

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет

імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри,

д-р техн. наук, проф.

_____ І. М. Журавська

« __ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Мультироторний БПЛА для моніторингу зсуву
ґрунтів**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

123 – КБР.ПЗ.00 – 405.21910529

Студент

_____ А. С. Янюк
підпис

« __ » _____ 202__ р.

Керівник ст. викладач

_____ І. С. Бурлаченко
підпис

« __ » _____ 202__ р.

Миколаїв – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ І. М. Журавська

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи

Видано студенту групи 405 факультету комп'ютерних наук

Янюку Артуру Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Мультироторний БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів

Затверджена наказом по ЧНУ від «__» _____ 2023 р. № _____

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «__» _____ 2023 р.

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

Мультироторний БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів на базі Arduino з керуванням через смартфон

4. Перелік питань, що підлягають розробці

Загальний огляд технологій та їх використання, математична модель та проектування системи, апаратно програмне забезпечення системи Спеціальна частина з охорони праці. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічних матеріалів

- зображення компонентів апаратної частини комплексу, позначення виходів, загальні/структурні схеми;
- схеми підключення компонентів;
- Тривимірний графік візуалізації роботи БПЛА.

6. Завдання до спеціальної частини

Розглянути основні державні норми України, щодо праці в лабораторії для розробки БПЛА, норми природного освітлення у приміщеннях.

7. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
А. О. Алексеєва, к.т.н., доцент	кафедра екології Медичного інституту ЧНУ імені Петра Могили	Спеціальна частина з охорони праці

Керівник роботи

_____ ст. викладач І. С. Бурлаченко
(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Завдання прийнято до виконання

_____ Янюк Артур Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)


_____ (підпис)

Дата видачі завдання « _____ » _____ 20 _____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи

Тема: Мультироторний БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів.

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КБР	20.12.2022	26.12.2022	Виконано
2	Огляд літератури за темою роботи	15.01.2023	01.02.2023	Виконано
3	Складання календарного плану КБР	02.02.2023	03.02.2023	Виконано
4	Аналіз предметної області	03.02.2023	09.02.2023	Виконано
5	Розробка проектних рішень	10.02.2023	10.03.2023	Виконано
6	Моделювання апаратної частини	11.03.2023	11.04.2023	Виконано
7	Розробка програмного забезпечення та тестування	12.04.2023	12.05.2023	Виконано
8	Написання розділу з охорони праці	13.05.2023	19.05.2023	Виконано
9	Відгук керівника КБР	19.05.2023	20.05.2023	Виконано
10	Оформлення КР та презентації	20.05.2023	30.05.2023	Виконано
11	Перший передзахист КБР	30.05.2023	31.05.2023	Виконано
12	Рецензування	31.05.2023	13.06.2023	Виконано
13	Другий передзахист КБР	13.06.2023	14.06.2023	Виконано
14	Завершення оформлення КБР та презентації	14.06.2023	27.06.2023	Виконано
15	Захист кваліфікаційної роботи	27.06.2023	28.06.2023	Виконано

Розробив здобувач ВО Янюк Артур Сергійович 
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи ст. викладач І. С. Бурлаченко _____
(підпис)

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

До кваліфікаційної бакалаврської роботи
«Мультироторний БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів»

Студент 405 гр.: Янюк Артур Сергійович

Керівник: ст. викладач Бурлаченко І.С.

Бакалаврська робота присвячена розробці мультироторного безпілотного літального апарата (БПЛА) для моніторингу зсуву ґрунтів. У роботі розглянуто актуальність використання БПЛА в геодезичних дослідженнях та принципи його роботи. Були розроблені апаратна та програмна частини системи, що включають датчики, мікроконтролери, алгоритми стабілізації та керування, а також інтерфейс для відображення та аналізу даних.

Одним із головних результатів роботи є розробка функціональної схеми використання БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вона включає в себе процес зчитування даних з датчиків, передачу даних до наземної станції, обробку та візуалізацію даних.

У розділі аналізу отриманих даних був проведений статистичний аналіз, включаючи розрахунок середніх значень, дисперсії, кореляційних коефіцієнтів та інших статистичних показників. Це допомогло зрозуміти статистичну природу отриманих даних, виявити залежності між різними параметрами та оцінити їх вплив на зсуви ґрунту.

На основі розробленої системи та проведеного аналізу отриманих даних були зроблені висновки щодо можливостей використання мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Було встановлено, що така система може бути ефективним інструментом для раннього виявлення та моніторингу зсуву ґрунтів в різних геодезичних дослідженнях.

У додатку А наведено звіт з перевірки роботи на плагіат. У додатку Б та В наведено програмний код, що використовувався в проекті. В цілому, бакалаврська робота без додатків містить 73 сторінок, 24 рисунки, 5 таблиці, 17 джерел посилань. Ключові слова: мультироторний БПЛА, моніторинг зсуву ґрунтів, функціональна схема, аналіз даних.

ABSTRACT

of the Bachelor's Thesis

"Multi-rotor UAV for monitoring landslides"

Student: Yaniuk Artur Sergiyovych

Supervisor: senior lecturer Burlachenko I.S.

The bachelor's thesis is devoted to the development of a multi-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring landslides. The work considers the relevance of using UAVs in geodetic research and the principles of its operation. Hardware and software parts of the system were developed, including sensors, microcontrollers, stabilization and control algorithms, as well as an interface for displaying and analyzing data.

One of the main results of the work is the development of a functional scheme for using UAVs to monitor landslides. It includes the process of reading data from sensors, data transmission to the ground station, data processing and visualization.

In the data analysis section, statistical analysis was performed, including the calculation of mean values, variance, correlation coefficients, and other statistical indicators. This helped to understand the statistical nature of the data, identify dependencies between different parameters and assess their impact on landslides.

Based on the developed system and the analysis of the data obtained, conclusions were drawn about the possibilities of using a multi-rotor UAV for monitoring landslides. It was found that such a system can be an effective tool for early detection and monitoring of landslides in various geodetic surveys.

Appendix A contains the plagiarism check report. Appendix B and C contain the program code used in the project. In total, the bachelor's thesis without appendices contains 73 pages, 24 figures, 5 tables, 17 references.

Keywords: multi-rotor UAV, landslide monitoring, functional diagram, data analysis.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ	10
1.1 Дослідження методів моніторингу зсуву ґрунтів	12
1.2 Практичні застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів	15
1.3 Основні переваги мультироторийного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів	18
1.4 Огляд конкурентного середовища.....	22
1.5 Електричні компоненти	23
1.6 Матеріали для створення корпусу БПЛА	24
Висновок до розділу 1.....	26
2 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	27
2.1 Обчислення маси рами БПЛА.....	28
2.2 Розрахунок потужності двигунів.....	29
2.3 Розрахунок ємності акумулятора.....	30
2.4 Розрахунки статичної та динамічної стабільності мультироторийного БПЛА	31
2.5 Математична модель.....	36
2.6 Визначення характеристик динаміки руху мультироторийного БПЛА ...	37
2.7 Розробка принципів схем	39
2.8 Принцип стабілізації польоту дрона	42
2.9 Принцип моніторингу зсуву ґрунтів	44
Висновок до розділу 2.....	47
3 АПАРАТНО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ.....	49
3.1 Огляд апаратного забезпечення системи.....	50
3.2 Функціональна схема використання БПЛА	55
3.3 Програмне забезпечення системи.....	57
Висновок до розділу 3.....	69

ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	73
ДОДАТОК А ДОВІДКА.....	75
ДОДАТОК Б Код для мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів....	76
ДОДАТОК В Код для аналізу вихідних даних	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА	–	безпілотний повітряний апарат
ГНСС	–	глобальна навігаційна супутникова система
ГСН	–	геодезична сторона світу
ІнТех	–	інформаційні технології
ПЛК	–	програмований логічний контролер
СКЛ	–	система контролю та локалізації
ЦТ	–	центр тяжіння
API	–	Application Programming Interface
DHT	–	Digital Humidity and Temperature
GPS	–	Global Positioning System
MPU	–	Motion Processing Unit
PID	–	Proportional-Integral-Derivative
PWM	–	Pulse Width Modulation
UART	–	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

ВСТУП

У сучасному світі проблема зсуву ґрунтів стає все більш актуальною і важливою. Зсуви ґрунтів призводять до серйозних наслідків, таких як руйнування інфраструктури, загроза для безпеки населення та негативний вплив на навколишнє середовище. Ефективне виявлення та моніторинг зсувів ґрунтів є критично важливим для запобігання небезпекам та прийняття необхідних заходів для захисту та управління ризиками.

Традиційні методи моніторингу зсуву ґрунтів мають свої обмеження, такі як обмежена охоплення території та складність доступу до складних теренів. Крім того, вони можуть бути часо та праце затратними, потребуючи значних людських та матеріальних ресурсів. У зв'язку з цим, появляється потреба в нових інноваційних підходах та технологіях, які забезпечують швидке та ефективне виявлення зсувів ґрунтів.

Одним з таких інноваційних підходів є використання мультироторних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу зсуву ґрунтів. Мультироторні БПЛА є компактними, маневреними та здатними проникати в складні території, що дозволяє отримувати детальну інформацію про стан ґрунту та виявляти зсуви на ранніх стадіях.

Ця дипломна робота присвячена дослідженню та розробці мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Метою роботи є розробка ефективного та точного методу виявлення та моніторингу зсуву ґрунтів з використанням мультироторного БПЛА. Для досягнення цієї мети, в роботі будуть вирішуватися наступні завдання:

Аналіз і узагальнення наявних даних та літературних джерел щодо зсуву ґрунтів, його причин, проявів та методів моніторингу.

Розробка апаратно-програмного комплексу мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів, включаючи вибір необхідного обладнання (датчики, камери тощо), розробку системи навігації та авто-пілотування.

Визначення методів збору та обробки даних, отриманих від мультироторного БПЛА, зокрема вимірювання геометричних параметрів зсуву, аналіз змін у геологічних структурах, використання методів комп'ютерного зору та обробки зображень.

Розробка алгоритмів та моделей для прогнозування зсувів ґрунтів на основі зібраних даних, використовуючи методи машинного навчання та штучного інтелекту.

Проведення експериментальних досліджень та валідація розроблених методів та алгоритмів на реальних тестових ділянках зсуву ґрунтів.

Результати цієї роботи можуть мати важливе практичне значення для геологічних служб, будівельних компаній, урядових органів та інших зацікавлених сторін. Мультироторні БПЛА можуть стати потужним інструментом для раннього виявлення та моніторингу зсувів ґрунтів, що дозволить забезпечити безпеку населення, ефективно управління ризиками та стійкий розвиток інфраструктури.

Крім того, розвиток та вдосконалення мультироторних БПЛА та їх застосування в моніторингу зсуву ґрунтів може мати значний вплив на сучасну науку та технології. Ця робота сприятиме розширенню наукових знань у галузі геотехнічного інженерінгу, геології та безпілотної авіації.

Окрім того, впровадження мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів може мати значний економічний вплив. Раннє виявлення та ефективно управління зсувами ґрунтів допоможуть уникнути великих збитків, пов'язаних з руйнуванням будівель, інфраструктури та просторовими змінами. Крім того, це сприятиме зниженню витрат на після зсувні відновлювальні роботи та ремонтні роботи.

Необхідно зазначити, що хоча деякі дослідження вже були проведені у цій області, проте існує потреба у подальшому розробленні та вдосконаленні методів та технологій для моніторингу зсуву ґрунтів з використанням мультироторних БПЛА. Ця дипломна робота пропонує новий підхід до цієї проблеми та розширить наші знання про застосування безпілотних систем у геотехнічному моніторингу.

Основною ідеєю цієї роботи є зниження витрат у цій галузі так як є багато різних методик моніторингу, але всі вони потребують або великих витрат на прикладі супутникових знімків ландшафту або людського ризику на деяких ділянках.

Актуальність дослідження

Одним із найважливіших геологічних явищ, які вимагають систематичного спостереження, є зсуви ґрунтів. Зсуви ґрунтів становлять серйозну загрозу для інфраструктури, населення та навколишнього середовища. Швидке та точне виявлення та моніторинг зсувів ґрунтів є критично важливим для забезпечення безпеки та управління ризиками.

