути адаптовані для виконання широкого спектру завдань, від простих фотографій і відеозйомки до складних сільськогосподарських або промислових операцій. Вибір правильного типу і кількості моторів є критичним для забезпечення оптимальної продуктивності дрона в залежності від його конкретного призначення.

2.2.6 Електроні регулятори швидкості

Електроні регулятори швидкості або Electronic Speed Control (ESC) забезпечують точне регулювання швидкості обертання моторів. ESC є електронним пристроєм, який отримує сигнали від контролера польоту дрона і

відповідно регулює потік електроенергії до двигунів, що дозволяє контролювати швидкість та напрям обертання кожного мотора, необхідне для стабільного і керованого польоту.

ESC відповідає за миттєве реагування на команди від контролера польоту, що важливо для маневрування дрона та підтримання його стабільності в повітрі, наприклад, коли дрон повинен нахилитися вперед для руху вперед, ESC змінює швидкість обертання передніх і задніх моторів, створюючи потрібний нахил. Це ж стосується поворотів, підйомів або спусків – всі маневри БпЛА вимагають синхронізованого і точного керування швидкістю обертання моторів, що забезпечується ESC.

Крім того, ESC допомагає зберігати ефективність енергоспоживання. Плавне регулювання швидкості обертання моторів допомагає уникнути різких змін, які можуть призвести до втрати енергії, що особливо важливо для дронів, оскільки економія енергії безпосередньо впливає на тривалість польоту. Деякі сучасні ESC також мають функції захисту, такі як обмеження по струму, захист від перегріву і короткого замикання, що забезпечує додаткову надійність і безпеку роботи дрона.

ESC також забезпечує зворотний зв'язок контролеру польоту, повідомляючи про поточний стан моторів, що дозволяє контролеру вносити необхідні корективи для підтримання оптимальної роботи дрона. У складних умовах польоту, таких як сильний вітер або непередбачені перешкоди, зворотний зв'язок стає критичним для збереження стабільності і контролю.

2.2.7 Система контролю

Принцип управління дроном визначається вибором системи контролю, що поділяються на ручне, напівавтоматичне та автоматичне управління.

Ручне управління повністю виконується оператором за допомогою пульта дистанційного керування, який зазвичай включає в собі два джойстики та набір

кнопок для регулювання польоту. Такий метод контролю широко застосовується як для виконання простих завдань, таких як відеозйомка та картографування, так і для більш комплексних ситуацій, де може знадобитися швидке реагування до змін умов польоту.

Напівавтоматичне або assisted control управління, включає використання автоматичних систем що допомагають зі стабілізацією та уникненням перешкод, але все ще потребують керування оператором, для задання траєкторії польоту або його маршруту.

Автоматичне управління відбувається за рахунок попередньо запрограмованих маршрутів, які як правило задаються за допомогою програмного забезпечення. Отримавши чіткий план руху дрон буде пересуватися за заданими координатами, орієнтуючись за бортовими GPS, без потреби у додатковому втручанні оператора, що застосовується у випадках, де потрібне точне і повторюване виконання однієї ж і тієї задачі, наприклад обстеження полів або моніторинг інфраструктури.

Управління за допомогою штучного інтелекту використовує алгоритм машинного навчання для аналізу даних та управління. Такі дрони обладнані камерами та сенсорами, які аналізують навколишнє середовище, та приймають рішення з контролю в реальному часі.

Гібридне управління поєднує ручне та автоматичне управління, та можливість оператора переходити між режимами або працювати разом з автоматичними системами. Різні системи контролю дронів забезпечують їх ефективне використання в широкому спектрі завдань. Вибір конкретної системи залежить від вимог до точності, автономності, гнучкості та складності задач, які потрібно виконати.

Для даного проекту було обрано систему напівавтоматичне управління, через легкість управління та відносну

2.3 Аеродинамічні принципи роботи дронів мультикоптерів

Стабільність польоту дрону мультикоптера досягається за допомогою протилежно обертових роторів. Наприклад, у квадрокоптері два ротори обертаються за годинниковою стрілкою, а два проти годинникової стрілки. Це дозволяє врівноважити крутний момент, що виникає при обертанні лопатей, та запобігти неконтрольованому обертанню дрона навколо своєї осі. Маневрування досягається шляхом зміни швидкості окремих роторів. Наприклад, для повороту вліво або вправо необхідно зменшити або збільшити швидкість роторів, що обертаються в одному напрямку, і відповідно протилежних роторів. Для нахилу вперед або назад регулюється швидкість передніх і задніх роторів.

Ефективність дронів мультикоптерів значною мірою залежить від точності керування роторами. Використання сучасних електронних контролерів дозволяє швидко й точно регулювати оберти кожного ротора, забезпечуючи необхідні зміни підйомної сили та моментів для виконання маневрів. Системи інерціальних вимірювальних блоків (IMU) та GPS забезпечують додаткову стабілізацію та навігацію, дозволяючи дронам автономно виконувати складні завдання.

2.3.1 Основні Аеродинамічні Сили

Розуміння аеродинаміки БПЛА є ключовим для забезпечення їх безпечного і ефективного польоту. Для цього необхідно визначити базові терміни та принципи, що використовуються для польотів, такі як опір (drag), тяга (thrust), підйомна сила (lift), крен (pitch), нахил (roll) та поворот (yaw).

Вище перелічені терміни є основними силами, що діють на будь-який літальний апарат, графічно відображені напрямки яких вказано на Рисунку 2.2. Вага – це сила гравітації, яка діє вниз до центру Землі. Підйомна сила, лобовий опір та обертальні моменти обчислюються з динамічного тиску, площі крила та безрозмірних коефіцієнтів [4]. Вирази для цих величин є основоположними для

аеродинамічних рівнянь, що визначають характеристики польоту літального апарату.

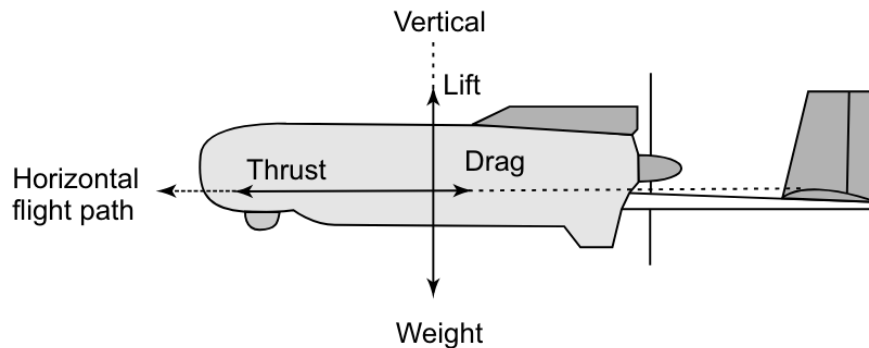


Рисунок 2.2 – Графічне зображення векторів основних сил, що діють на літальні апарати

Підйомна сила (Lift) - це сила, яка діє під прямим кутом до напрямку руху через повітря і піднімає БПЛА вгору, діючи проти його ваги. Вона створюється різницею в тиску повітря над і під крилами літака. У мультикоптерах підйомна сила створюється пропелерами, які змушують повітря рухатися вниз, створюючи відповідну реактивну силу вгору згідно з третім законом Ньютона і принципом Бернуллі. Кількість і розташування роторів дозволяють досягти стабільного польоту та точного управління за допомогою зміни швидкості обертання кожного ротора. Коли всі ротори працюють з однаковою швидкістю, дрон залишається в стабільному положенні, піднімаючись або знижуючись залежно від сумарної підйомної сили. Для успішного польоту підйомна сила повинна бути більшою за вагу дрона під час підйому, або меншою для посадки.

Опір (Drag) - це механічна сила, яка протидіє руху мультикоптеру через повітря. Він виникає через тертя і різницю в тиску повітря, що уповільнює рух дрона. Аеродинамічний опір виникає через різницю у швидкості між БПЛА і навколишнім повітрям. Ефективність польоту значною мірою залежить від точного розрахунку опору, що визначає, наскільки енергоефективним буде політ.

Тяга (Thrust) - це сила, що створюється пропелерами дрона для подолання

аеродинамічного опору. Це сила, що рухає БпЛА у напрямку його руху. Двигуни дрона створюють тягу за допомогою пропелера, реактивного двигуна або ракети. Тяга не лише піднімає дрон, але і допомагає подолати опір повітря.

2.3.2 Основні Маневри БпЛА

Основні маневри мультикоптерів виконуються за рахунок зміни швидкості окремих моторів у системі, та відповідно називаються як крен, нахил та поворот.

Крен (Pitch) - це рух дрона вперед або назад, який контролюється зміною швидкості обертання передніх і задніх пропелерів. Це дозволяє дрону нахилитися вперед або назад, змінюючи напрямок руху.

Нахил (Roll) - це рух дрона вліво або вправо, який контролюється зміною швидкості обертання лівих і правих пропелерів. Це дозволяє дрону нахилитися вліво або вправо, змінюючи напрямок руху.

Поворот (Yaw) - це обертальний рух дрона навколо вертикальної осі, який контролюється зміною швидкості обертання протилежних пропелерів. Це дозволяє дрону повертатися ліворуч або праворуч без зміни горизонтального положення.