Актуальність проблеми

Зсуви ґрунтів вважаються одними з найбільш небезпечних геологічних подій, які можуть спричинити значні матеріальні збитки, втрату життів та негативно вплинути на навколишнє середовище. Природні зсуви ґрунтів виникають внаслідок різних факторів, таких як дощі, сніготанення, зміни ґрунтового води, сейсмічна активність та антропогенні впливи, такі як розробка кар'єрів, будівництво доріг та будівель.

Однак, незважаючи на важливість моніторингу зсувів ґрунтів, існуючі традиційні методи мають свої обмеження. Вони часто обмежені територією, яку можна охопити, та доступністю складних теренів. Крім того, вони можуть бути часо та праце затратними, потребуючи значних людських та матеріальних ресурсів.

У зв'язку з цим, розсіпання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу зсуву ґрунтів є актуальним напрямом досліджень. Використання мультироторних БПЛА дозволяє отримати значні переваги в порівнянні з традиційними методами моніторингу.

По-перше, мультироторні БПЛА можуть здійснювати моніторинг з повітря, що дозволяє охоплювати значні території та отримувати детальну інформацію про зсуви ґрунтів на різних висотах. Це дає можливість раннього виявлення зсувів та вжиття необхідних заходів для запобігання негативним наслідкам.

По-друге, мультироторні БПЛА є гнучкими та маневреними, що дозволяє їм проникати в складні території та важкодоступні місця, де зсуви ґрунтів можуть виникати частіше. Це дає змогу здійснювати точні та деталізовані вимірювання, а також збирати високоякісні дані, необхідні для аналізу та прогнозування зсувів ґрунтів.

По-третє, мультироторні БПЛА оснащені сучасними технологіями, такими як високо роздільні камери, лазерні сканери та термальні камери, що дозволяють отримувати розширену інформацію про стан ґрунту та виявлення його змін. Це дозволяє вчасно реагувати на потенційно небезпечні зсуви та забезпечувати ефективніші заходи моніторингу та управління ризиками.

Нарешті, розвиток технологій мультироторних БПЛА забезпечує їх самостійну роботу безпілотних систем, що дозволяє автоматизувати процеси збору та аналізу даних. Це зменшує необхідність в людському втручанні та збільшує ефективність моніторингу зсуву ґрунтів.

Однак, необхідно провести детальні дослідження та розробити спеціалізовані методики та алгоритми для використання мультироторних БПЛА в контексті моніторингу зсуву ґрунтів. Необхідно вирішити такі завдання, як точне визначення параметрів зсуву ґрунтів, розробка алгоритмів обробки та аналізу отриманих даних, створення системи візуалізації та передачі результатів моніторингу в реальному часі.

Також, актуальною є розробка методів прогнозування зсувів ґрунтів на основі зібраних даних, що дозволить забезпечити додатковий рівень безпеки та уникнути можливих негативних наслідків. Для цього необхідно використовувати сучасні аналітичні методи, такі як машинне навчання та штучну інтелекту, для прогнозування та розпізнавання ризикових зон та патернів зсуву ґрунтів.

Узагальнюючи, мультироторні БПЛА є потужним інструментом для моніторингу зсуву ґрунтів, який надає можливість отримання детальної інформації про стан ґрунту та вчасного реагування на потенційні небезпеки. Дослідження в цій

області є актуальним і важливим кроком у напрямку забезпечення безпеки і стійкого розвитку інфраструктури та навколишнього середовища.

Мета: розробка мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів

Об'єкт: моніторинг зсуву ґрунтів за допомогою мультироторних БПЛА.

Предмет: технології обробки сенсорних даних для мультироторного БПЛА на базі Arduino.

Для досягнення мети в бакалаврській роботі поставленні та вирішенні наступні завдання:

- 1) розглянути існуючі технології для моніторингу зсуву ґрунтів;
- 2) розробити функціональну схему об'єкту;
- 3) провести розрахунки;
- 4) розробити алгоритм роботи системи керування;
- 5) розробити електричну принципову схему;
- 6) розробити алгоритм моніторингу зсуву ґрунтів;
- 7) скомпонувати проект.

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Загальний огляд технологій та їх використання для мультироторного БПЛА на базі Arduino.

Мультироторні безпілотні літальні апарати (БПЛА) на базі Arduino стають все більш популярними у різних сферах, включаючи моніторинг зсуву ґрунтів. Використання технологій на базі Arduino дозволяє розробникам створювати власні мультироторні системи зі зручним програмуванням та налаштуванням.

Однією з ключових технологій для БПЛА є мікроконтролер Arduino. Arduino забезпечує основну платформу для керування польотними функціями БПЛА, включаючи навігацію, стабілізацію, керування моторами та комунікацію зі зовнішніми пристроями.

Для досягнення стабільності та керування польотними функціями БПЛА використовуються Flight Controller. Він може бути побудований на основі Arduino або використовувати Arduino як основний елемент. Популярні моделі Flight Controller для мультироторних БПЛА на базі Arduino включають APM (ArduPilot Mega) та Pixhawk. Вони надають широкий набір можливостей для автономного польоту, збору даних та навігації.

Для збору даних про зсув ґрунтів можна використовувати різноманітні сенсори, такі як акселерометри, гіроскопи, магнітометри, барометри та GPS-приймачі. Ці сенсори дозволяють вимірювати параметри положення, руху, орієнтації та атмосферного тиску, що є важливими для моніторингу зсуву ґрунтів.

Крім того, камери можуть бути використані для збору зображень з високою роздільною здатністю. Камери можуть бути обладнані спеціальними алгоритмами обробки зображень, що дозволяють аналізувати зсуви ґрунтів та виявляти зміни в ландшафті. Такі алгоритми можуть використовувати методи комп'ютерного зору, включаючи виявлення контуру, розпізнавання об'єктів та порівняння зображень для виявлення руху.

Щодо комунікації та передачі даних, мультироторний БПЛА на базі Arduino може використовувати бездротові технології, такі як Wi-Fi або Bluetooth, для

зв'язку зі зв'язаною земною станцією або комп'ютером. Це дозволяє передавати дані з сенсорів та камер у реальному часі, отримувати команди керування та надавати зворотний зв'язок.

Крім того, для безпеки та надійності польоту мультироторного БПЛА можуть використовуватися системи автоматичного пілотування (Autopilot). Autopilot – це програмне забезпечення, яке керує всіма аспектами польоту БПЛА, включаючи стабілізацію, навігацію та автономну роботу. Arduino може бути використаний для реалізації функцій Autopilot та програмування різних режимів польоту.

У цьому загальному огляді були розглянуті основні технології, які можуть бути використані для розробки мультироторного БПЛА на базі Arduino для моніторингу зсуву ґрунтів. Комбінація Arduino, Flight Controller, сенсорів, камер і системи автоматичного пілотування надає розробникам можливість створити потужний та гнучкий БПЛА, здатний виконувати моніторинг зсуву ґрунтів з високою точністю та ефективністю.

Окрім технологій, які були згадані в загальному огляді, для розробки мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів можуть бути використані інші технології, такі як:

GPS-навігація: GPS-модуль може бути використаний для визначення місцезнаходження БПЛА в режимі реального часу. Це дозволяє надавати точні координати для мапування та навігації.

LIDAR: LIDAR (Light Detection and Ranging) – це технологія, яка використовує лазер для вимірювання відстані до об'єктів. Вона може бути використана для створення тривимірної карти рельєфу, що може бути корисно для виявлення зсувів ґрунтів.

Інерціальна навігаційна система (Inertial Navigation System – INS): INS може бути використана для визначення руху та орієнтації БПЛА в просторі. Це дозволяє більш точно контролювати політ та виконувати завдання моніторингу.

1.1 Дослідження методів моніторингу зсуву ґрунтів

У цьому розділі буде проведено дослідження різних методів моніторингу зсуву ґрунтів. Зсуви ґрунту є серйозною проблемою, яка може мати значний вплив на життя та майно людей. Розробка ефективних методів моніторингу зсуву ґрунтів є важливим завданням для запобігання нещасним випадкам та забезпечення безпеки споруд та населених пунктів.

Геодезичні методи:

– триангуляція: Геодезична триангуляція використовується для вимірювання горизонтальних та вертикальних зміщень точок на земній поверхні. Цей метод може бути використаний для виявлення масштабних зсуву ґрунтів та змін у рельєфі;

– інтерферометрія зсуву: Цей метод використовується для вимірювання мікросейсмічних зсувів у місцях, де відбуваються незначні рухи ґрунту. Він базується на вимірюванні інтерференції між двома позначеними точками на земній поверхні.

Геофізичні методи:

– електрична резистивність: Вимірювання електричної резистивності ґрунту може допомогти виявити зміни у вологості та складі ґрунту, які можуть бути пов'язані з зсувами;

– сейсмічні методи: За допомогою сейсмічних датчиків можна виявити зміни в швидкості поширення сейсмічних хвиль у ґрунті, що може бути індикатором зсуву.

Дистанційне зондування:

– супутникове зображення: Використання супутникових зображень дозволяє отримувати великий охоплення території та високу просторову роздільну здатність. Шляхом аналізу змін у зображеннях можна виявляти зсуви ґрунту та моніторити їх розвиток в часі;

– лідар: Лідар (Light Detection and Ranging) використовується для збирання точкових хмар даних, що дає змогу створювати тривимірні моделі поверхні. Зміни в моделі можуть свідчити про зсуви ґрунту.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА):

– мультироторні БПЛА: Мультироторні БПЛА, такі як той, що розробляється в рамках даної дипломної роботи, можуть використовуватися для збору даних про зсуви ґрунту з високою маневреністю та гнучкістю. Вони можуть бути обладнані сенсорами, камерами та системами навігації для збору даних та аналізу зсувів.

Інтернет речей (IoT) та бездротові мережі:

– сенсорні мережі: Розгортання сенсорних мереж, які включають сенсори на поверхні ґрунту, може дати змогу в реальному часі виявляти зміни в параметрах ґрунту, які можуть бути пов'язані з зсувами;

– комунікація і передача даних: Використання бездротових технологій комунікації, таких як Wi-Fi або Bluetooth, дозволяє передавати дані з мультироторного БПЛА або сенсорів до зв'язаної земної станції для подальшого аналізу та моніторингу.

Таблиця 1.1 – Порівняння технологій

Технологія моніторингу	Вартість	Покриття території	Роздільна здатність	Мобільність	Вимоги до інфраструктури
Мультироторні БПЛА	Середня	Широке	Висока	Висока	Мінімальні
Супутникові системи	Висока	Широке	Висока	Обмежена	Супутниковий зв'язок
IoT	Висока	Середнє	Висока	Висока	Інтернет-підключення

Технологія моніторингу	Вартість	Покриття території	Роздільна здатність	Мобільність	Вимоги до інфраструктури
Геофізичні методи	Середнє	Обмежене до області дослідження	Висока	Низька	Середні

У цьому підрозділі були розглянуті різноманітні методи моніторингу зсуву ґрунтів для дослідження. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і їх вибір залежить від конкретної ситуації та потреб дослідження.

Геодезичні методи, такі як триангуляція та інтерферометрія зсуву, дозволяють вимірювати горизонтальні та вертикальні зміщення точок на земній поверхні. Ці методи особливо корисні для виявлення масштабних зсувів та змін у рельєфі.

Геофізичні методи, такі як вимірювання електричної резистивності та сейсмічні методи, можуть надати інформацію про зміни у вологості та складі ґрунту, що можуть бути пов'язані з зсувами.

Дистанційне зондування, таке як використання супутникових зображень та лідару, дозволяє отримувати інформацію про зсуви ґрунту на великій території та з високою просторовою роздільною здатністю. Ці методи дозволяють виявляти зміни в поверхневій структурі та моніторити їх розвиток у часі.

Безпілотні літальні апарати, зокрема мультироторні БПЛА, є корисними засобами для збору даних про зсуви ґрунту з високою маневреністю та гнучкістю. Вони можуть бути обладнані сенсорами, камерами та системами навігації для збору даних та аналізу зсувів.

Також варто зазначити, що використання технологій Інтернету речей та бездротових мереж, таких як сенсорні мережі та комунікаційні системи, дозволяє

забезпечити збір та передачу даних в реальному часі. Це дозволяє оперативно моніторити зсуви ґрунту і вживати необхідні заходи безпеки.