2.4 Обґрунтування та вибір блоків системи автоматизації

Контролер Teensy 4.0

Teensy 4.0 — потужний і компактний мікроконтролер, розроблений компанією PJRC та оснащений процесором NXP i.MX RT1062, який є одним із найпотужніших процесорів у класі ARM Cortex-M7. Забезпечує високу продуктивність та гнучкість, а досить великий обсяг оперативної пам'яті - 1 МБ дозволяє виконувати складні обчислення та обробку даних, що робить Teensy 4.0 ідеальним для комплексних проєктів. Технічні характеристики контролеру наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики контролера Teensy 4.0

Контролер Teensy 4.0	
Характеристики	
Процесор	NXP i.MX RT1062, архітектури ARM Cortex-M7
Тактова частота, МГц	600
Пам'ять	1 МБ RAM та 2 МБ флеш-пам'яті для зберігання програм
Порти введення та виведення	40 цифрових вводу/виводу, 14 апаратних аналогових входів (ADC), 2 аналогових виходи (DAC), 32 біти цифрових вводу/виводу мають можливість апаратного синхронного захоплення (FlexIO)
Додаткові функції	підтримка USB Host і USB Device, апаратне прискорення для криптографії
Розміри, мм	38*18
Сумісність	повністю підтримує Arduino IDE



Рисунок 2.3 – Контролер Teensy 4.0

Гіроскоп акселерометр Gy-521 MPU-6050

Модуль GY-521 на основі сенсора MPU-6050 об'єднує в собі тривісний гіроскоп і тривісний акселерометр, та є багатофункціональним інерційним вимірювальним пристроєм, спеціалізованим для використання в різноманітних

проектах з вимірюванням орієнтації та руху.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики гіроскопу акселерометру Gy-521 MPU-6050

Гіроскоп акселерометр Gy-521 MPU-6050	
Характеристики акселерометру	
Діапазон вимірювань	2g, 4g, 8g, 16g налаштовується
Роздільна здатність	16-бітний ADC для кожної осі
Частота вибірки	до 1 кГц
Характеристики гіроскопу	
Діапазон вимірювань	250, 500, 1000, 2000 градусів/секунду
Роздільна здатність	16-бітний ADC для кожної осі
Частота вибірки	до 8 кГц
Напруга живлення	2.3V – 3.4V, має вбудований регулятор напруги для живлення від 3.3V до 5V
Фільтрація	програмна фільтрація даних для зменшення шуму



Рисунок 2.4 – Гіроскоп акселерометр Gy-521 MPU-6050

Датчик атмосферного тиску та температури BMP280

Датчик BMP280 від Bosch Sensortec - високоточний сенсор атмосферного тиску та температури, широко використовується в різних додатках, таких як

Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів метеорологічні станції, мобільні пристрої та системи автоматизації. Високоточний, компактний за розмірами, з низьким енергоспоживанням та легкий у підключенні до мікроконтролерів через обидва інтерфейсів управління - I2C або SPI.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики гіроскопу акселерометру Gy-521 MPU-6050

Датчик атмосферного тиску та температури BMP280	
Характеристики	
Діапазон тиску	300-100hPa
Діапазон температур, °C	від -40 до +85
Робоча напруга, V	3.6
Інтерфейс управління	I2c та SPI
Розміри, мм	2.0*2.5*0.95

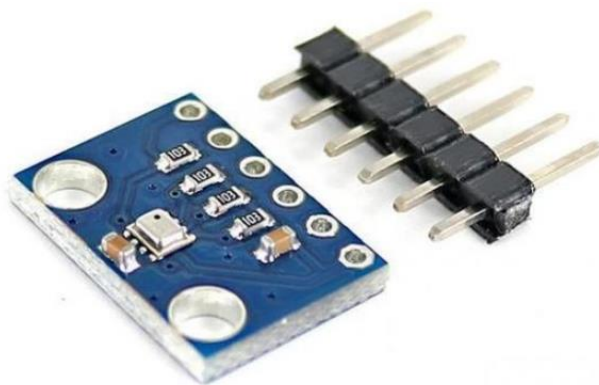


Рисунок 2.5 – Датчик атмосферного тиску та температури BMP280

Мотор GEPRC GEP-GR1105 5000kv

Завдяки безколекторній конструкції, мотори GEPRC GEP-GR1105, забезпечують високу ефективність і менше нагріваються під час роботи, невелика вага робить їх ідеальними для використання в легких і швидких дронах, що робить їх популярним рішенням при створенні моделей БПЛА.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики мотору GEPRC GEP-GR1105 5000kv

Мотор GEPRC GEP-GR1105 5000kv	
Характеристики	
kv-рейтинг	5000kv
Вага, г	5.9
Розмір статора	11 мм діаметр x 5 мм висота
Розмір ротора, мм	14
Діаметр валу, мм	1.5
Рекомендована напруга	7.4V – 11.1V
Максимальний струм	7 – 10A на 3S



Рисунок 2.6 – Мотор GEPRC GEP-GR1105 5000kv

Електронний регулятор швидкості HobbyKing 6A ESC 0.5A UBEC

HobbyKing 6A ESC 0.5A - електронний регулятор швидкості для безколекторних моторів, забезпечує плавний запуск і захист від перевантажень. UBEC (Universal Battery Elimination Circuit) вбудована, забезпечує стабільну напругу живлення для інших електронних компонентів моделі.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики електронного регулятора швидкості HobbyKing 6A ESC 0.5A UBEC

Електронний регулятор швидкості HobbyKing 6A ESC 0.5A UBEC
Характеристики

Постійний струм, А	6
Максимальний короткочасний струм, А	8
Напруга живлення, V	7.4 – 11.1
Робоча частота, кГц	8
Вихідний струм, А	0.5
Вихідна напруга, V	5
Вага, г	8



Рисунок 2.7 – Електронний регулятор швидкості HobbyKing 6A ESC 0.5A UBEC

Акумулятор Turnigy 1300mAh 2S 20C

Літій-полімерний (LiPo) акумулятор Turnigy забезпечує тривалий час роботи для різних моделей да достатню потужність у розмірі 20C, для більшості застосувань, при компактних розмірах та невеликій вазі. Використовується в різних радіокерованих моделях, дронах, літаках, автомобілях та інші пристроях.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики акумулятору Turnigy

Акумулятор Turnigy 1300mAh 2S 20C	
Характеристики	
Ємність, мА*год	1300

Номінальна напруга, V	7.4
Розрядний безперервний струм, C	20
Розрядний короткочасний струм, C	30
Кількість осередків	2S (послідовно з'єднаних)
Розміри, мм	72*35*14
Вага, г	80



Рисунок 2.8 – Акумулятор Turnigy 1300mAh 2S 20C

Пульт радіоуправління 6ch FlySky FS-I6 та приймач FS-IA6B

Пульт радіоуправління FlySky FS-I6 і приймач FS-IA6B є розповсюдженою комбінацією при моделюванні радіокерованих БПЛА завдяки своїй надійності, функціональності та доступній ціні. Основні технічні характеристики наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики пульта радіоуправління 6ch FlySky FS-I6 та приймачу FS-IA6B

Пульт радіоуправління 6ch FlySky FS-I6 та приймач FS-IA6B	
Характеристики пульта	
Кількість каналів, шт	6

Частота передачі, ГГц	2.4
Дальність дії, м	500-1000
Живлення	4 батарейки AA (1.5V кожна)
Дисплей	LCD екран
Підключення до ПК для тренування	передбачено
Характеристики приймачу	
Кількість каналів, шт	6
Частота передачі, ГГц	2.4
Робоча напруга, V	4.0 – 6.5
Підтримка виводів	IBUS та PPM
Розміри, мм	47*26*15
Вага, г	14.9



Рисунок 2.9 – Пульти радіоуправління 6ch FlySky FS-I6 та приймач FS-IA6B

Камера RunCam Split 3 Nano HD 1080P

Камера RunCam Split 3 об'єднує високу якість відео та фото, і підходить для малих і середніх дронів завдяки своїй легкій вазі та компактним розмірам.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики камери RunCam Split 3 Nano HD

1080P

Камера RunCam Split 3 Nano HD 1080P	
Характеристики	
Якість запису відео	Full HD 1080p 60fps
Затримка, мс	40
Роздільна здатність зображення	2MP
Розмір лінзи	M8
Формат запису відео	MOV
Роздільна здатність фото, мегапикселі	2
Розмір плати, мм	29*29
Вага, г	10,5



Рисунок 2.10 – Камера RunCam Split 3 Nano HD 1080P

Карбонова рама MarkIV 225мм

Карбонова рама MarkIV 225мм є високоякісним компонентом, виготовленим з міцного і легкого вуглецевого волокна, що забезпечує високу жорсткість і стійкість до механічних пошкоджень.

Розмір рами дозволяє встановлювати пропелери діаметром до 5 дюймів, а конструкція надає оптимальне балансування між маневреністю і стабільністю польоту. Особливістю рами є її модульна конструкція, що дозволяє швидко замінювати пошкоджені частини без необхідності повного демонтажу дрона. Детальніше про характеристики рами MarkIV у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристик рами MarkIV 225мм

Рама MarkIV 225мм	
Характеристики	
Розміри рами по осям моторів, мм	225
Розміри, мм	145*172
Товщина променів, мм	5
Вага, г	102



Рисунок 2.11 – Карбонова рама MarkIV 225мм

2.5 Алгоритм роботи дрону мультикоптеру

Перед написанням коду для квадрокоптеру, важливо поступово

проаналізувати етапи його роботи, від ініціалізації до маневрування та стабілізації.