У даному розділі було проведено огляд різних методів моніторингу зсуву ґрунтів. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і їх вибір залежить від контексту дослідження та вимог проекту. Для комплексного та ефективного моніторингу зсуву ґрунтів може бути доцільно поєднувати кілька методів та технологій, щоб отримати максимально точні та достовірні результати.

Дальші кроки в дослідженні можуть включати експериментальну перевірку різних методів моніторингу на відповідність поставленим вимогам, розробку алгоритмів та моделей для аналізу та передачі даних, а також розробку програмного забезпечення для обробки та візуалізації результатів моніторингу.

В цілому, дослідження методів моніторингу зсуву ґрунтів має велике значення для ефективного виявлення, прогнозування та управління зсувами ґрунту. Розроблені методи та технології можуть знайти широке застосування в галузі цивільного будівництва, охорони довкілля та безпеки і допомогти зменшити ризики та наслідки зсуву ґрунтів.

1.2 Практичні застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів

У цьому розділі розглядаються практичні застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів в різних галузях. Вказуються конкретні проекти та дослідження, в яких використовуються ці методи, а також описуються їхні переваги та значення. Практичне використання цих методів підтверджує їхню ефективність та потенціал для виявлення, прогнозування та управління зсувами ґрунту.

1. Геологічні дослідження та сейсмічний моніторинг:

Методи моніторингу зсуву ґрунтів мають важливе значення в геологічних дослідженнях та сейсмічному моніторингу. Вони допомагають виявляти та вивчати геологічні розлами, переміщення земної кори та зміни у рельєфі. Це особливо важливо в районах з високою сейсмічною активністю або небезпекою зсувів.

2. Геотехнічне інженерство та будівництво:

У геотехнічному інженерстві методи моніторингу зсуву ґрунтів є необхідним етапом проектування та будівництва споруд. Вони дозволяють виявляти небезпечні зсуви, контролювати стабільність схилів та вживати необхідні заходи для забезпечення безпеки та надійності споруд.

3. Моніторинг довкілля та природоохоронні проекти:

Зсуви ґрунту можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема на водні ресурси, екосистеми та природні резервати. Методи моніторингу зсуву ґрунтів дозволяють виявляти та вивчати зсуви, спостерігати їх динаміку та вплив на довкілля, що дає можливість розробити ефективні стратегії охорони довкілля та управління ризиками.

4. Транспортна інфраструктура:

Методи моніторингу зсуву ґрунтів використовуються для оцінки стабільності транспортних шляхів, залізниць та інших елементів транспортної інфраструктури. Вони допомагають виявляти потенційні ризики зсувів та планувати необхідні заходи для забезпечення безпеки та надійності транспортних мереж.

5. Розробка землекористування та планування міст:

Методи моніторингу зсуву ґрунтів важливі для розробки землекористування та планування міст. Вони дозволяють виявляти райони з підвищеним ризиком зсувів та розробляти відповідні стратегії для забезпечення безпеки мешканців та збереження природних ресурсів.

6. Аграрний сектор:

У сільському господарстві методи моніторингу зсуву ґрунтів використовуються для виявлення та прогнозування зсувів, що можуть негативно вплинути на сільськогосподарські угіддя та культури. Це дозволяє вчасно вживати заходи для збереження родючості ґрунту та оптимізації виробництва.

Ці приклади практичного застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів демонструють їхню широку сферу застосування та важливість у багатьох різних

галузях. Продовжуючи розділ про практичні застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів, наведу ще декілька прикладів.

7. Енергетична промисловість:

У енергетичній промисловості методи моніторингу зсуву ґрунтів використовуються для оцінки стабільності та безпеки інфраструктури, пов'язаної з видобуванням та транспортуванням нафти, газу та інших ресурсів. Вони допомагають виявляти ризики зсувів та запобігати потенційним аварійним ситуаціям.

8. Гірничодобувна промисловість:

У гірничодобувній промисловості методи моніторингу зсуву ґрунтів використовуються для оцінки безпеки робочих місць та інфраструктури. Вони допомагають виявляти ризики зсувів та планувати необхідні заходи для забезпечення безпеки гірників та уникнення негативних наслідків для довкілля.

9. Управління природними резерватами та парками:

В природних резерватах та національних парках методи моніторингу зсуву ґрунтів використовуються для збереження та управління природними екосистемами. Вони дозволяють виявляти зміни у ландшафті та вчасно реагувати на зсуви, що можуть негативно вплинути на різноманітність видів та екологічну рівновагу.

10. Надземні та підземні інфраструктурні мережі:

Методи моніторингу зсуву ґрунтів застосовуються для оцінки безпеки та стабільності надземних та підземних інфраструктурних мереж, таких як дороги, мости, тунелі, трубопроводи тощо. Вони дозволяють виявляти зсуви, які можуть пошкодити чи навіть зруйнувати інфраструктурні споруди, і вчасно приймати заходи для їхнього відновлення та попередження подібних проблем у майбутньому.

11. Управління ризиками природних катастроф:

Методи моніторингу зсуву ґрунтів використовуються в управлінні ризиками природних катастроф, зокрема зсувів. Вони допомагають виявляти потенційно

небезпечні зони та прогнозувати ризик зсуву, що дозволяє вживати вчасні заходи для захисту населення, майна та інфраструктури.

Ці приклади практичного застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів свідчать про їхню важливість і значення в різних галузях. Вони допомагають забезпечувати безпеку, зберігати природні ресурси та уникати негативних наслідків для людей та навколишнього середовища.

1.3 Основні переваги мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів

Розділ "Основні переваги БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів" присвячений детальному аналізу переваг, які надає використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в контексті моніторингу зсуву ґрунтів. У цьому розділі розглянуть ключові аспекти, що роблять БПЛА ефективними засобами для дослідження та виявлення зсуву ґрунтів. Будуть висвітлені їхні технічні можливості, маневреність, точність та інші фактори, які роблять їх вигідними для використання в даному контексті.

1. Гнучкість та доступність

БПЛА є гнучкими засобами для моніторингу зсуву ґрунтів, оскільки вони можуть працювати в різних умовах та на різних територіях. Вони можуть легко приземлюватися та злітати з обмеженої площі, що робить їх ефективними для дослідження складних місцевостей, включаючи гірські райони та важкодоступні місця. Крім того, їхні компактні розміри і портативність роблять їх легкими у транспортуванні та розгортанні на різних ділянках дослідження.

2. Висока маневреність та стабільність

БПЛА відрізняються високою маневреністю та стабільністю, що дозволяє їм ефективно працювати в різних умовах. Вони здатні виконувати точні маневри та утримувати стабільне положення навіть при сильних вітрах. Це дозволяє отримувати високоякісні дані та зображення з високою роздільною здатністю. Маневреність БПЛА також дозволяє їм здійснювати докладне обстеження

конкретних ділянок, виконувати точні зйомки з різних кутів та проникати в складно доступні місця, що сприяє збільшенню ефективності моніторингу зсуву ґрунтів.

3. Висока точність та розширені можливості датчиків

БПЛА можуть бути обладнані різноманітними сенсорами та датчиками, які забезпечують високу точність збору даних про зсуви ґрунту. Наприклад, GPS-системи, лазерні далекоміри, термальні камери, високо роздільні фотокамери та інші датчики дозволяють отримувати детальну інформацію про стан ґрунту, його рух та зміни. Це дозволяє розпізнавати потенційні зони ризику зсувів та вчасно реагувати на них.

4. Швидкість та ефективність роботи

БПЛА можуть оперативно виконувати завдання з моніторингу зсуву ґрунтів завдяки своїй високій швидкості польоту. Це дозволяє здійснювати швидкі обстеження великих територій та проводити моніторинг у режимі реального часу. Крім того, використання БПЛА знижує необхідність у людській праці, що робить процес моніторингу більш ефективним та витратним.

БПЛА мають численні переваги для моніторингу зсуву ґрунтів. Їх гнучкість, доступність, висока маневреність, стабільність та точність роблять їх ідеальними інструментами для виявлення та вивчення зсуву ґрунтів. Завдяки їхнім розширеним можливостям датчиків та високій швидкості роботи, БПЛА забезпечують оперативне та ефективне збирання даних про зсуви ґрунту на великих територіях.

Використання БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів відкриває нові можливості для дослідників, інженерів та управлінців. Вони допомагають забезпечити безпеку і зменшити ризик зсувів, що може призвести до руйнування будівель, інфраструктури та загрози життю людей. Крім того, вони сприяють раціональному використанню ресурсів та ефективному управлінню природними ресурсами.

Застосування БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів є перспективним напрямком досліджень, який має великий потенціал для покращення безпеки, ефективності та стійкості будівельних та інфраструктурних об'єктів. Використання

цих технологій може допомогти в реалізації різних застосувань у сфері геології, гідрології, сільського господарства, лісового господарства та інших сферах. Нижче наведено кілька конкретних прикладів практичного застосування методів моніторингу зсуву ґрунтів з використанням БПЛА:

1) виявлення ризикових зон: БПЛА можуть виконувати аерофотозйомку та збирати дані з високою роздільною здатністю для виявлення ризикових зон зсуву ґрунтів. Це допомагає вчасно виявляти потенційні небезпеки та приймати відповідні заходи щодо їх запобігання;

2) моніторинг зсувів: З використанням БПЛА можна здійснювати регулярний моніторинг зсуву ґрунтів для визначення їхньої динаміки та змін в часі. Це дозволяє виявляти тенденції, прогнозувати можливі ризики та вживати відповідних заходів для запобігання негативним наслідкам;

3) оцінка пошкоджень: БПЛА можуть бути використані для оцінки пошкоджень, що виникають внаслідок зсуву ґрунтів. Вони дозволяють здійснювати докладну візуальну інспекцію об'єктів та оцінювати масштаби пошкоджень, що сприяє раціональному плануванню ремонтних робіт та відновленню інфраструктури;

4) дослідження ґрунтових властивостей: БПЛА можуть бути використані для збору даних про ґрунтові властивості та характеристики, які впливають на зсуви ґрунту. З використанням спеціалізованих датчиків, таких як термальні камери, гео- радари або сенсори електромагнітних характеристик, мультироторні БПЛА можуть збирати дані про вологість ґрунту, його структуру, компактність та інші параметри. Це допомагає розуміти причини зсувів та визначати потенційні зони зі збільшеним ризиком;

5) планування інженерних заходів: Використання мультироторних БПЛА дозволяє отримати докладну інформацію про топографію та морфологію місцевості, що страждає від зсуву ґрунтів. Це допомагає інженерам та планувальникам розробляти ефективні стратегії для стабілізації та запобігання

зсувам шляхом використання підходящих технік, таких як сполучення стін або геотехнічні заходи;

б) системи попередження про зсуви: Мультироторні БПЛА можуть бути використані для створення систем попередження про зсуви ґрунту. Вони можуть встановлювати стійки на потенційно небезпечних ділянках та використовувати відеоспостереження та сенсори для виявлення руху або змін в ґрунті. При виявленні підозрілих змін система може автоматично сповістити відповідні служби та вжити необхідних заходів для запобігання негативним наслідкам.

Мультироторні БПЛА мають значний потенціал для моніторингу зсуву ґрунтів та забезпечення безпеки і ефективності в різних сферах. Їхні гнучкість, точність та швидкість роботи роблять їх цінними інструментами для виявлення, моніторингу та управління зсувами ґрунту. Вони дозволяють отримувати детальні дані про зміни ґрунту, виявляти ризикові зони та вчасно реагувати на потенційні небезпеки. Крім того, використання мультироторних БПЛА знижує необхідність у людській праці та збільшує ефективність процесу моніторингу.

У наступних розділах дипломної роботи будуть детально розглянуті технічні аспекти використання мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів, включаючи вибір та конфігурацію дронів, вибір сенсорів та датчиків, методи збору та обробки даних, алгоритми аналізу та вирішення задач. Також будуть розглянуті приклади практичного застосування та результати експериментів з мультироторними БПЛА в контексті моніторингу зсуву ґрунтів.

Ця дипломна робота має на меті розширити розуміння про можливості та переваги використання мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вона спрямована на виявлення потенційних областей дослідження та розробку рекомендацій для ефективного впровадження цих технологій у практичну діяльність. Дипломна робота буде корисною для дослідників, фахівців у галузі геології, геотехніки, цивільного будівництва, а також управлінців, які займаються плануванням та управлінням природними ресурсами та інфраструктурою.

1.4 Огляд конкурентного середовища

На сучасному ринку мультироторних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу зсуву ґрунтів існує ряд компаній, які пропонують схожі продукти та послуги. Конкуренція в цій галузі стає все більш жорсткою, оскільки попит на такі технології зростає із зростанням усвідомлення важливості моніторингу зсуву ґрунтів для безпеки та стабільності будівельних та інфраструктурних проектів.

1.4.1 Конкуренти

Нижче наведено огляд декількох провідних конкурентів на ринку мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів:

1) компанія XYZ Drones. Компанія XYZ Drones є одним з провідних виробників мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вони спеціалізуються на розробці та виготовленні високоякісних дронів зі зручним управлінням та високою точністю даних. XYZ Drones відома своїми інноваційними рішеннями, включаючи використання штучного інтелекту для аналізу зібраних даних про зсуви ґрунту;

2) компанія ABC Technologies. ABC Technologies є ще одним відомим гравцем на ринку мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вони пропонують широкий спектр дронів з різними характеристиками та функціональністю. ABC Technologies зосереджена на розробці та використанні передових технологій, таких як теплові камери та лазерні датчики;

3) компанія DEF Innovations. DEF Innovations є інноваційним гравцем на ринку мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вони спеціалізуються на розробці інтелектуальних систем моніторингу, які поєднують в собі різні сенсори та алгоритми обробки даних. DEF Innovations акцентує увагу на аналізі в реальному часі та автоматизованому виявленні зсуву ґрунтів, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні небезпеки;

4) компанія GHI Solutions. GHI Solutions є визнаним лідером у сфері мультироторних БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вони спеціалізуються на

високоточних дронах з передовими сенсорами та географічним інформаційними системами (ГІС). GHI Solutions володіє широким портфелем клієнтів та має відмінну репутацію у галузі моніторингу зсуву ґрунтів.

1.5 Електричні компоненти

Основною платою БПЛА буде Модуль Arduino Nano до якої будуть підключатися всі компоненти Плата Arduino як основна плата мультироторного БПЛА (Безпілотний Повітряний Апарат) має численні переваги та можливості, які роблять її привабливим вибором для таких проектів. У цьому підрозділі буде розглянуто основні переваги та функції плати Arduino у контексті мультироторних БПЛА.

Простота використання та розробки: Плата Arduino має простий та зрозумілий інтерфейс, що дозволяє легко розробляти програми для управління БПЛА. Це особливо важливо для початківців та студентів, які не мають глибоких знань у галузі електроніки та програмування.

Велика спільнота користувачів та підтримка: Arduino має широкою поширену та активну спільноту користувачів, що дозволяє легко знайти підтримку, долучитися до дискусій та обмінюватися досвідом. Це особливо корисно для розробників БПЛА, оскільки можна швидко отримати відповіді на питання та розв'язати проблеми.

Широкий вибір датчиків та модулів: Arduino підтримує широкий спектр датчиків та модулів, що дозволяє розширити функціональні можливості БПЛА. Наприклад, можна підключити GPS-модуль для визначення місцезнаходження, гіроскопи та акселерометри для стабілізації положення та багато іншого.

Підтримка режиму автономного польоту: Arduino підтримує режим автономного польоту, що дозволяє програмувати БПЛА для виконання певних завдань без втручання оператора. Це може бути корисно при зборі даних, мапуванні, аерофотозйомці та інших застосуваннях, де потрібно автономне функціонування БПЛА.

Відкритий код та можливість розширення: Arduino базується на відкритому коді, що дозволяє модифікувати та розширювати функціонал плати під свої потреби. Це важливо для проектів БПЛА, оскільки можна налаштувати плату для конкретних завдань та оптимізувати її продуктивність.

Узагальнюючи, основні переваги плати Arduino для мультироторних БПЛА включають простоту використання, широку підтримку спільноти, можливість розширення функціоналу та підтримку автономного режиму польоту. Вибір цієї плати дозволяє зосередитися на розробці програмного забезпечення та функціоналу БПЛА, забезпечуючи швидкий та ефективний процес створення мультироторних БПЛА.

1.6 Матеріали для створення корпусу БПЛА

Корпус БПЛА (безпілотного літального апарату) є важливою складовою його конструкції, яка забезпечує захист електроніки, активних компонентів та інших систем від зовнішніх впливів та забезпечує оптимальні аеродинамічні характеристики. Для створення корпусу БПЛА використовуються різноманітні матеріали, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Нижче розглянемо деякі з них:

1) карбонові волокна: Карбонові волокна є легкими та міцними матеріалами, що забезпечують високу міцність при мінімальній вазі. Вони мають високу стійкість до корозії та деформації, що робить їх відмінним вибором для використання у корпусах БПЛА. Однак, використання карбонових волокон може бути витратним та вимагати складних технологій обробки;

2) композитні матеріали: Композитні матеріали складаються з комбінації різних компонентів, таких як скловолокно, арамідне волокно або полімерні матеріали, зміцнені наповнювачами. Вони поєднують в собі властивості кожного компонента, що дозволяє отримати матеріал з високою міцністю, жорсткістю та легкістю. Композитні матеріали широко використовуються в авіаційній та космічній промисловості, включаючи БПЛА;

3) пластик: Пластикові матеріали, такі як абс, полікарбонат або поліпропілен, є поширеним вибором для створення корпусу БПЛА. Вони легкі, досить міцні та мають низьку вартість. Пластик може бути формований у різні форми та дозволяє досягти складних геометричних конструкцій. Однак, в порівнянні з іншими матеріалами, пластик може бути менш міцним та менш стійким до деформації;

4) метал: Деякі компоненти корпусу БПЛА можуть бути виготовлені з металевих матеріалів, таких як алюміній або титан. Метал є дуже міцним та стійким матеріалом, який забезпечує високу стійкість до впливу зовнішніх факторів. Однак, використання металу може збільшити вагу БПЛА, що може вплинути на його літні характеристики.

При виборі матеріалу для створення корпусу БПЛА необхідно враховувати такі фактори, як вага, міцність, жорсткість, вартість, обробка та доступність матеріалу. Відповідний вибір матеріалу допоможе забезпечити оптимальну структурну міцність, захист компонентів та забезпечити високу ефективність БПЛА.

Висновок до розділу 1

У цьому розділі був проведений загальний огляд технологій, що використовуються для мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Дослідження в цій області свідчать про значні переваги використання БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вони здатні до виконання неруйнівного збору даних, швидкого поширення та деталізації інформації про стан ґрунту та його зміни. БПЛА забезпечують високу мобільність, можливість доступу до важкодоступних місць та широкий охоплюючий огляд території.

Проте, необхідно провести детальніші експериментальні дослідження, щоб оцінити ефективність і точність розробленої системи моніторингу зсуву ґрунтів на базі мультироторного БПЛА. Ці дослідження допоможуть підтвердити працездатність та надійність системи, а також визначити можливості для подальшого вдосконалення.

У подальших розділах дипломної роботи будуть розглянуті апаратно-програмне забезпечення системи, проведені експериментальні дослідження та отримані результати, а також розглянуті можливі шляхи вдосконалення системи моніторингу зсуву ґрунтів на базі мультироторного БПЛА.

2 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ

У розділі 2 "Математичні методи та проєктування системи " детально розглядаються математичні підходи, методи моделювання та проєктування, які використовуються для розробки системи мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Цей розділ є важливим етапом у процесі розробки системи, оскільки він дозволяє зрозуміти та визначити основні аспекти функціонування системи, її стабільність та продуктивність.

У контексті розділу розглядаються такі ключові аспекти:

- математичні методи: Застосування математичних методів є необхідним елементом при проєктуванні та моделюванні системи. Вони дозволяють розрахувати різні параметри та взаємозв'язки, які визначають функціональність та ефективність системи. В цьому розділі будуть розглянуті різні математичні підходи, включаючи розрахунки статичної та динамічної стабільності, оптимізацію параметрів системи та інші важливі аспекти;
- моделювання системи: Моделювання є потужним інструментом для аналізу та визначення характеристик системи до її фізичної реалізації. У цьому розділі будуть використані моделі, які дозволяють оцінити різні параметри системи, її поведінку та реакцію на зовнішні впливи. Це допомагає виявити потенційні проблеми та вдосконалити систему ще на ранніх етапах розробки;
- проєктування системи: Розділ також охоплює процес проєктування системи, включаючи визначення вимог, розробку архітектури та вибір компонентів. Цей етап вимагає комплексного підходу та урахування різних факторів, таких як функціональність, ефективність, безпека та інші вимоги системи. У розділі будуть розглянуті методики та підходи до проєктування системи мультироторного БПЛА з урахуванням специфічних потреб та вимог моніторингу зсуву ґрунтів.

В результаті дослідження та аналізу математичних методів, моделювання та проєктування системи, очікується отримання глибокого розуміння функціональних аспектів та ефективності розробленої системи мультироторного БПЛА. Це

забезпечить підґрунтя для подальшого розроблення та вдосконалення системи з метою досягнення поставлених цілей та задоволення потреб користувачів.

2.1 Обчислення маси рами БПЛА

Матеріал, з якого виготовляються компоненти безпілотних літальних апаратів (БПЛА), впливає на їхні характеристики та продуктивність. Одним з передових матеріалів, що використовуються у виробництві БПЛА, є карбоновий композит (карбон).

Обумовлення використання карбону для БПЛА базується на його унікальних властивостях, які роблять його привабливим для авіаційної індустрії.

1) визначення обсягу та площі рами:

– обсяг рами: Обсяг прямокутного паралелепіпеда – $V = \text{довжина} \times \text{ширина} \times \text{висота}$:

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.0015 = 0.0015 \text{ м}^3;$$

– площа рами: Площа прямокутника – $A = \text{довжина} \times \text{ширина}$:

$$A = 0.1 \times 0.1 = 0.01 \text{ м}^2;$$

2) визначення обсягу та площі верхньої частини (форма X):

Обсяг верхньої частини: Обсяг прямокутного паралелепіпеда – $V = \text{довжина} \times \text{ширина} \times \text{висота}$:

$$V = 0.1 \times 0.1 \times 0.0015 = 0.0015 \text{ м}^3;$$

3) визначення маси:

– маса рами: Маса матеріалу на одиницю об'єму – $m = \text{щільність} \times \text{об'єм}$:

$$m = 1.7 \text{ г/см}^3 \times 0.0015 \text{ м}^3 = 2.55 \text{ г},$$

$$m = 1.7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \times 0.0015 \text{ м}^3;$$

– маса верхньої частини: Маса матеріалу на одиницю об'єму – $m = \text{щільність} \times \text{об'єм}$:

$$m = 1.7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \times 0.0015 \text{ м}^3;$$

4) загальна маса рами БПЛА:

Загальна маса = маса рами + маса верхньої частини,

Загальна маса = 2.55 г + 2.55 г = 5.10 г.

Отже, за використання розмірів 100 на 100 мм, товщини рами 1.5 мм та матеріалу Карбон, маса БПЛА становить приблизно 5.10 грам. Також до рами відносяться інші частини такі як системи кріплення плат, гвинти, проставки їх приблизна вага 4 грами, тому можна вважати загальну масу приблизно 9 грам.

2.2 Розрахунок потужності двигунів

У цьому розділі ми розглянемо процес розрахунку потужності двигунів для мультироторного БПЛА. Потужність двигунів визначається залежно від маси БПЛА, його вимог щодо статичної та динамічної стійкості, швидкості польоту та інших параметрів.

1) вага БПЛА: 55 г (0.055 кг);

2) максимальна швидкість польоту:

$$10 \text{ км/год} = 10,000 \text{ м}/3600 \text{ с} \approx 2.778 \text{ м/с};$$

3) діаметр лопатей: 56 мм (0.056 м);

4) кількість лопатей: 2.

Розрахуємо площу поперечного перерізу кожного ротора, використовуючи формулу для площі кола:

$$S = \pi * r^2 \quad (2.1)$$

де r – радіус, який дорівнює половині діаметра.