Алгоритм роботи БПЛА починається з етапу ініціалізації, де всі системи і датчики проходять перевірку і налаштування. Контролер польоту перевіряє, чи всі компоненти функціонують правильно і чи готові вони до роботи. Особлива увага приділяється рівню заряду акумулятора, оскільки недостатній заряд може призвести до аварійного приземлення, втрати апарата або деградації батареї. Після завершення ініціалізації квадрокоптер переходить у режим очікування команд від оператора.

Коли надходить команда на зліт, контролер польоту активує мотори і квадрокоптер піднімається у повітря. На основі даних з акселерометрів, гіроскопів та інших датчиків, контролер постійно регулює швидкість кожного мотору, щоб підтримувати стабільний політ. Дані з GPS, барометра та інших навігаційних систем використовуються для визначення поточного положення квадрокоптера та корекції траєкторії польоту. Контролер польоту постійно обробляє інформацію про нахил, обертання та висоту, для зберігання стабільного положення або виконання заданих маневрів.

Під час польоту, коли квадрокоптер отримує нові команди, такі як зміна висоти, напрямку або швидкості, контролер польоту розраховує нові параметри для моторів, щоб виконати ці команди. При цьому використовується PID-контроль, який допомагає швидко і точно коригувати рухи квадрокоптера, забезпечуючи плавний і стабільний політ. Пропорційний, інтегральний і диференційний компоненти PID-контролера працюють разом, щоб мінімізувати відхилення від бажаного положення і зберігати стабільність.

Якщо рівень заряду акумулятора наближається до критичного рівня або надходить команда на посадку, квадрокоптер плавно знижується і приземляється на задану точку. Після приземлення мотори вимикаються, і квадрокоптер переходить у режим очікування або вимикається повністю. Весь процес

контролюється автоматично, але може бути скоригований оператором. Повну блок схему алгоритму роботи квадрокоптера зображено на рисунку 2.11.

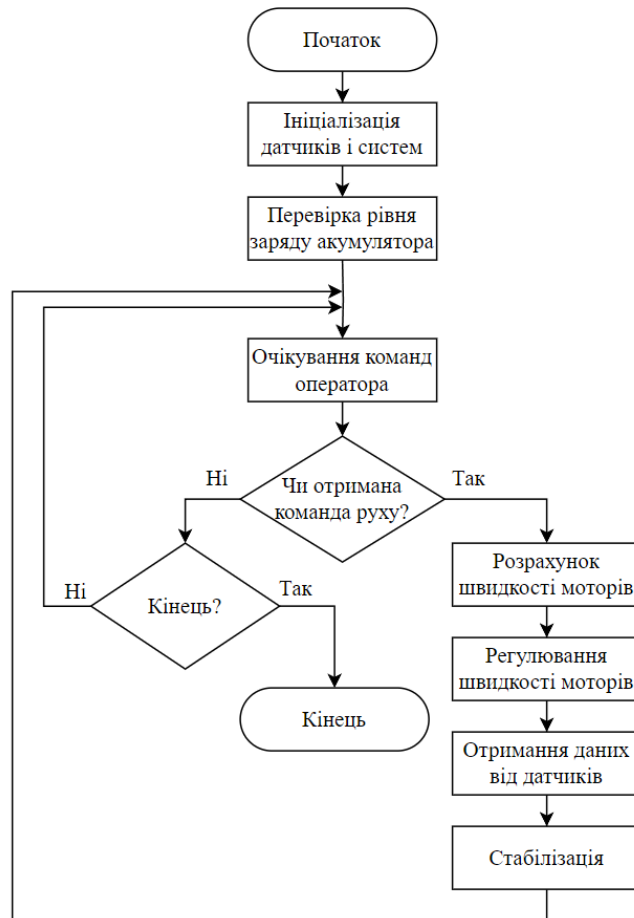


Рисунок 2.12 – Блок схема алгоритму роботи квадрокоптеру

2.6 Електрична принципова

Створення електричної принципової схеми є ключовим етапом розробки, що забезпечує правильне функціонування усіх електронних компонентів і їх взаємодію. Процес підключення типових елементів дрона за електричною принциповою схемою включає кілька основних кроків, що забезпечують правильну роботу всіх компонентів. Акумулятор є основним джерелом живлення, його підключення здійснюється через силовий роз'єм до розподільної плати (Power Distribution Board, PDB) після чого безпосередньо до електронних регуляторів швидкості (ESC).

Розподільна плата живлення використовується для розподілу електроенергії від акумулятора до всіх електронних компонентів дрона. Вона зазвичай має входи для підключення акумулятора та виходи для підключення ESC. PDB також має виходи для підключення інших компонентів, таких як контролер польоту і додаткове обладнання (камери, освітлення тощо).

Кожен ESC підключається до PDB для отримання живлення і до моторів для керування їхньою швидкістю. Крім того, кожен ESC підключається до контролера польоту через сигнальні дроти, які передають команди на регулювання швидкості обертання моторів. Мотори підключаються безпосередньо до ESC. В кожного мотора є три дроти, які підключаються до відповідних трьох виходів ESC. Важливо забезпечити правильну послідовність підключення, щоб мотори оберталися в потрібному напрямку.

Контролер польоту є центральним мозком дрона. Він отримує сигнали від приймача радіоуправління і від сенсорів (гіроскопів, акселерометрів тощо), обробляє їх і надсилає команди на ESC для керування моторами. Контролер польоту підключається до ESC через сигнальні дроти і до регулятора напруги для живлення.

Приймач радіоуправління отримує сигнали від пульта управління і передає їх на контролер польоту. Він підключається до контролера польоту через спеціальні порт PPM. GPS модуль підключається до контролера польоту і забезпечує дані про місцезнаходження дрона, які використовуються для навігації і автоматичного повернення додому. GPS модуль має свої дроти живлення та даних, які підключаються до відповідних портів на контролері польоту, в нашому випадку до портів номер 21 та 20.

Камера підключаються до контролеру через відповідні регулятори напруги для отримання необхідного живлення. Сигнальні дроти від камер також підключено до контролеру для зберігання та подальшої обробки відео запису.

Зібрана зменшена електрична принципова схема автоматизованої системи

аналізу стану рослин на базі квадрокоптеру відображена на рисунку 2.3, повна схема представлена у додатку А.

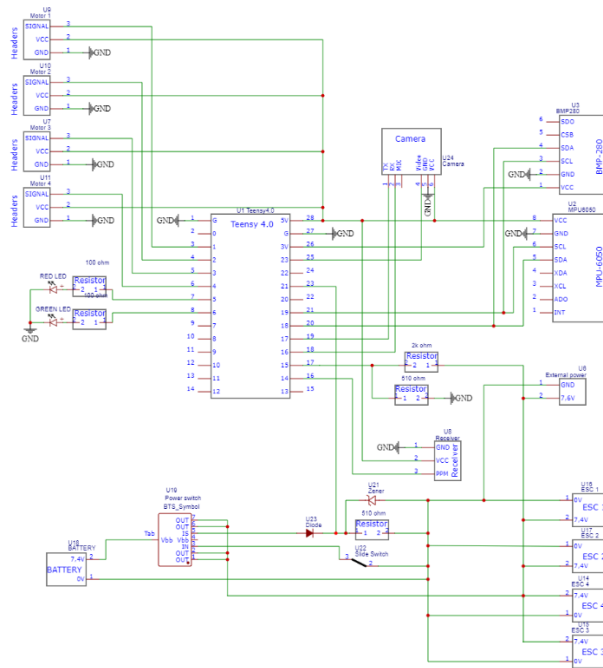


Рисунок 2.13 – Електрична принципова схема квадрокоптеру

2.7 Написання коду для дрону

Роль контролеру польоту у даній роботі, виконує контролер Teensy, що відповідає за керування всіма аспектами польоту. Він використовує датчики для вимірювання орієнтації і рухів дрона, забезпечуючи стабільний політ і автоматичну корекцію позиції. Контролер також управляє моторами і регуляторами обертів, координуючи їх роботу для зміни напрямку, висоти і загального руху дрона, взаємодіє з системами навігації, такими як GPS, для точного визначення місцезнаходження і навігації по маршруту.

Для програмування контролеру було використано програмне забезпечення Arduino що використовуватися для програмування мікроконтролера разом з Teensyduino.

Усі скетчі Arduino складаються з частини setup та loop. Код у частині setup виконується лише один раз під час запуску мікроконтролера, в той час як код у

частині loop виконується безперервно після завершення частини setup.

2.7.1 Читання заряду батареї

Критичною частиною квадрокоптеру є батарея, яка зберігає енергію що використовується для польоту дрону. Проте для відображення актуального стану заряду системи, слід передбачити спеціальний алгоритм, який включає в себе правильне підключення елементів системи, а також невеликий об'єм коду, що дозволяє спостерігати за тим, як напруга батареї падає під час польоту і виміряти її, для оцінки залишку часу роботи батареї.

В даному проекті використана двокоміркова літій-полімерна батарея, в котрій комірки розташовані послідовно (2S). Кожна комірка має номінальну напругу 3,7 V, і оскільки комірки розташовані послідовно, загальна номінальна напруга дорівнює 7,4 V. Номінальна напруга є еталонною напругою, але заряджається батарея завжди до зарядної напруги, яка дорівнює 8,4 V для батареї 2S.