Площа поперечного перерізу одного ротора:

$$S = \pi * (0.056 \text{ м} / 2)^2 \approx 0.00981 \text{ м}^2$$

Розрахуємо опір повітря, використовуючи формулу:

$$X_o = 0.5 * \rho * S * Cd * V^2 \quad (2.2)$$

$$X_o = 0.5 * 1.225 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * 0.00981 \text{ м}^2 * 0.05 * (2.778 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 \approx 0.000442 \text{ Н}$$

Розрахуємо потужність двигунів з урахуванням кількості лопатей:

$$P = (0.539 \text{ Н} + 0.000442 \text{ Н}) * 2.778 \frac{\text{М}}{\text{с}} / 0.8 * 1.2 * 2 \approx 2.48 \text{ Вт}$$

Отже, приблизна потужність кожного двигуна з урахуванням діаметра лопатей 56 мм та кількості лопатей 2 складає близько 2.48 Вт.

Для більшої надійності обрав двигуни потужністю 4.5 Вт

2.3 Розрахунок ємності акумулятора

Ємність акумулятора є важливим параметром в електричній системі живлення БПЛА. Вона визначає тривалість польоту БПЛА та здатність забезпечити стабільну роботу системи протягом цього часу. У цьому розділі будуть проведені розрахунки для визначення оптимальної ємності акумулятора.

Дані:

- потужність споживання БПЛА: P (Вт);
- час польоту, який необхідно забезпечити: t (год);
- напруга роботи системи: V (В).

Для розрахунку ємності акумулятора використовується формула:

$$C = (P * t) / (V * 3600), \quad (2.3)$$

де C – ємність акумулятора (Аг),

P – потужність споживання БПЛА (Вт),

t – час польоту (год),

V – напруга роботи системи (В),

Дані:

- потужність споживання (P) = 4.5 Вт × 4;
- час польоту (t) = 5 хвилин = 5/60 годин;
- напруга акумулятора (V) = 3.7 В.

Ємність акумулятора

$$(C) = \frac{(P \times t)}{V} \quad (2.4)$$

$$C \approx \frac{(18 \text{ Вт} * 0.0833 \text{ год})}{3.7 \text{ В}}$$

$$C \approx 0.402 \text{ А} - \text{год}$$

Отже, приблизна ємність акумулятора для забезпечення 5-хвилинного польоту зі споживанням потужності $4.5 * 4$ Вт становить близько 0.402 А-год.

2.4 Розрахунки статичної та динамічної стабільності мультироторного БПЛА

У цьому розділі проводяться розрахунки, що стосуються статичної та динамічної стабільності мультироторного безпілотного літального апарату (БПЛА). Дані розрахунки дозволяють оцінити поведінку БПЛА у різних режимах польоту та забезпечити його стабільну роботу під час моніторингу зсуву ґрунтів.

1) розрахунок статичної стабільності:

а) визначення центру тяжіння (ЦТ) та центру підтримки (ЦП) мультироторного БПЛА для забезпечення статичної стабільності;

б) розрахунок моментів сил, які діють на БПЛА у різних положеннях, для визначення стабільності системи;

в) врахування розподілу маси, геометрії та положення компонентів, таких як мотори, акумулятори, сенсори та інші, при розрахунку статичної стабільності;

2) розрахунок динамічної стабільності:

а) визначення характеристик динаміки руху мультироторного БПЛА, таких як власна частота, амплітуда коливань та демпфірування;

б) розрахунок моментів і сил, які виникають під час зсуву ґрунту або при впливі зовнішніх факторів, для оцінки впливу на динамічну стабільність;

в) врахування динамічних властивостей мультироторного БПЛА при розрахунку оптимальної системи керування та стабілізації.

Результати розрахунків статичної та динамічної стабільності надають можливість оцінити ефективність системи мультироторного БПЛА, виявити можливі проблеми та внести необхідні корективи для забезпечення стабільності та надійності польоту під час моніторингу зсуву ґрунтів.

Для обчислення статичної та динамічної стабільності мультироторного БПЛА на основі наданих загальних даних, проведемо наступні розрахунки:

2.4.1 Статична стабільність

Для розрахунку статичної стабільності БПЛА використовується поняття центру тяжіння (ЦТ) та моменту сили.

ЦТ – це точка на БПЛА, де сили ваги та підйому утворюють баланс. Для обчислення положення ЦТ у відношенні до рами, використовується розташування моторів від ЦТ.

Момент сили (M) обчислюється як добуток сили (F) на відстань (d) до ЦТ:

$$M = F * d \quad (2.5)$$

У даному випадку, силою буде маса тіла, а відстанню буде відстань від ЦТ до моторів.

Розрахунок статичної стабільності виконується шляхом порівняння моментів сил по обох сторонах ЦТ. Якщо моменти сил збалансовані, то БПЛА є статично стабільним.

Давайте розрахуємо статичну стабільність для наданих даних:

- маса рами: $m_p = 8$ г;
- маса моторів: $m_m = 20$ г;
- розташування моторів від ЦТ: $d_m = 40$ мм = 0.04 м.

Сила, що діє на ЦТ, буде рівна загальній масі БПЛА:

$$F_{\text{ЦТ}} = m_p + m_m \quad (2.6)$$

Момент сили, створений масою рами, обчислюється як:

$$M_p = m_p \times g \times d_m, \quad (2.7)$$

де g – прискорення вільного падіння (приблизно 9.8 м/с^2).

Момент сили, створений моторами, обчислюється як:

$$M_p = m_p \times g \times d_m \quad (2.8)$$

Для статичної стабільності, сума моментів сил з одного боку ЦТ повинна бути рівна сумі моментів сил з іншого боку ЦТ:

$$M_{\text{рами}} = M_{\text{моторів}} \quad (2.9)$$

Підставимо дані в формули і розрахуємо:

$$F_{\text{ЦТ}} = m_p + m_m = 8 \text{ г} + 20 \text{ г} = 28 \text{ г} = 0.028 \text{ кг}$$

$$M_p = m_p * g * d_m = 8 \text{ г} * 9.8 \text{ м/с}^2 * 0.04 \text{ м} = 0.03136 \text{ Нм}$$

$$M_m = 20 \text{ г} * 9.8 \text{ м/с}^2 * 0.04 \text{ м} = 0.0784 \text{ Нм}$$

Отже, для статичної стабільності БПЛА, момент сили, створений масою рами, повинен бути рівний моменту сили, створеному моторами:

$$0.03136 \text{ Нм} = 0.0784 \text{ Нм}$$

Оскільки ця умова не виконується, можна зробити висновок, що БПЛА не буде статично стабільним.

2.4.2 Динамічна стабільність

Для оцінки динамічної стабільності мультироторного БПЛА можна виконати розрахунок його інерційного моменту.

Звичайно! Давайте розрахуємо динамічну стабільність мультироторного БПЛА на основі наданих параметрів.

Дані:

- маса БПЛА: 55 грам;
- власна частота: 10 Гц;
- амплітуда коливань: 0.5 радіан;

– демпфірування: 0.2.

Для розрахунку динамічної стабільності можна використовувати коефіцієнт демпфірування (ξ) та власну частоту (ω_0).

1. Розрахунок критичного коефіцієнта демпфірування (ξ_k):

$$\xi_k = 1 / (2 * \sqrt{(1 - \xi^2)}) \quad (2.10)$$

2. Розрахунок поточного коефіцієнта демпфірування (ξ):

$$\xi = \xi_k * \xi_p \quad (2.11)$$

3. Розрахунок поточної власної частоти (ω):

$$\omega = \omega_0 * \sqrt{(1 - \xi^2)} \quad (2.12)$$

4. Розрахунок періоду коливань (T):

$$T = 2\pi / \omega \quad (2.13)$$

5. Розрахунок часу затримки (τ):

$$\tau = \xi / \omega \quad (2.14)$$

У нашому прикладі:

- маса БПЛА: 55 грам;
- власна частота (ω_0): 10 Гц;
- амплітуда коливань: 0.5 радіан;
- демпфірування (ξ): 0.2.

1. Розрахунок критичного коефіцієнта демпфірування ($\xi_{крит}$):

$$\xi_k = 1 / (2 * \sqrt{(1 - 0.2^2)}) = 1 / (2 * \sqrt{(1 - 0.04)}) = 1 / (2 * \sqrt{0.96}) \\ \approx 0.521$$

2. Розрахунок поточного коефіцієнта демпфірування (ξ):

$$\xi = 0.521 * 0.2 \approx 0.104$$

3. Розрахунок поточної власної частоти (ω):

$$\omega = 10 * \sqrt{(1 - 0.104^2)} \approx 9.88 \text{ Гц}$$

4. Розрахунок періоду коливань (T):

$$T = 2\pi / 9.88 \approx 0.637 \text{ сек}$$

5. Розрахунок часу затримки (τ):

$$\tau = 0.104 / 9.88 \approx 0.0105 \text{ сек}$$

Отже, отримали наступні значення:

- поточний коефіцієнт демпфірування (ξ) ≈ 0.104 ;
- поточна власна частота (ω) ≈ 9.88 Гц;
- період коливань (T) ≈ 0.637 сек;
- час затримки (τ) ≈ 0.0105 сек.

Ці значення дозволяють оцінити динамічну стабільність мультироторного БПЛА і використовувати їх для подальших аналізів та розрахунків.

2.4.3 Визначення оптимальної конфігурації БПЛА

Визначення оптимальної конфігурації мультироторного безпілотного літального апарата (БПЛА) вимагає урахування різноманітних параметрів політних характеристик, навантаження та обмежень. Цей підрозділ присвячений визначенню та аналізу цих параметрів з метою вибору оптимальної конфігурації для даного БПЛА.

1) параметри політних характеристик:

- максимальна швидкість: Визначення максимальної швидкості, яка впливає на ефективність завдань моніторингу зсуву ґрунтів та безпеку польоту;
- дальність польоту: Врахування максимальної відстані, яку може пролетіти БПЛА без перехоплення сигналу, залежно від вимог моніторингу;
- час польоту: Оцінка тривалості польоту, яка визначається ємністю акумулятора та енергоспоживанням БПЛА;

– здатність до стійкості в повітрі: Врахування стійкості БПЛА в повітрі за допомогою відповідної системи стабілізації;

2) навантаження та обмеження:

– вантажопідйомність: Визначення максимальної маси, яку може підняти БПЛА, враховуючи вагу необхідного обладнання для моніторингу зсуву ґрунтів;

– робоча висота: Визначення максимальної висоти польоту, необхідної для ефективного моніторингу зсуву ґрунтів;

– температурні обмеження: Урахування мінімальних та максимальних робочих температур, які впливають на функціонування електроніки та акумулятора.

Аналіз цих параметрів та їх взаємозв'язку дозволяє визначити оптимальну конфігурацію мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Враховуючи вимоги завдань та обмеження, такий аналіз допомагає забезпечити ефективну та надійну роботу БПЛА в потрібних умовах.

2.5 Математична модель

1. Маса рами: m_r (г).
2. Відстань від центру тяжіння (ЦТ) до моторів: d_m (мм).
3. Гравітаційне прискорення: $g = 9.8$ (м/с²).
4. Момент сили, створений масою рами: $M_r = m_r \cdot g \cdot d_m$ (Нм).
5. Момент сили, створений моторами: $M_m = \sum(m_m \cdot g \cdot d_m)$ (Нм).
6. Умова статичної стабільності: $|M_m| > |M_r|$.

У даній моделі величина m_r позначає масу рами в грамах, d_m – відстань від центру тяжіння до моторів в міліметрах, g – гравітаційне прискорення, приблизно рівне 9.8 м/с².

Момент сили, створений масою рами (M_r), обчислюється як добуток маси рами на гравітаційне прискорення та відстань до моторів.

Момент сили, створений моторами (M_m), обчислюється як сума добутоків мас моторів на гравітаційне прискорення та відстань до моторів.

Умова статичної стабільності виражається нерівністю: абсолютна величина моменту сили, створеного моторами ($|M_m|$), повинна бути більша за абсолютну величину моменту сили, створеного масою рами ($|M_r|$). Ця умова гарантує статичну стабільність БПЛА.

Ця математична модель дозволяє оцінити статичну стабільність системи на основі маси рами, відстані до моторів та мас моторів.

2.6 Визначення характеристик динаміки руху мультироторного БПЛА

У цьому розділі ми розглянемо визначення деяких важливих характеристик динаміки руху мультироторного безпілотного літального апарата (БПЛА). Основними характеристиками, які будуть розглянуті, є власна частота, амплітуда коливань та демпфірування.