Використовуючи повністю заряджену батарею, напруга буде падати від зарядної напруги 8,4 V до номінальної напруги 7,4 V і навіть нижче, під час збільшення витрат енергії. Це неминуче і призводить до зниження тяги з часом, оскільки швидкість обертання моторів пропорційна поданій напрузі. Вимірюючи дану напругу здійснюється оцінка залишку енергії батареї. Розрядження батареї дрона до надто низької напруги, може призвести до її деградації та зменшення ємності з часом, графік відношення рівня заряду батареї до напруги батареї зображено на рисунку 1.1.

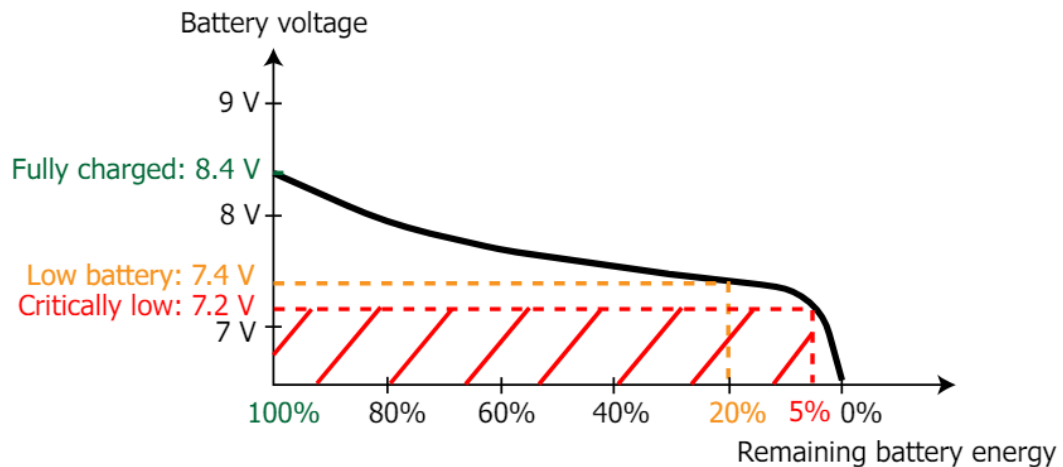


Рисунок 2.14 – Відношення напруги акумулятора до рівня заряду

Тому для подовження терміну служби батареї, важливо не допускати її розрядження нижче номінальної напруги, в нашому випадку - 7,4V. Оскільки напруга батареї коливається під час польоту і може тимчасово знижуватися при раптовому збільшенні обертів, контролер польоту буде перевіряти, чи є напруга батареї вище за 7,4V перед запуском моторів. Визначення напруги можливе завдяки її подачі на будь-який пін мікроконтролера, наприклад 15, та фіксації за допомогою команди `analogRead`.

Проте піни контролеру Teensy можуть переносити напругу лише до 3,3V, що означає подача напруги вище за це значення може пошкодити мікропроцесор. Отже, ми використовуємо дільник напруги, електронний ланцюг який ділить напругу батареї до значення, достатньо низького для використання контролером.

За законом Ома, струм дорівнює напрузі батареї, поділеній на опір. Однак при послідовному підключенні другого резистора, напруга батареї буде дорівнювати струму, поділеному на суму двох опорів, завдяки чому тепер стає можливим підключення до піну контролеру між обома опорами.

Щоб мати можливість вимірювати напругу кілька разів без переписування одних і тих самих рядків коду, було створено функцію `battery_voltage`, котру можна викликати на будь-якому етапі роботи дрона. Оскільки за замовчуванням

роздільна здатність для `analogRead` дорівнює 10 біт, напруга 0V відповідає цифровому значенню 0, а максимальна вхідна напруга 3,3V числу $2^{10}-1=1023$. Крім того, зібраний дільник напруги вносить відношення 1 до 5. Це означає, що напруга батареї дорівнює $1023 / (3,3 \times 5) = 62$. Кінцевий вигляд блоку коду зчитування заряду акумулятора описано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Зчитування заряду акумулятора

Зчитування заряду акумулятора	
Скріншот	Текст
<pre> 1 float Voltage; 2 void battery_voltage(void) { 3 Voltage=(float)analogRead(15)/62; 4 } </pre>	<pre> float Voltage; void battery_voltage(void) { Voltage=(float)analogRead(15)/62; } </pre>

2.8.2 Встановлення бібліотек

Для роботи з дроном, обробки зображень та тренування нейронної мережі було використано серію бібліотек доступних для мови C++ – OpenCV, dlib та tensorflow.

OpenCV, або Open Source Computer Vision Library, є бібліотекою програмного забезпечення для комп'ютерного зору та обробки зображень. Вона надає широкий спектр інструментів для роботи з зображеннями, включаючи завантаження, обробку та відображення зображень. У нашому випадку OpenCV використовується для завантаження зображення рослин з RGB камери, його попередньої обробки та відображення результатів на екрані. Функції OpenCV також дозволяють нам легко конвертувати зображення в потрібний формат для подальшого аналізу за допомогою нейронної мережі.

Dlib – це сучасна бібліотека інструментів для машинного навчання та розпізнавання об'єктів. Вона забезпечує широкий набір алгоритмів для навчання

моделей і обробки даних. У нашому проекті dlib використовується для роботи з нейронними мережами, зокрема для завантаження попередньо натренованої моделі та здійснення передбачень на основі відео з камери. Dlib також надає зручні функції для обробки зображень у форматі, з яким працює нейронна мережа, що дозволяє легко передавати зображення з OpenCV до моделі для аналізу.

TensorFlow - це відкрита програмна бібліотека для машинного навчання і глибинного навчання, розроблена компанією Google. Вона стала однією з провідних інструментальних платформ у цих областях завдяки своїй потужності, гнучкості і широкому спектру функцій, дозволяє створювати, тренувати і розгортати різноманітні моделі машинного навчання, включаючи нейронні мережі, глибокі згорткові мережі (CNN), рекурентні нейронні мережі (RNN) та багато інших.

Код програми що відповідає за ініціалізацію вище описаних бібліотек представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Інсталяція серії необхідних бібліотек

Інсталяція бібліотек для роботи зі штучним інтелектом	
Скріншот	Текст
<pre>#include <opencv2/opencv.hpp> #include <dlib/dnn.h> #include <dlib/data_io.h> #include <tensorflow/core/public/session.h> #include <tensorflow/core/platform/env.h> #include <tensorflow/core/framework/tensor.h></pre>	<pre>#include <opencv2/opencv.hpp> #include <dlib/dnn.h> #include <dlib/data_io.h> #include <tensorflow/core/public/session.h> #include <tensorflow/core/platform/env.h> #include <tensorflow/core/framework/tensor.h></pre>

2.8.1 Тренування нейронної мережі

В межах даного проекту, за умови роботи з контролером Teensy 4.0 який підтримує мову C++, було вирішено навчати модель на основі бібліотеки

TensorFlow, основою тренування нейронної мережі у котрому є концепція тензорів – багатовимірних матриць, які використовуються для подання даних у моделях машинного навчання. Ці тензори є константними значеннями, змінними, результатами обчислень та входять у склад вихідних даних моделей. Бібліотека автоматично виконує оптимізації обчислень для великих обсягів даних та розподілених обчислень на різних пристроях, таких як CPU і GPU.

Однією з ключових особливостей TensorFlow є його графова структура обчислень. Весь процес обробки даних інкапсульований у граф, де кожен вузол представляє математичну операцію, а ребра - тензори, що передають дані між цими операціями. Це дозволяє ефективно виконувати обчислення і оптимізувати їх з точки зору швидкодії та використання ресурсів.

Також, бібліотека підтримує різні рівні абстракції для розробки моделей: від низькорівневих API для більш точного керування, таких як TensorFlow Core, до високорівневих інтерфейсів, які полегшують розробку, наприклад, Keras, що є вбудованим.

Завдяки своїй активній спільноті, постійному оновленню і підтримці від Google, TensorFlow залишається однією з найпопулярніших інструментальних платформ для машинного навчання і глибокого навчання, використовуваною в академічних дослідженнях, промислових застосуваннях і проектах відкритого програмного забезпечення.

Процес тренування моделі для розпізнавання рослин та їх стану у TensorFlow починається зі збору відповідного набору даних, який містить зображення рослин різних станів, бінарно поділених на – здорові та нездорові, приклад зображень надано на рисунку 2.15. Після цього дані підготовляються для подальшої обробки, включаючи зміну розміру, нормалізацію та обрізку зображень.



Здорова рослинність

Не здорова рослинність

Рисунок 2.15 – Приклад зображень з розміткою на здорові та нездорові для тренування штучного інтелекту

Далі розробляється архітектура моделі, зазвичай з використанням згорткових нейронних мереж (CNN), що добре підходять для аналізу зображень. Важливим етапом є вибір функції втрат для оцінки різниці між прогнозованими та справжніми значеннями класів, у нашому випадку – здоровість та не здоровість.

Далі визначається та налаштовується оптимізатор для тренування моделі, такий як стохастичний градієнтний спуск (SGD) або більш ефективні алгоритми, такі як Adam або RMSprop. Після цього починається сам процес тренування, під час якого ваги моделі ітеративно оновлюються з метою мінімізації функції втрат.

Після завершення тренування модель оцінюється та валідується на відокремленому тестовому наборі даних для перевірки загальної точності і ефективності. Цей етап також включає настройку гіперпараметрів моделі для максимального покращення результатів.

Остаточо, після успішного тренування і валідації модель готова для розгортання і використання у реальних умовах.

Результат роботи тестового запуску натренованої моделі, зображено на рисунку 2.16.



Рисунок 2.16 – Результат роботи програми на прикладі тестового фото

У результаті роботи програми, в умовах тестового запуску на персональному комп'ютері у програмному забезпеченні, що симулює роботу контролеру Teensy 4.0, для аналізу прикладу фото зйомки з дрону, було виділено дві зони в межах поля, що мають помітно рідшу густоту рослинності. В умовах підприємства, отримавши дану інформацію, можна зібрати зразки землі та листків уражених рослин для подальшого аналізу у лабораторії, та визначенню причини незадовільного стану здоров'я рослин.

Висновки до другого розділу

1. Класифікація дронів за типом аеродинамічної конфігурації, дозволила краще зрозуміти основні переваги та недоліки кожного типу конфігурації, та визначити котра структура найбільше підходить для виконання завдання проекту. В результаті даного дослідження та патентного пошуку, було прийнято рішення базувати автоматизовану систему моніторингу за станом рослин на аеродинамічній конфігурації мультикоптеру з чотирьома двигунами, тобто квадрокоптеру.

2. Було досліджено сучасні технології та обладнання, які

використовуються для створення та управління безпілотними літальними апаратами, та безпосередньо, квадрокоптерами. Обґрунтовано вибір сенсорів, навігаційних систем, камер, радіо-систем та інших компонентів, необхідних для забезпечення ефективної роботи аграрного БЛА в різних умовах експлуатації.

3. Описано покроковий детальний алгоритм роботи мультикоптера, який включає ініціалізацію систем, керування потужністю моторів під час польоту, стабілізацію положення в просторі, визначення та корекцію положення за допомогою сенсорів та GPS, а також інтеграцію з системами автоматизації для автономного польоту.

4. Розроблено програмний код для керування дроном квадрокоптером на мові C++, реалізований у програмному забезпеченні Arduino IDE, та детально розглянуто алгоритм і особливості роботи реалізації зчитування заряду акумулятора у безпілотних літальних апаратах.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделєв

“ ___ ” _____ 2024 р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: **«Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів»**

Спеціальна частина з охорони праці

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

151 – КБР – 471.22017111

Студент _____ Солоха І.А.

Консультант _____ Макарова О.В.
(дата)

Миколаїв – 2024

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В наші дні питання використання безпілотних літальних апаратів, в більшості своїй дронів, все частіше постають на порядку денному. Дрон - безпілотний літальний апарат (БПЛА) військового чи цивільного призначення, різновид військового робота; в ширшому сенсі — мобільний, автономний апарат, запрограмований на виконання якихось завдань (наприклад, автономні системи, створені для польоту, розроблені для виконання місій, потенційно небезпечних для людини).

Існують десятки різних типів безпілотних літальних апаратів; вони в основному діляться на дві категорії: ті, які використовуються для розвідки й спостереження, та ті, що мають на озброєнні ракети й бомби. Використання дронів швидко зростає в останні роки, тому що, на відміну від пілотованих літаків, вони можуть перебувати в повітрі протягом багатьох годин.

Попит на безпілотну техніку зумовлений її практичністю не тільки у військовій сфері, а й корисністю в інших сферах людського існування. Зокрема, у країнах з великими агрохолдингами (Україна, Польща, Китай тощо) активно запроваджується використання дронів для дослідження та аналізу стану землі, оцінки врожаїв та збитків, і оптимізації роботи сільськогосподарської техніки.

У сільських районах безпілотні літальні апарати призначені для заміни наземних, особових оглядів з метою подолання інфраструктурних проблем; оскільки безпілотники споживають значно менше ніж будь яка наземна техніка і, отже, менше впливають на навколишнє середовище, їх оцінка повного життєвого циклу все ж повинна бути піддана комплексному аналізу, щоб зрозуміти їх вплив на навколишнє середовище.

3.1 Джерела впливу системи на довкілля

Розглянемо питання екологічної безпеки, використання розробленої системи що базується на безпілотному літальному апараті. Для більш комплексної оцінки в роботі було враховано відразу декілька факторів ризику при виробництві БПЛА.

При цьому було використано так званий метод оцінки впливу циклу або МОВЦ.

Метод оцінки впливу циклу (МОВЦ) використовується для перетворення даних життєвого циклу в дані про вплив на навколишнє середовище. Спостережувані результати в попередніх дослідженнях, показують, що системи базовані на БПЛА, є одними з найбільш екологічно чистих варіантів транспортування, моніторинг, та картографування у широкому спектру напрямів.

Виробництво деталей сприяє значному впливу на навколишнє середовище, в той час як сама експлуатація безпілотних літальних апаратів показує найменший ефект.

В даній роботі, розглянуто чинники, що можуть впливати на екосистему та на людину, як її частину. Було розглянуто основні фактори, що сприяють глобальному потеплінню, абіотичні виснаження (абіотичні елементи і копалини), підкислення повітря, категорії впливу на евтрофікацію, виснаження озонового шару і фотохімічні утворення, спричинені в основному видобутком вугілля і виробленням електроенергії.

Однак вуглецеве волокно і акумуляторна батарея є основними джерелами інших категорій впливу, до яких відносяться токсичність: водну еко токсичність, морську еко токсичність і еко токсичність земних екосистем.



Рисунок 3.1 – Процес формування викидів під час виробництва БПЛА

3.2 Джерела впливу на людину і на екосистему

Оцінка впливу на довкілля (ОВД), або оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС) призначена для виявлення характеру, інтенсивності і ступеня небезпеки впливу будь-якого виду планованої господарської діяльності на стан довкілля і здоров'я населення.

Вплив на довкілля — будь-які наслідки планованої діяльності для довкілля,

в тому числі наслідки для безпечності життєдіяльності людей та їхнього здоров'я, флори, фауни, біорізноманіття, ґрунту, повітря, води, клімату, ландшафту, природних територій та об'єктів, історичних пам'яток та інших матеріальних об'єктів чи для сукупності цих факторів, а також наслідки для об'єктів культурної спадщини чи соціально-економічних умов, які є результатом зміни цих факторів.

Проведення ОВД майбутньої господарської, і іншої діяльності на довкілля сприяє ухваленню екологічно грамотного управлінського рішення про реалізацію наміченої господарської і іншої діяльності за допомогою визначення можливих несприятливих дій оцінки екологічних наслідків, обліку громадської думки, розробки заходів зі зменшення і запобігання дій.

Методологія ОВД дістала своє визнання майже в усіх розвинених країнах. У червні в 1988 р. була введена в дію Директива ЄС № 337/85 «Оцінка впливу деяких державних і приватних проєктів господарської діяльності на навколишнє середовище». Відповідно до неї, для країн — членів ЄС обов'язковим є проведення ОВД до видачі дозволу на здійснення всіх великих проєктів, що можуть спричинити негативний вплив на навколишнє середовище.

Раніше в Україні таку роль відігравала «Оцінка впливу на навколишнє середовище» (ОВНС), відповідно до законів «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про екологічну експертизу» та Державних будівельних норм України ДБН А.2.2-1-95 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) при проєктуванні і будівництві підприємств, будівель і споруд».

З 18 грудня 2017 року набув чинності Закон України «Про оцінку впливу на довкілля», який фактично скасовує дію закону України «Про екологічну експертизу» та вводить новий, більш сучасний та європейський порядок проведення оцінки впливу на довкілля. Без наявності висновку про оцінку впливу на довкілля суб'єкт господарювання не має права здійснювати заплановану діяльність. Тож беручи до уваги всі вищезгадані моменти, було проаналізовано можливі впливи на екологію системи моніторингу стану рослин на базі

квадрокоптеру.

Дане дослідження спрямоване на визначення "гарячих точок" по всій території повного життєвого циклу системи безпілотників. Основна увага в цьому дослідженні приділяється всім 11 категоріям впливу на навколишнє середовище, які включають потенціал глобального потепління, абіотичне виснаження, абіотичне виснаження копалин, потенціал підкислення, потенціал евтрофікації, потенціал прісноводної екотоксичності, потенціал токсичності для людини, морський потенціал водної екотоксичності, потенціал виснаження озонового шару, потенціал створення фотохімічного озону, і потенціал екотоксичності земних екосистем.

3.2.1 Потенціал глобального потепління

Вплив на навколишнє середовище з точки зору глобального потепління. Потенціал становить 0,079 кг CO₂ в системі моніторингу безпілотника. Вплив було викликано в першу чергу виробництвом деталей, які становлять 99,2% впливу. CO₂, CH₄ та N₂O – це основні речовини, які сприяють глобальному потеплінню, які склали 80,88%, 2,75% і 0,89%, відповідно.

3.2.2 Абіотичне виснаження (елементи безпілотника)

Загальний вплив абіотичного виснаження становить $1,67 \times 10^{-8}$ кг SO₂ зокрема, для системи моніторингу на базі безпілотних літальних апаратів. Виробництво комплектуючих і деталей склали наступні транспортні витрати: 93,50% і 6,44%, відповідно. Основні речовини, які вносять вклад в забруднення повітря, що не викликає ракові захворювання, включає мідь (Cu), срібло (Ag), літій (Li), а також свинець (Pb), на який доводилося 20,47%, 17,67%, 15,72% і 15,37%, відповідно, від впливу в цій категорії.

3.2.3 Абіотичне виснаження (корисні копалини для елементів

безпілота)

Загальна кількість в цій категорії впливу на навколишнє середовище складає 5.16×10^{-5} МДж. Вплив на абіотичне виснаження, складає близько 98,12% від загального обсягу впливу, віднесених до цієї чи іншої категорії. Від експлуатації запчастин і їх транспортування - 1,83%. Основні речовини, які сприяють абіотичному виснаженню є: лігніт, кам'яне вугілля і природний газ, які складають 43,62%, 33,39% і 18,40%, відповідно.