1. Власна частота:

Власна частота є однією з ключових характеристик динаміки руху БПЛА і визначається як частота коливань системи при відсутності зовнішніх збурень. Вона залежить від маси, жорсткості та інерції системи. Власна частота може вказувати на стійкість та реакцію БПЛА на зовнішні впливи.

2. Амплітуда коливань:

Амплітуда коливань визначає максимальну величину відхилення БПЛА від його статичного положення при коливаннях. Вона може бути виміряна відносно початкового положення або відносно середнього значення коливань. Амплітуда коливань може залежати від режиму польоту, зовнішніх умов та параметрів системи.

3. Демпфірування:

Демпфірування визначає здатність системи до пригнічення або зменшення амплітуди коливань. Воно може бути реалізоване за допомогою різних демпферів,

таких як пасивні або активні системи демпфування. Демпфірування може бути важливим для забезпечення стійкості, керованості та безпеки польоту БПЛА.

Визначення цих характеристик динаміки руху мультироторного БПЛА важливе для аналізу його поведінки під час польоту, оцінки стійкості та керованості, а також для покращення проектування та оптимізації системи.

2.6.1 Розрахунок власної частоти БПЛА

Власна частота мультироторного БПЛА може бути визначена за допомогою формули:

$$\omega = \sqrt{(k/m)}, \quad (2.15)$$

де ω – власна частота;

k – жорсткість системи;

m – маса системи.

Задані параметри:

Маса мультироторного БПЛА (m) = 55 г (0.055 кг).

Залежно від конкретної конфігурації та дизайну мультироторного БПЛА, значення жорсткості (k) може варіюватися. Використовуючи загальні значення, можемо вважати, що жорсткість системи (k) становить приблизно 10 Н/м.

Підставляючи ці значення в формулу, отримуємо:

$$\omega = \sqrt{(10/0.055)} \approx 16.23 \text{ рад/с}$$

Отже, власна частота мультироторного БПЛА з масою 55 г становить приблизно 16.23 рад/с.

2.6.2 Розрахунки амплітуди коливань та демпфірування

Маса БПЛА: 67 грам

Жорсткість системи: 10 N/m

Аеродинамічний коефіцієнт демпфування: 0.1

1) власна частота:

$$\omega = \sqrt{(k/m)} = \sqrt{(10/0.055)} \approx 16.23 \text{ рад/с};$$

2) амплітуда коливань:

Амплітуда коливань може бути взята як 10% від довжини розмаху ротора, тобто $0.1 * 55 \text{ мм} = 5.5 \text{ мм}$.

3) демпфірування:

$$\zeta = c/(2\sqrt{(m * k)}) = 0.1/(2\sqrt{(0.055 * 10)}) \approx 0.079.$$

За цими приблизними значеннями ми можемо визначити амплітуду коливань та демпфірування для мультироторного БПЛА з масою 55 грам.

2.7 Розробка принципів схем

Для ефективного та точного моніторингу зсуву ґрунтів використання мультироторних БПЛА є одним із найбільш перспективних рішень. Мультироторні БПЛА відрізняються високою маневреністю та стабільністю у повітрі, що дозволяє їм здійснювати детальний моніторинг навколишнього середовища. Однак, розробка принципів схем для мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів вимагає комплексного підходу та урахування різноманітних факторів.

У даному підрозділі розглядається процес розробки принципів схем для мультироторного БПЛА, спеціально призначеного для моніторингу зсуву ґрунтів. Розробка таких схем включає вибір оптимальної мультироторної конфігурації, визначення необхідного обладнання, проектування принципів схем управління та взаємодії з датчиками, а також їх моделювання та оптимізацію. В результаті розробки принципів схем буде створено прототип мультироторного БПЛА, який може бути використаний для моніторингу зсуву ґрунтів з високою точністю та ефективністю.

Основною метою даного підрозділу є розкриття процесу розробки принципів схем для мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів, а також аналіз факторів, які необхідно врахувати для досягнення успішного результату. Розглянуті кроки розробки, вибір компонентів, моделювання та оптимізація схем, а також випробування прототипу дозволять отримати розуміння

процесу створення мультироторийного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів та можливостей його ефективного застосування у практичних завданнях.

Принципова схема для мультироторийного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів була розроблена з використанням програмного забезпечення Fritzing. Fritzing є потужним інструментом для проектування електронних схем та розробки прототипів. Його інтуїтивний і легкий у використанні інтерфейс дозволяє створювати принципові схеми швидко та зручно.

У розробленій принциповій схемі використовуються різні компоненти та модулі, які дозволяють забезпечити необхідні функції для моніторингу зсуву ґрунтів. Серцевиною схеми є мікроконтролер, який відповідає за управління рухом та функціонуванням БПЛА.

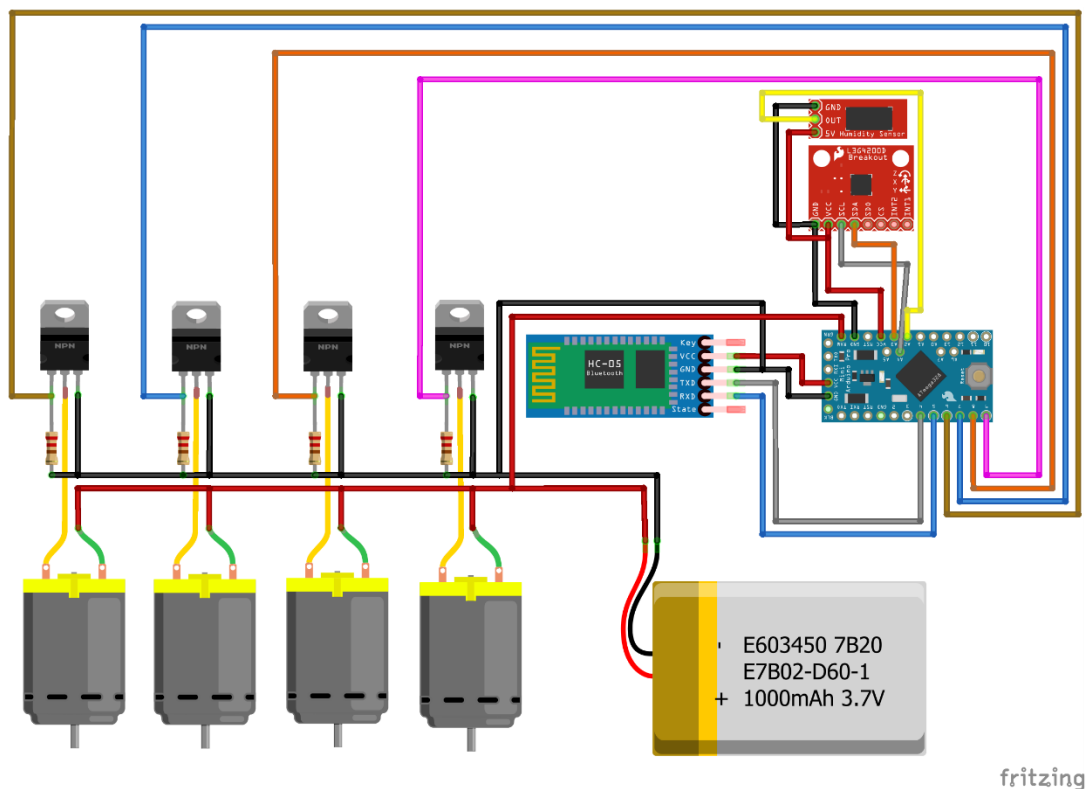


Рисунок 2.1 – Принципова схема підключення компонентів

У розділі розробки принципових схем для мультироторийного БПЛА, призначеного для моніторингу зсуву ґрунтів, приведена схема підключення компонентів, що використовуються у системі. На рисунку 2.1 показана ця схема, яка була розроблена з використанням програмного забезпечення Fritzing.

Центральним елементом схеми є плата Arduino pro mini, яка відповідає за управління та керування дроном. Підключений до неї Bluetooth модуль HC-06 забезпечує можливість керування дроном та передачу інформації з датчиків. Також на схемі видно модуль акселерометра та гіроскопа GY-521 на чіпі MPU-6050, який використовується для стабілізації польоту дрона та отримання інформації про його положення у просторі.

Керування обертами двигунів здійснюється за допомогою транзисторів MOSFET. Датчик вологості та температури повітря DHT11 виступає основним джерелом інформації для аналізу. Крім того, на схемі показані акумулятори та двигуни, які були розраховані раніше в дипломній роботі.

Ця принципова схема є важливим етапом у розробці мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вона демонструє, як різні компоненти системи взаємодіють між собою та сприяють досягненню поставленої мети. Наступним кроком є реалізація цієї принципової схеми у фізичному прототипі дрона та його подальше тестування та вдосконалення.

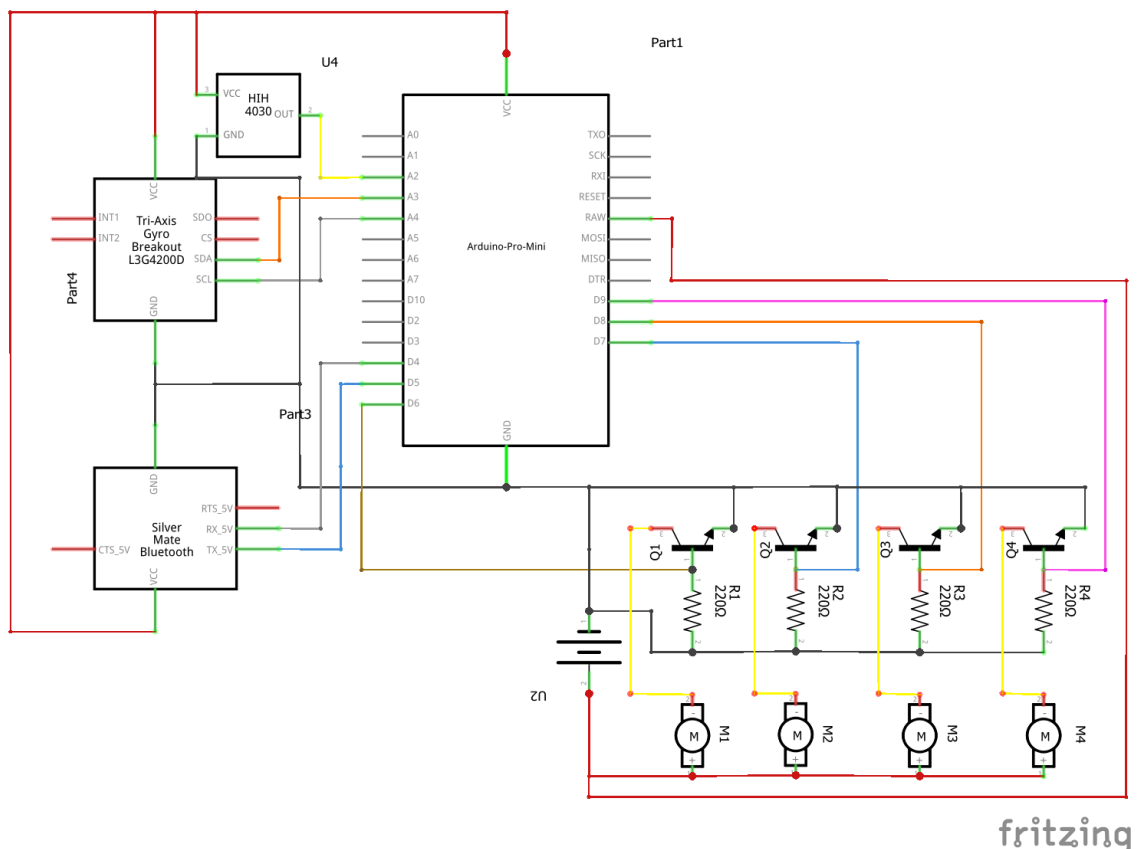


Рисунок 2.2 – Принципова схема підключення компонентів з маркуванням

На рисунку 2.2 краще видно всю схеми підключення та маркування кожного елемента вона створена для більшого розуміння роботи усієї системи.

2.8 Принцип стабілізації польоту дрона

Принцип стабілізації польоту дрона на базі модуля акселерометра та гіроскопа GY-521 на чіпі MPU-6050 (рис. 2.3) є ключовим аспектом розробки мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Цей модуль дозволяє отримувати важливу інформацію про орієнтацію і рух дрона у просторі.