З метою зменшення викидів можуть бути використанні більш екологічні електростанції та поновлювані джерела енергії задля зниження цієї категорії впливу.

3.2.4 Потенціал підкислення повітря

Екологічні наслідки підкислення повітря для такого роду систем складає 5.16×10^{-5} кг SO₂. У цій категорії чинників 98,20% загального внеску в цей показник було отримано від виробництва комплектуючих і 1,78% склало транспортування деталей та 0,02% від роботи безпілота.

Домінуючими факторами підкислення повітря є SO₂, NO_x і H₂S, на які припадає 51,32%, 34,91% і 7,86% внеску в цю категорію впливу, відповідно.

3.2.5 Потенціал евтрофікації

Евтрофікація включає в себе вплив на різні середовища (грунт, повітря або вода) в якості однієї з категорій поживних речовин. Загальний результат цього впливу 8.65×10^{-6} кг Фосфатів. Це вказує на те, що потенціал для евтрофікації був отриманий в основному за рахунок виробництва і транспортування, на частку яких припало 93,20% і 6,97% ефекту, відповідно. Основні вкладники в категорію евтрофікації та вплив на забруднення повітря, розраховане на 1-км є NO_x, NO₃, азотний органічний зв'язок, і N₂O, на яку припадає 57,18%, 8,99%, 6,40% і 4,82% внеску в цій категорії впливу, відповідно.

3.2.6 Потенціал прісноводної еко токсичності

Загальний вплив в прісноводну еко токсичність становить 1287,28 кг дихлорбензолу ($C_6H_4Cl_2$). Основні процеси, які сприяють впливу еко токсичності водних ресурсів було виробництво комплектуючих, на яке припадає майже 100%. Є багато речовин, які викликають водну еко токсичність. Деякі приклади включають хімічну природу Cu, Co, Ni і Cd. На їх частку припадає 43,15%, 23,3%, 19,6% і 8,01%, відповідно.

3.2.7 Потенціал токсичності для людини

Система моніторингу стану рослин на базі безпілотних літальних апаратів також впливає на людину. Потенціал токсичності становить $5,28 \times 10^{-5}$ кг дихлорбензолу ($C_6H_4Cl_2$). Виробництво деталей вносить майже 100% вкладу в категорію токсичності для людини. NO_x , NO, і NO_2 є основою внеску в категорію евтрофікації, які відповідно дорівнюють 48,62%, 42,65% і 2,22% від суми внеску в цьому розмірі на всю категорію впливу відповідно. Виробництво деталей БпЛА є джерелом викидів важких металів. Викиди Cd, Ni і Cu є в основному викидами з вуглецевих волокон і літій-іонних виробництв.

3.2.8 Потенціал морської водної еко токсичності

У категорії потенційного впливу морської водної еко токсичності, загальний вплив становить $6,9 \times 10^6$ кг дихлорбензолу ($C_6H_4Cl_2$). Виробництво комплектуючих вносять свій вклад, що складає майже 100%. Важкі метали, які включають в себе Cu, Co, Ni - основні речовини, які сприяють морській водній еко токсичності, та складають 32,43%, 31,09% і 25,94% відсотків відповідно.

3.2.9 Потенціал виснаження озонового шару

Загальний потенціал виснаження озонового шару в безпілотних системах моніторингу, становить 2.14×10^{-12} кг R11-eq – це число було отримане в результаті виробництва і транспортування деталей, які склали 98,17% і 1,83%

відповідно основні речовини, які викликали виснаження озонового шару, включаючи діхлортетрафторетан і хлордифторметан, які склали 97,03% і 2,97% відповідно, впливу в цій категорії.

3.2.10 Потенціал виникнення фотохімічного озону

Система показує наступні результати стосовно цієї категорії забруднення 3,82 x 10⁻⁶ кг Етилену. На виробництво і транспортування на поставку безпілота доводиться 98,22% і 1,78%. відповідно фотохімічному потенціалу виникнення озону в цій категорії впливу. Враховуються NMVOC, 90 SO₂ та NO_x. 29,78%, 27,61% і 26,32% внеску, відповідно в цій категорії впливу.

3.2.11 Потенціал еко токсичності земних екосистем

Загальна кількість в категорії впливу на навколишнє середовище еко токсичності земних екосистем складає 3,85 x 10⁻³ кг дихлорбензолу (C₆H₄Cl₂) в системі безпілотного моніторингу. Цей вплив було причинено, головним чином, викидами отриманими в результаті операцій над деталями, на які припадало майже 100%. Домінуючий внесок в еко токсичність земних екосистем становлять As, Cr і Pb, які складають відповідно 52,8%, 40,8% і 2,1% від суми вкладу в цю категорію впливу.

3.3 Безпека життєдіяльності

Відповідно до статей 33, 34 Закону України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».

1. Загальні положення.

2. Підготовка і перепідготовка керівного складу підприємств, установ і організацій у сфері цивільного захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, запобігання та оперативного реагування на них (далі – сфера цивільного захисту) проводиться в Інституті державного управління у сфері цивільного захисту (далі – Інститут), на курсах цивільної оборони, а також під час проведення

навчально-методичних зборів та періодичних навчань, тренувань за планами реагування на надзвичайні ситуації та планами локалізації і ліквідації аварій (катастроф).

3. Підготовка населення, яке зайняте у сферах виробництва та обслуговування. Вивчення працівниками основних способів захисту і дій у надзвичайних ситуаціях техногенного і природного характеру здійснюється на підприємствах, в установах і організаціях за спеціальними програмами підготовки населення, які затверджуються Міністерством України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, а також при прийнятті на роботу і при подальшій роботі у формі інструктажів з питань охорони праці згідно з Типовим положенням про навчання з питань охорони праці, затвердженим наказом Комітету по нагляду за охороною праці України та зареєстрованим у Міністерстві юстиції України.

4. Підготовка студентів, курсантів, учнів та вихованців закладів освіти. При розробці державних стандартів освіти з кожного освітнього та освітньо-кваліфікаційного рівня обов'язково передбачається мінімум змісту питань з підготовки населення до дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

5. Практична підготовка та відпрацювання дій за планами реагування на надзвичайні ситуації, планами локалізації і ліквідації аварій (катастроф) під час підготовки та проведення спеціальних комплексних об'єктових навчань, тренувань.

6. Просвітницько-інформаційна робота та пропаганда знань серед населення з питань захисту та дій у надзвичайних ситуаціях. Просвітницько-інформаційна робота з населенням щодо питань захисту і дій у надзвичайних ситуаціях здійснюється за місцем проживання у мережі навчально-консультаційних пунктів місцевих органів самоврядування, а також шляхом самостійного вивчення посібників, пам'яток, іншого друкованого навчально-інформаційного матеріалу, перегляду та прослуховування спеціального циклу теле і радіо передач.

7. Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, міністерства та інші

центральні органи виконавчої влади, Рада міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування відповідно до своїх повноважень здійснюють підготовку населення до дій у надзвичайних ситуаціях.

8. Забезпечення заходів щодо підготовки населення до дій у надзвичайних ситуаціях.

3.4 Розрахунок можливих ризиків при роботі

Під час виконання дипломної роботи на тему “Вдосконалення безпілотних літальних апаратів для сільськогосподарського моніторингу та оптимізації ресурсів” уся розробка повинна виконуватись із врахуванням вимог техніки безпеки на робочому місці, пожежної безпеки, відповідно з діючими нормативно-правовими актами та встановленими нормами.

Для забезпечення безпечної роботи з ПК та скорочення негативного впливу на здоров'я користувача, потрібно дотримуватись норм, визначених у наступних документах:

- Закон України “Про охорону праці”;
- НПАОП 0.00-7.15-18 “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями”;
- ДСанПН 3.3.2.007-98 “Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин”;
- НПАОП 40.1-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”;
- НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

Перед початком розробки системи моніторингу було проведено інструктажі з охорони праці, техніки безпеки та протипожежної безпеки.

У приміщенні де проводиться розробка, площа на одне робоче місце повинна становити не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а об'єм не менше ніж $20,0 \text{ м}^3$. Дотримано вимог стосовно освітлення, оптимальних умов мікроклімату, ергономічних

характеристик основних елементів робочого місця, рівнів шуму, електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання та електростатичного поля викладених у ДСанПіН 3.3.2- 007-98.

Приміщення, у якому передбачається експлуатація ПК, не повинно межувати з будівлями, у яких рівні шуму і вібрації перевищує допустимі значення за нормативними документами ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6. 039- 99. Крім цього, необхідно передбачити звукоізоляцію огорожувальних конструкцій приміщень з ПК від шуму, що задовольняє вимогам ДСТУ 2325- 93, ДСТУ 3130-95.

Оскільки, основне навантаження під час розробки системи моніторингу на базі БпЛА припадало на зорову систему, тому штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями, обладнаними ПК, здійснювалось системою загального рівномірного освітлення, а значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становила 300-500 лк. За умов коли ці значення освітленості неможливо було забезпечити системою загального освітлення, використовувалось місцеве освітлення. Також, потрібно робити короткі перерви кожні 20 хвилин, що дозволить зменшити напруженість зорового нерву і відповідно знизити імовірність його травмування. Рекомендується, час від часу, робити спеціальний комплекс вправ для зниження втомлюваності очей та зменшення нервового напруження.

Для профілактики загальної втоми і особливо зорового аналізатора важливе значення має організація режиму праці та відпочинку. Загальна тривалість робочого дня не повинна перевищувати 8 годин. Частота і тривалість перерв залежать від типу та інтенсивності виконуваних робіт. Під час робіт, які виконуються з великим навантаженням, рекомендуються перерви на 10-15 хвилин через кожну годину, а при неінтенсивній і монотонній роботі - на 10-15 хвилин через кожні дві години. Кількість мікро пауз (тривалістю до хвилини) потрібно регулювати індивідуально. Зміст регламентованих перерв може бути різний: виробнича гімнастика (вправи для очей, гімнастика, спрямована на корекцію вимушеної робочої пози, поліпшення венозного кровообігу, часткову дисфункцію

рухової активності), альтернативна допоміжна робота, приймання їжі тощо [15].

Згідно з правилами протипожежної безпеки приміщення в яких відбувалося дослідження, було обладнано системою автоматичної протипожежної сигналізації та необхідною кількістю вогнегасників. При перевірці та оцінці технологічної оснащеності робочого місця було з'ясовано, що ПЕОМ, типу ПК, згідно нормативно-технічної документації, відповідає вимогам НПАОП 40.1-1.21-98.

Відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 це приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки, так як в приміщенні відсутні сильна вологість (відносна вологість не перевищує 75 %), струмопровідний пил, можливість одночасного дотику людини до корпусів ПЕМВ, типу ПК, і до заземлених металевих конструкцій будівлі.

Живлення робочого місця здійснюється від трифазної чотирьох провідної мережі змінного струму з глухо заземленою нейтраллю, частота змінного струму 50 Гц, напруга 220 В, система заземлення TN-C-S типу – система в якій нульовий захисний і нульовий робочий провідники поєднані в одному провіднику на всьому її протязі.

З метою уникнення ризику ураження людини електричним струмом передбачається використання таких технічних засобів захисту: необхідно проводити контроль ізоляції відповідно до вимог ПУЕ-2011. Контроль проводити між нульовим і фазним провідниками і між фазами. Опір ізоляції не менше 500 кОм на фазу. Контроль проводити не рідше 1 разу на рік при відключеному електроживленні.

Роботи в приміщенні, згідно з ДСН 3.3.6.042-99, відносяться до категорії робіт по енерговитратам організму «легка 1а» (роботи, вироблені сидячи, які не потребують систематичного фізичного напруження і переміщення важких предметів з енерговитратами організму до 120 ккал/год).

Виходячи з того, що передбачено ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» встановлені оптимальні норми температури, вологості і швидкості руху повітря для даної категорії і показані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Оптимальні і допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря

Період року	Температура, С		Відносна вологість, %		Швидкість переміщення повітря, м/с	
	Холодний	22-24	19-25	40-60	≤75	22-24
Теплий	23-25	22-25	40-60	≤55	23-25	22-28

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря застосовується опалення в холодний період року і кондиціонування повітря в теплий період.

На робочому місці, де відбувається розробка системи моніторингу, присутні як природне освітлення, так і штучне. Розрахуємо рівень освітленості приміщення при штучному освітленні.

При проектуванні штучного освітлення в приміщеннях необхідно керуватися вимогами ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [16]. Нормативне значення штучного освітлення $E = 200-500$ лк, природного - КПО = 1,2 %.

Розрахунок штучного освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку. Мета перевірконого розрахунку - визначення фактичної освітленості в приміщенні.

Основна розрахункова формула методу коефіцієнта використання світлового потоку:

$$\Phi_{\text{св}} = \frac{E_{\text{ф}} \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma}$$

Де $E_{\text{ф}}$ - фактична освітленість, лк;

S - площа освітлюваного приміщення, $S = 24,96$ м²;

z - коефіцієнт нерівномірності освітленості, $z = 1,1$;

k_3 - коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників і знос джерел запасу світла в процесі експлуатації. Для приміщення дисплейного залу, освітлюється люмінесцентними лампами і за умови чищення світильників не рідше

двох разів на рік, $k_3 = 1,4$;

N - число світильників в ряду, $N = 5$;

η - коефіцієнт використання світлового потоку ламп, $\eta = 0,52$;

γ - коефіцієнт затінення, $\gamma = 0,8$;

n – число рядів світильників, $n = 2$.

Світловий потік ламп розраховується за формулою:

$$F_{\text{св}} = n_{\text{л}} \cdot F_{\text{л}}$$

Де $F_{\text{св}}$ – світловий потік ламп;

$n_{\text{л}}$ – кількість ламп в світильнику, $n_{\text{л}} = 2$;

$F_{\text{л}}$ – світловий потік лампи, $F_{\text{л}} = 2000$

$$F_{\text{св}} = 2 \cdot 2000 = 4000.$$

Фактична освітленість розраховується за формулою:

$$E_{\text{ф}} = \frac{F_{\text{св}} \cdot n \cdot \eta}{S \cdot k \cdot z}$$

$$E_{\text{ф}} = \frac{4000 \cdot 2 \cdot 0,52}{24,96 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 108,3.$$

Таким чином робимо висновок, що фактична освітленість робочого приміщення не відповідає вимозі ДБН В.25-28-2006 [16] «Природне і штучне освітлення», і потребує збільшення рівня освітленості, шляхом збільшення кількості, або заміни на більш яскраві лампи.

Висновки до третього розділу

1. За результатами розрахунків, основний внесок у забруднення навколишнього середовища в наслідку використання системи моніторингу на базі безпілотнику, вносить виробництво деталей, особливо - вуглецевої продукції та літій-іонів, які є основою для виготовлення акумулятора, та є основними чинниками, що сприяють токсичності для людини, прісноводній еко токсичності, морській та еко токсичності земних екосистем. Видобуток вугілля і сировини, а також робота електростанції є головними факторами, що впливають на глобальне потепління, абіотичне виснаження, підкислення повітря, евтрофікацію ґрунтів,

виснаження озонового шару та потенціал виникнення фотохімічного озону.

2. Експлуатація системи на базі безпілота, за даними з Park et. al. (2018) [17] вказує, що вплив на глобальне потепління за 1 км руху безпілотником становить 0,004 кг CO₂, потенціал глобального потепління за 1 км, пройдений на мотоциклі та електродвигуні становить 0,028 і 0,018 кг CO₂ відповідно. Таким чином, моніторинг системою безпілотників є екологічно чистою в порівнянні з іншими системами та методами моніторингу.

3. У майбутньому це дослідження може бути розширено і включати в собі іншу сировинну базу для виробництва. Крім того, в наступних роботах планується огляд і порівняння системи БПЛА з, наприклад, автомобілями. Слід оцінити та порівняти їх екологічні показники. Такого роду перевірка покаже яка система є більш екологічною та доцільною з точки зору бізнесу.

4. Також були проведені розрахунки можливих ризиків при роботі, було проаналізовано безпеку життєдіяльності робітників і об'єкта в умовах техногенної катастрофи, а також забезпечення безпеки населення в аналогічних умовах.

5. Як складова частина розрахункової роботи, було проведено розрахунки освітленості в приміщенні, де проводились всі етапи планування та моделювання системи. Як видно з наведених розрахунків, фактична освітленість не відповідає вимозі ДБН В.25-28-2006 [16] «Природне і штучне освітлення». Необхідно обов'язкове збільшення освітленості на робочому місці за рахунок збільшення потужності світильника або використання місцевого освітлення для роботи з документами.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи:

1. За проведеним аналізом сучасних тенденцій та сфер використання БпЛА у промислових виробництвах, порівнянням впроваджених корисних моделей та розглядом патентної інформації, зроблено висновки, про наявність високої потреби у розробці нових дронів, особливо в умовах зростаючого населення Землі та загострення проблеми світового голоду.

2. В процесі розгляду класифікації БпЛА за аеродинамічною конфігурацією, було ознайомлено з основними перевагами та недоліками кожного типу структури, та обрано конфігурацію мультикоптеру з чотирьома двигунами, розроблено блок схему структури компонентів системи та обґрунтовано вибір блоків для її реалізації.

3. Розроблено електричну принципову схему підключення усіх елементів системи, та узгоджено з обраною RGB камерою, яку було обрано на основі порівняння впроваджених технологій запису та моніторингу стану рослин на аграрних підприємствах.

4. Розроблено код дрону на базі попередньо описаного алгоритму роботи системи, та навчено модель для розпізнавання уражених в наслідку хвороби, появи шкідників, або нестачі мінералів у ґрунті рослин, для наступного аналізу землі у проблемній області, та прийняття рішення для усунення проблеми.