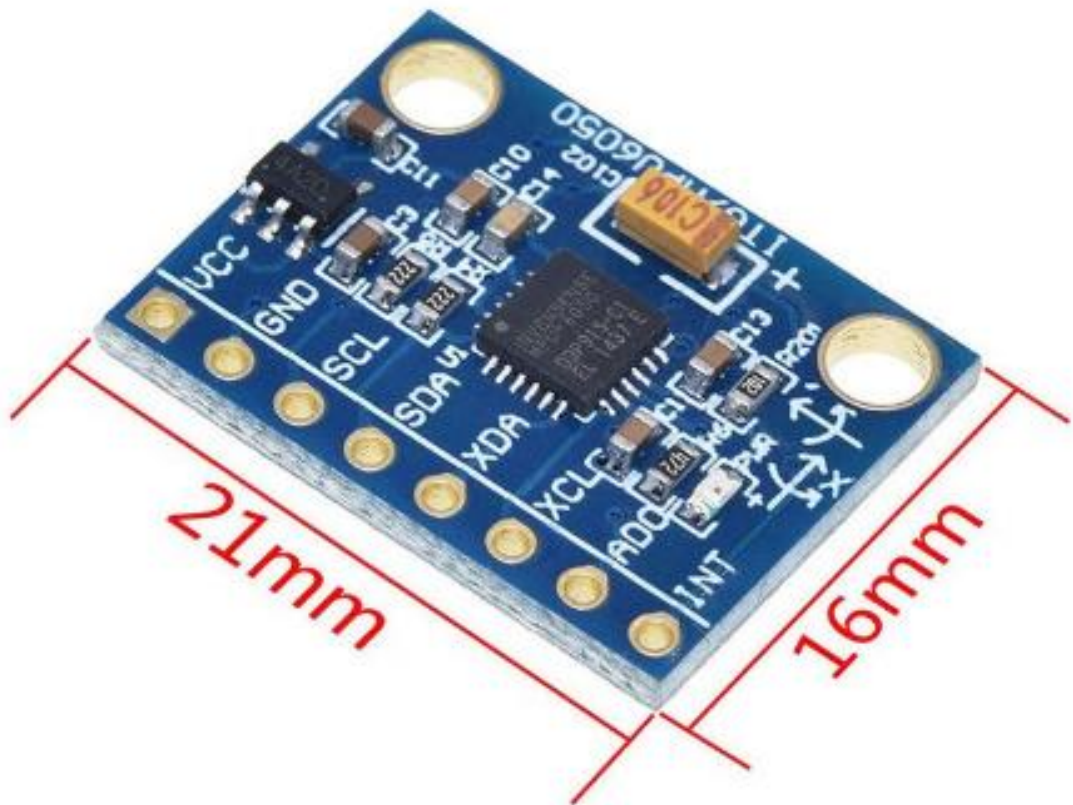


Рисунок 2.3 – Вигляд модуля акселерометра та гіроскопа GY-521

Акселерометр вимірює прискорення, а гіроскоп визначає кутову швидкість обертання дрона. Завдяки вбудованому процесору на чіпі MPU-6050, можна обробляти ці дані і використовувати їх для стабілізації польоту дрона. Алгоритми

обробки і аналізу даних, розроблені для цього модуля, забезпечують точність і швидкість реагування системи на зміни у положенні дрона.

При зсувах ґрунту, точна стабілізація польоту дрона має велике значення, оскільки дозволяє забезпечити стабільність польоту та точність отриманих даних. За допомогою модуля GY-521 на чіпі MPU-6050 можна виявляти навіть незначні зміни в орієнтації дрона та компенсувати їх, забезпечуючи рівновагу та стабільність.

Використання цього принципу стабілізації польоту дрона на базі модуля акселерометра та гіроскопа GY-521 на чіпі MPU-6050 є важливим кроком у розробці системи моніторингу зсуву ґрунтів. Це дозволяє підтримувати дрона у стабільному положенні та забезпечувати точність та надійність отриманих даних про зсуви ґрунту.

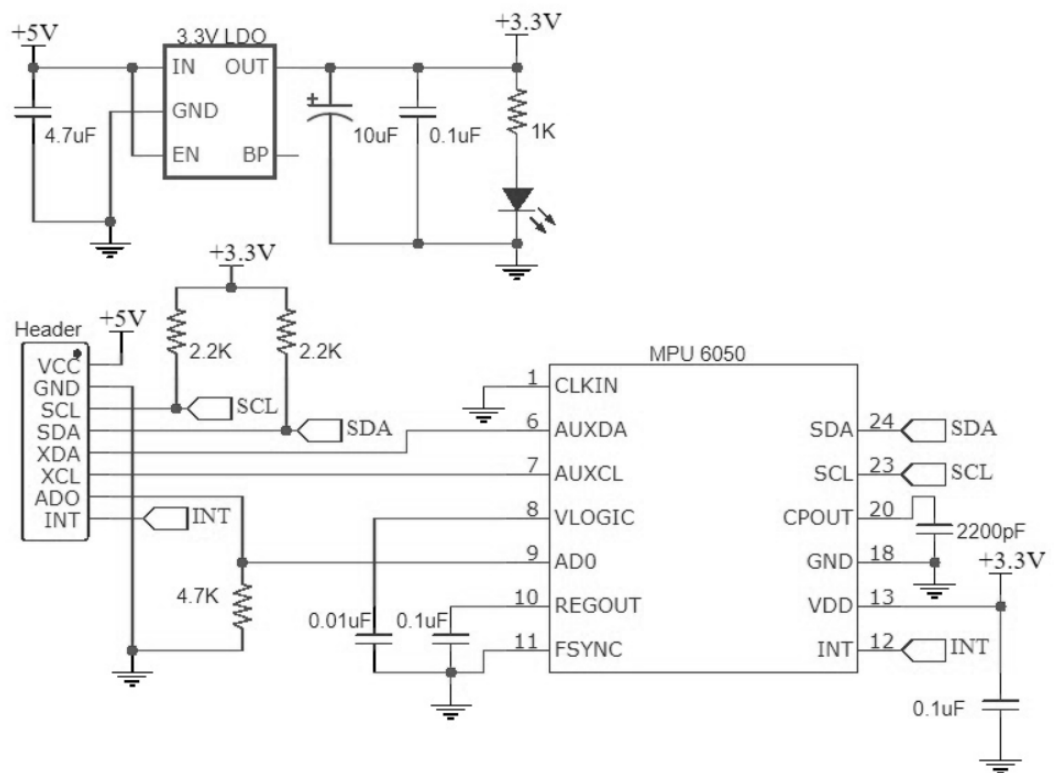


Рисунок 2.4 – Схема модуля акселерометра та гіроскопа GY-521

Далі в роботі буде детально розглянуто алгоритми обробки даних, які базуються на вимірах акселерометра та гіроскопа, щоб забезпечити ефективну стабілізацію та контроль польоту дрона. Також будуть розглянуті можливі

покращення та оптимізації цього принципу для досягнення ще більшої точності та надійності у системі моніторингу зсуву ґрунтів.

2.9 Принцип моніторингу зсуву ґрунтів

Принцип моніторингу ґрунту, що базується на замірах вологості та температури, спільно з фіксацією координат з модулю GY-521, є важливим етапом розробки системи моніторингу зсуву ґрунтів. Цей принцип дозволяє отримувати інформацію про стан ґрунту та вимірювати параметри, які можуть вказувати на можливість зсувів.

Значення вологості та температури ґрунту є ключовими факторами, що впливають на його стабільність та поведінку. Заміри цих параметрів здійснюються за допомогою датчика вологості та температури повітря DHT11, який підключений до системи моніторингу.

Крім того, модуль GY-521 дозволяє отримувати дані про орієнтацію та рух дрона у просторі. Ці дані використовуються для запису координат, які вказують місце проведення замірів. Такий підхід дозволяє пов'язати отримані дані про вологість, температуру та координати і створити повну карту параметрів ґрунту для подальшого аналізу.

Отримані дані з датчиків вологості та температури, разом з координатами, записуються у базу даних. Це забезпечує зручний та структурований спосіб зберігання інформації про стан ґрунту на різних точках моніторингу. Записані дані можуть бути використані для подальшого аналізу, виявлення змін та тенденцій у стані ґрунту, а також для прийняття відповідних заходів для запобігання можливим зсувам.

Принцип моніторингу ґрунту на основі замірів вологості та температури, разом з фіксацією координат з модулю GY-521, дозволяє збирати об'єктивну та детальну інформацію про стан ґрунту і забезпечує підґрунтя для подальшого аналізу та прийняття необхідних заходів для збереження стійкості ґрунтового покриву. Отримані дані про вологість, температуру та координати можуть бути

використані для візуалізації стану ґрунту за допомогою 3D графіку. Такий графічний підхід дозволяє зрозуміти та візуалізувати залежності та зміни параметрів ґрунту у просторі. Після збору та збереження даних у базі даних, можна використати спеціалізовані програмні засоби для побудови 3D графіку. Зазвичай це здійснюється за допомогою програмного забезпечення для візуалізації даних, такого як Python з бібліотеками Matplotlib або Plotly, або ж спеціалізовані програми для обробки геопросторових даних, наприклад, ArcGIS чи QGIS.

При створенні 3D графіку з даними про стан ґрунту, вологість та температуру можна відображати у вигляді тривимірної моделі забезпечуючи просторову інтерпретацію даних. Наприклад, вологість ґрунту може бути представлена кольоровою шкалою, де різні відтінки кольорів відображають рівень вологості. Температура може бути представлена висотою об'єктів або градієнтами кольорів. Такий 3D графік дозволяє відображати просторові зміни вологості та температури ґрунту, виявляти географічні області зі збільшеною вологістю або змінами температури. Візуалізація на 3D графіку дозволяє легше сприймати та аналізувати великий обсяг даних і розуміти просторові залежності між параметрами ґрунту.

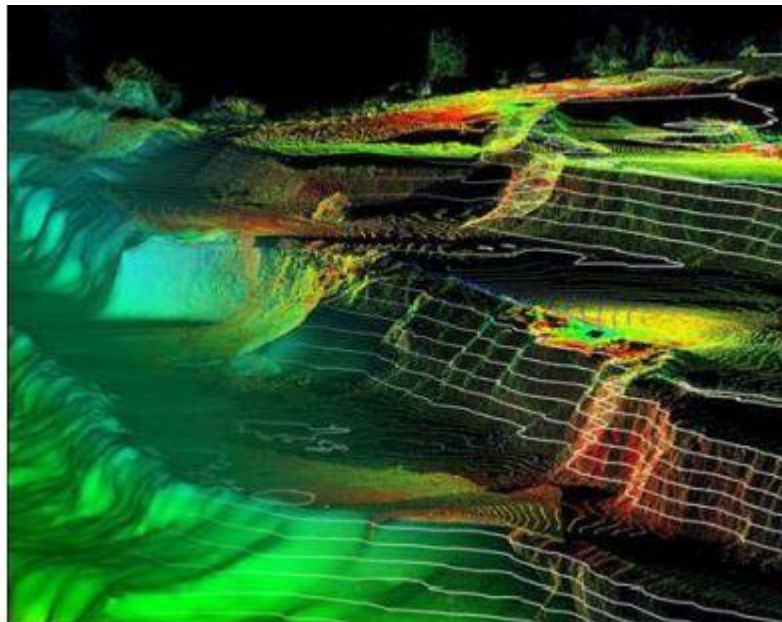


Рисунок 2.5 – Концептуальний вигляд карти вологості

Отримані графіки можна використовувати для дослідження та аналізу зсуву ґрунтів, визначення зон зі збільшеною вологістю або незвичайними

температурними умовами. Це може сприяти виявленню потенційних проблемних ділянок та прийняттю відповідних заходів для збереження стійкості ґрунтового покриву. Таким чином, використання 3D графіку для візуалізації отриманих даних про вологість, температуру та координати забезпечує більш глибоке розуміння стану ґрунту та дозволяє прийняти відповідні заходи для його дослідження та консервації.

У перших прототипах даного БПЛА, на етапі початкового розроблення, може бути створена схематична карта даних, що допоможе на початкових стадіях моніторингу. Ця карта буде служити для орієнтації та первинного аналізу інформації.