5. Для майбутньої ітерації розробки, рекомендується імплементація повністю автоматичного управління квадрокоптером, шляхом розробки програмного забезпечення для персональних комп'ютерів або телефонів, у якому буде задаватися маршрут для руху БпЛА. Наступним етапом розробки системи є покращення та поглиблення бази даних для тренування нейронної мережі, більш комплексними зразками, що матимуть замість бінарних характеристик «здоровий» «нездоровий», градієнтні показники, що відображатимуть стан рослин за шкалою, наприклад від 1 до 100.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Михайлов А. П. Сучасний стан та перспективи розвитку аграрного сектору економіки України / А. П. Михайлов // «Університет менеджменту освіти» НАПН України, м. Київ - <https://core.ac.uk/download/pdf/159118851.pdf>
2. Заболотна Н.Я, Свідинська В. Сучасний стан та перспективи розвитку аграрного сектору України - http://www.lsej.org.ua/5_2022/75.pdf
3. Genadiy Y, Maxim M, Yuri Pederii Role of unmanned aerial vehicles in precision farming // National Aviation University. 2017. N1(70): 106–112 - file:///C:/Users/Erushin/Downloads/Vnau_2017_1_14.pdf
4. History, types, application and control of drones – https://oda.uni-obuda.hu/bitstream/handle/20.500.14044/25408/Biztons%C3%A1gtudom%C3%A1nyi%20Szemle_2022_4_evf_3_01.pdf?sequence=1 (дата звернення: 20.05.2024)
5. Агродрони в Україні. Ріст ринку та універсальність у використанні <https://agroportal.ua/publishing/lichnyi-vzglyad/agrodroni-v-ukrajini-rist-rinku-ta-universalnist-u-vikoristanni>
6. Єременко В. П. Історія безпілотних літальних апаратів: розвиток і впровадження / В. П. Даниленко. – Харків: Видавництво ХНУ, 2019. – 310 с.
7. Сиваківський Я. Дрони – багатомільярдне майбутнє сільського господарства. URL : [https:// agro.24tv.ua/ droni-bagatomilyardne-maybutnyesilskogogospodarstva-novini-sogodni_n1522661/amp](https://agro.24tv.ua/droni-bagatomilyardne-maybutnyesilskogogospodarstva-novini-sogodni_n1522661/amp) (дата звернення: 05.12.2021).
8. Дрони в сільському господарстві: як нові технології допомагають українцям збільшити врожайність. URL : <https://uatv.ua/uk/drony-vsilskomu-gospodarstvi-yak-novi-tehnologiyi-dopomagayut-ukrayintsyamzbilshyty-vrozhajnist-video/> (дата звернення: 15.05.2024).
9. Матійчик М.П. Тенденції застосування безпілотних повітряних суден в цивільній авіації / Матійчик М.П., Качало І.А // Матеріали XI міжнародної наук.-техн. конфер. “АВІА 2013”. – 2013. – С. 97.
10. Parrot EBee SQ – https://srv.jgc.gr/Pdf_files/eBee-SQ-en.pdf (дата звернення: 20.05.2024)

11. dji phantom 4 rtk –

https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf (дата звернення: 20.05.2024)

12. N. Muchiri and S. Kimathi, “A review of applications and potential applications of uav,” in Proceedings of Sustainable Research and Innovation Conference, 2016, pp. 280–283

13. Бондаренко П. І. Основи аеродинаміки для безпілотних літальних апаратів / П. І. Бондаренко. – Київ: Видавництво "Наука", 2019. – 312 с.

14. Даниленко В. П. Безпілотні літальні апарати: від теорії до практики / В. П. Даниленко. – Харків: Видавництво ХНУ, 2021. – 256 с..

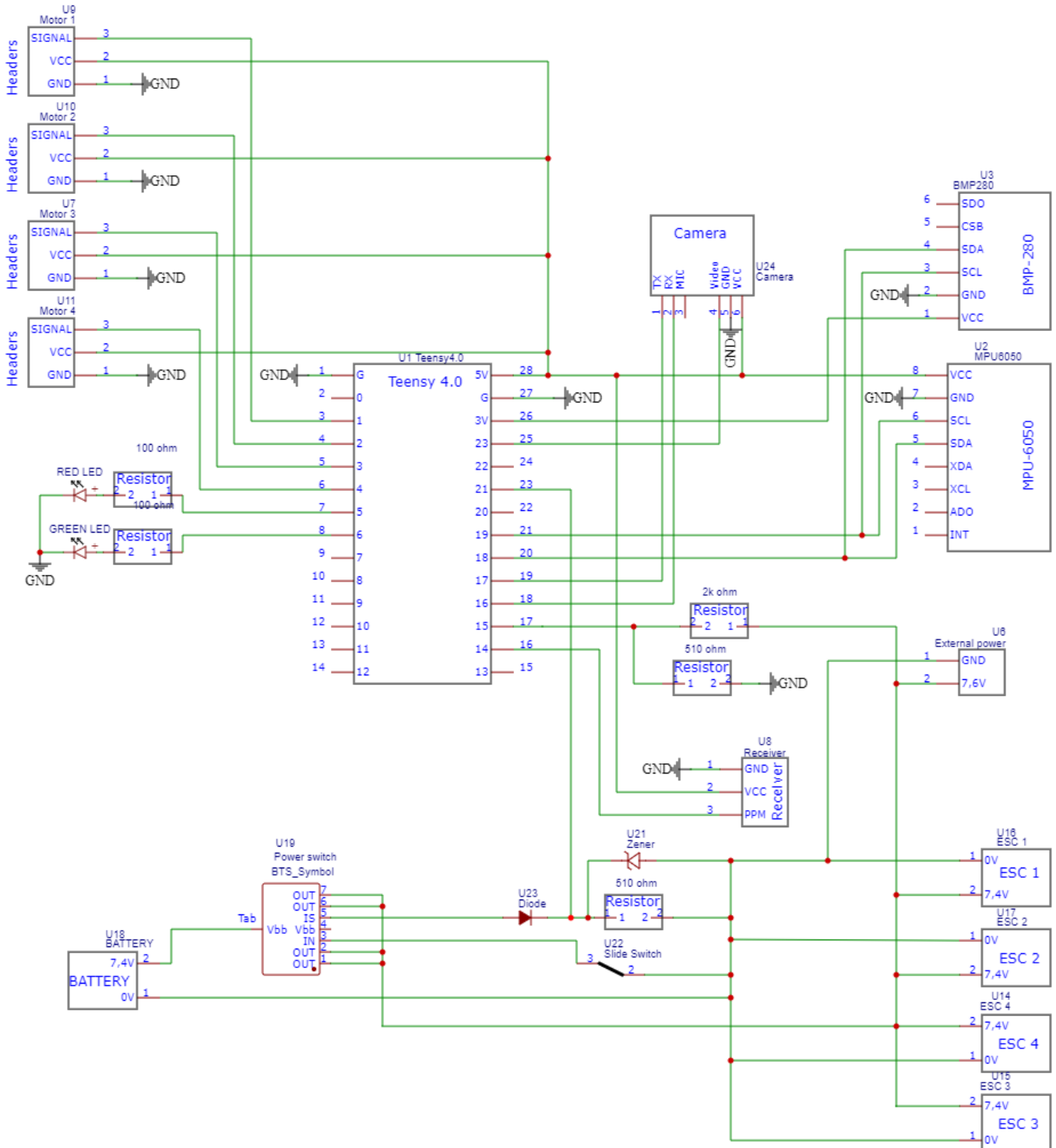
15. Дзюндзюк, Б.В. Охорона праці. Збірник задач. Навч. посібник. [Текст] / Б.В. Дзюндзюк, В.Г. Іванов. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – 236 с.

16. Park, J., Kim, S., Suh, K., 2018. A comparative analysis of the environmental benefits of drone-based delivery services in urban and rural areas. Sustainability 10 (3), 888.

17. Stolaroff, J., 2014. The Need for a Life Cycle Assessment of Drone-based Commercial Use. Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-tr-652316.

Додаток А

Електрична принципова схема системи автоматизації моніторингу стану рослин.



Додаток Б

Код програми аналізу стану рослин

```
#include <opencv2/opencv.hpp>
#include <tensorflow/c/c_api.h>
#include <iostream>

TF_Graph* graph = TF_NewGraph();
TF_SessionOptions* session_opts = TF_NewSessionOptions();
TF_Status* status = TF_NewStatus();
TF_Session* session = TF_NewSession(graph, session_opts, status);
cv::VideoCapture cap("video.mp4");
if(!cap.isOpened()) {
    std::cerr << "Error opening video stream or file" << std::endl;
    return -1;
}
cv::Mat frame;
while(cap.read(frame)) {
    cv::resize(frame, frame, cv::Size(224, 224));
    cv::cvtColor(frame, frame, cv::COLOR_BGR2RGB);
    frame.convertTo(frame, CV_32F, 1.0 / 255);
}
TF_Tensor* input_tensor = TF_AllocateTensor(TF_FLOAT, input_dims, num_dims,
byte_size);
std::memcpy(TF_TensorData(input_tensor), frame.data, byte_size);
TF_Buffer* graph_def = TF_NewBuffer();
TF_GraphImportGraphDef(graph, graph_def, options, status);
TF_Output input_op = {TF_GraphOperationByName(graph, "input_tensor_name"),
0};
TF_Output output_op = {TF_GraphOperationByName(graph, "output_tensor_name"),
```

```
0};  
TF_SessionRun(session, nullptr, &input_op, &input_tensor, 1, &output_op,  
&output_tensor, 1, nullptr, 0, nullptr, status);  
float* output_data = static_cast<float*>(TF_TensorData(output_tensor));  
int result = std::distance(output_data, std::max_element(output_data, output_data +  
num_classes));  
if (result == 0) {  
    std::cout << "Healthy" << std::endl;  
} else {  
    std::cout << "Unhealthy" << std::endl;  
}  
TF_DeleteTensor(input_tensor);  
TF_DeleteTensor(output_tensor);  
TF_CloseSession(session, status);  
TF_DeleteSession(session, status);  
TF_DeleteGraph(graph);  
TF_DeleteStatus(status);  
TF_DeleteSessionOptions(session_opts);
```