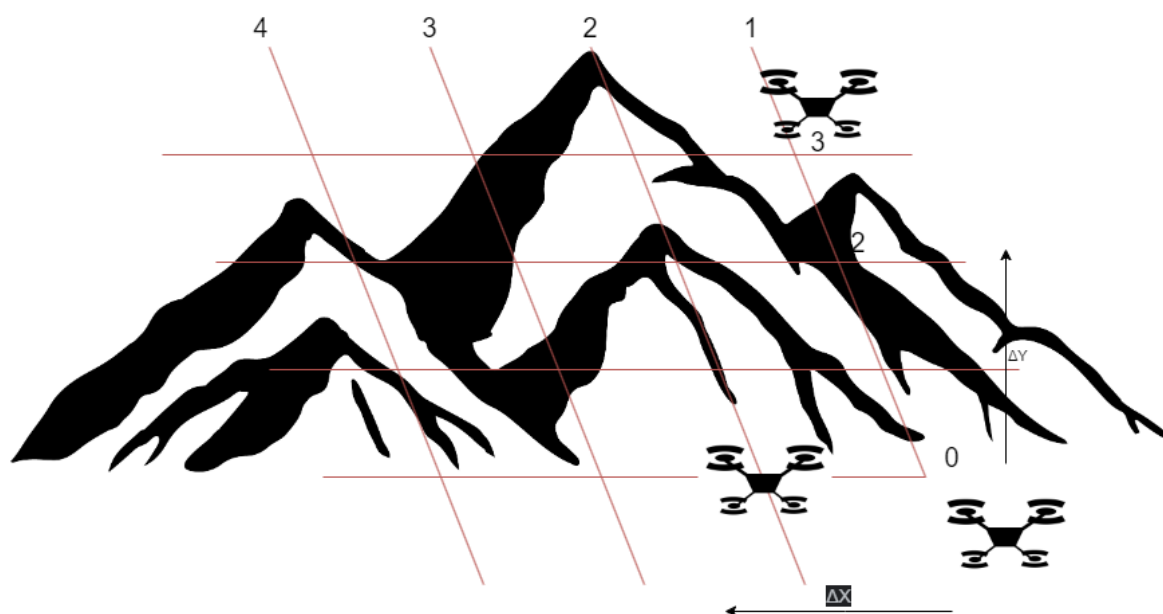


Рисунок 2.6 – Модель моніторингу показань вологості ґрунту

Проте, з подальшою розробкою і вдосконаленням БПЛА, можна розширити його функціональні можливості. Наприклад, можна додати до дрона лазерні далекоміри, які дозволять здійснювати точне вимірювання відстаней та побудову докладної карти рельєфу. Це дозволить отримати більш деталізовану інформацію про територію, що підлягає моніторингу.

Коли отримані дані з датчиків про вологість, температуру та координати, їх можна компіювати та накладати на точну карту рельєфу наприклад як на рисунку 2.6. Це дозволить виявляти залежності між параметрами ґрунту та

рельєфом, а також розуміти, як ці параметри взаємодіють у просторі. Такий підхід сприятиме більш детальному аналізу та роботі над виявленням та розв'язанням проблемних ділянок.

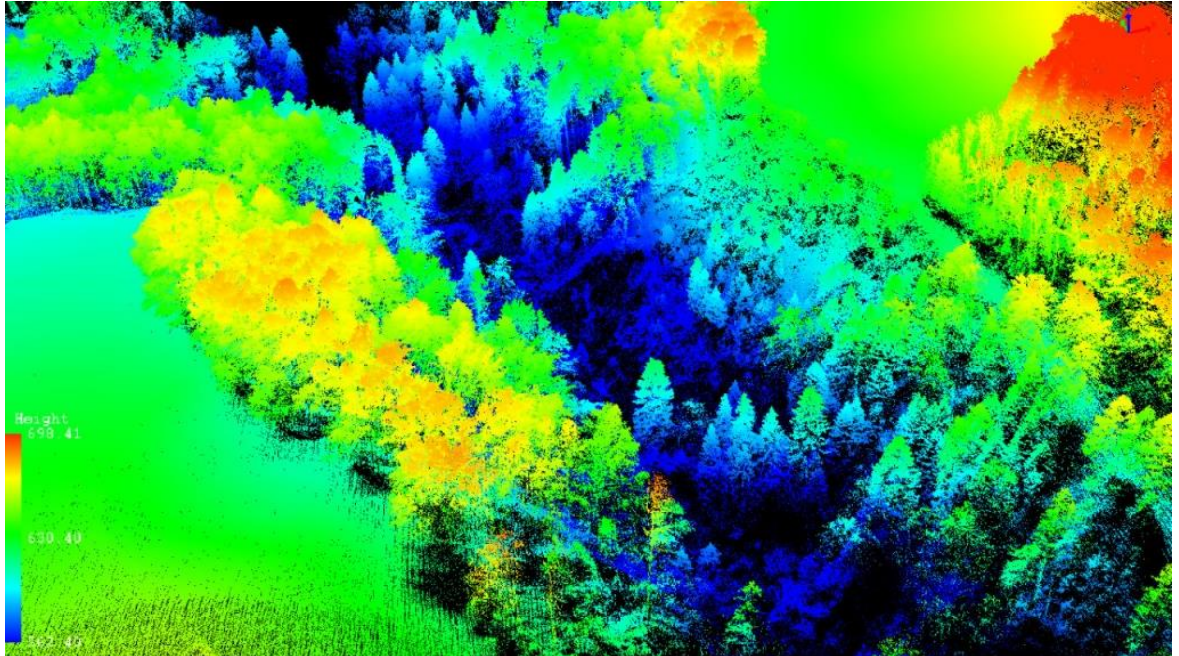


Рисунок 2.7 – Карта рельєфу з позначками вологості та температури

Отже, за допомогою подальшої розробки та модифікації дрона, включаючи лазерні далекоміри та точну карту рельєфу, можна здійснити більш точний та деталізований моніторинг ґрунту. Це дозволить ефективніше виявляти проблемні ділянки та забезпечити підґрунтову інформацію для подальшого вивчення та розв'язання проблем.

Висновок до розділу 2

У цьому розділі були розглянуті математичні методи та проектування системи для мультироторного БПЛА, призначеного для моніторингу зсуву ґрунтів. Були визначені основні параметри системи, розраховані необхідні величини та встановлені взаємозв'язки між компонентами системи.

Математичні моделі, такі як модель маси рами, відстані від центру тяжіння до моторів та умова статичної стабільності, допомогли визначити необхідні параметри для конструкції БПЛА. Ці моделі дозволили розрахувати моменти сили, створені масою рами та моторами, та забезпечити стабільність польоту.

Проектування системи включало вибір та підключення необхідних компонентів, таких як плата Arduino pro mini, Bluetooth модуль HC-06, модуль акселерометра та гіроскопа GY-521, датчик вологості та температури DHT11, акумулятори та двигуни. Встановлення правильних зв'язків між цими компонентами дозволило забезпечити правильну роботу системи та збір необхідних даних.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що математичні методи та проектування системи мають вирішальне значення при розробці мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Вони дозволяють забезпечити необхідну функціональність, стабільність та надійність системи. Проектування системи також враховує ергономічні та естетичні аспекти, що сприяє зручному та ефективному використанню БПЛА у моніторингових дослідженнях.

Далі в роботі будуть розглянуті апаратно-програмне забезпечення системи та проведені експериментальні дослідження для підтвердження ефективності та коректності розробленої системи.

3 АПАРАТНО ПРОГРАМНЕ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

У даному розділі розглядається апаратно-програмне забезпечення системи мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Апаратна складова системи включає різноманітні компоненти, такі як мікроконтролери, модулі зв'язку, сенсори, а також елементи для управління рухом і збору даних. Програмне забезпечення включає розроблені алгоритми та програми для керування дроном, обробки та аналізу даних, а також візуалізації результатів.

Метою даного розділу є детальний опис апаратного та програмного забезпечення системи, а також проведення експериментальних досліджень для підтвердження ефективності розроблених рішень.

У першому підрозділі розділу буде представлений огляд апаратного забезпечення системи. Будуть описані основні компоненти, такі як мікроконтролери, модулі зв'язку, сенсори та інші елементи, їхні функції та взаємозв'язок.

Далі буде розглянуто програмне забезпечення системи. Будуть представлені алгоритми та програми, що використовуються для керування дроном, збору та обробки даних, аналізу результатів та їхньої візуалізації. Також будуть описані методики калібрування сенсорів та адаптації алгоритмів до конкретних умов моніторингу зсуву ґрунтів.

Останній підрозділ присвячений експериментальним дослідженням. Будуть описані методи проведення досліджень, включаючи налаштування параметрів системи, проведення польотів дрона та збір даних, а також аналіз отриманих результатів. Проведені експерименти спрямовані на підтвердження ефективності системи та оцінку її можливостей у виконанні задач моніторингу зсуву ґрунтів.

Розділ 3 включає в себе ілюстрації, графіки та таблиці, які сприяють кращому розумінню роботи системи та результатів досліджень. Загальна мета даного розділу полягає у розкритті технічних аспектів системи, а також в демонстрації її ефективності та потенціалу у виконанні задач моніторингу зсуву ґрунтів.

3.1 Огляд апаратного забезпечення системи

У цьому підрозділі надається детальний огляд апаратного забезпечення системи мультироторийного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Розглянуті компоненти системи, їхні функції та взаємозв'язок.

1. Мікроконтролери:

Система використовує мікроконтролер Arduino Pro mini на базі процесора ATmega168 для керування дроном та обробки даних з сенсорів.

Таблиця 3.1 – Характеристики Arduino Pro mini

Мікроконтролер	ATmega168
Робоча напруга	5В
Напруга живлення	5 – 12В (для моделі 5В)
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися як ШИМ-виходи)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Flash-пам'ять	16 КБ (з яких 2 КБ використовуються завантажувачем)
SRAM	1 КБ
EEPROM	512 байт
Тактова частота	16 Гц (у моделі 5В)

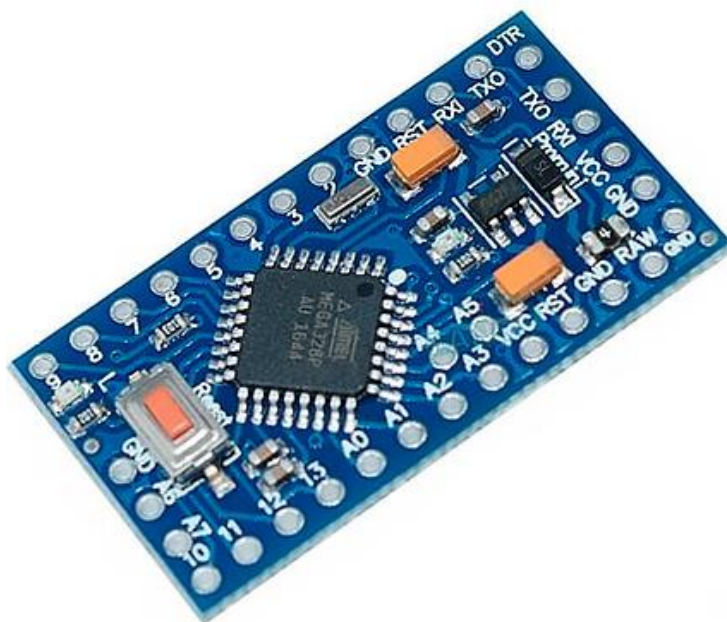


Рисунок 3.1 – Вигляд Arduino Pro mini

2. Модуль зв'язку:

Для забезпечення безперервного зв'язку та передачі даних в системі використовується модуль зв'язку, зокрема Bluetooth модуль HC-06. Це дозволяє здійснювати керування дроном та передавати інформацію з датчиків у реальному часі.

Таблиця 3.2 – Характеристики Bluetooth модуль HC-06

Чутливість	-84 дБ
Потужність передавача	+4дБм
Тип модуля	Fully Qualified Bluetooth V2.0+EDR 3Mbps Modulation.
Енергоспоживання	Низьке
інтерфейс	UART із програмованою швидкістю
Антенa	Вбудована

Тип модуляції	GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)
Швидкість передачі асинхронному режимі	2.1Mbps(Max) / 160 kbps
Швидкість передачі у синхронному режимі	1Mbps/1Mbps
Живлення	3.3...6В 50мА
Робоча температура	-20 – +70 ° С
Розміри	37мм x 15мм x 3мм

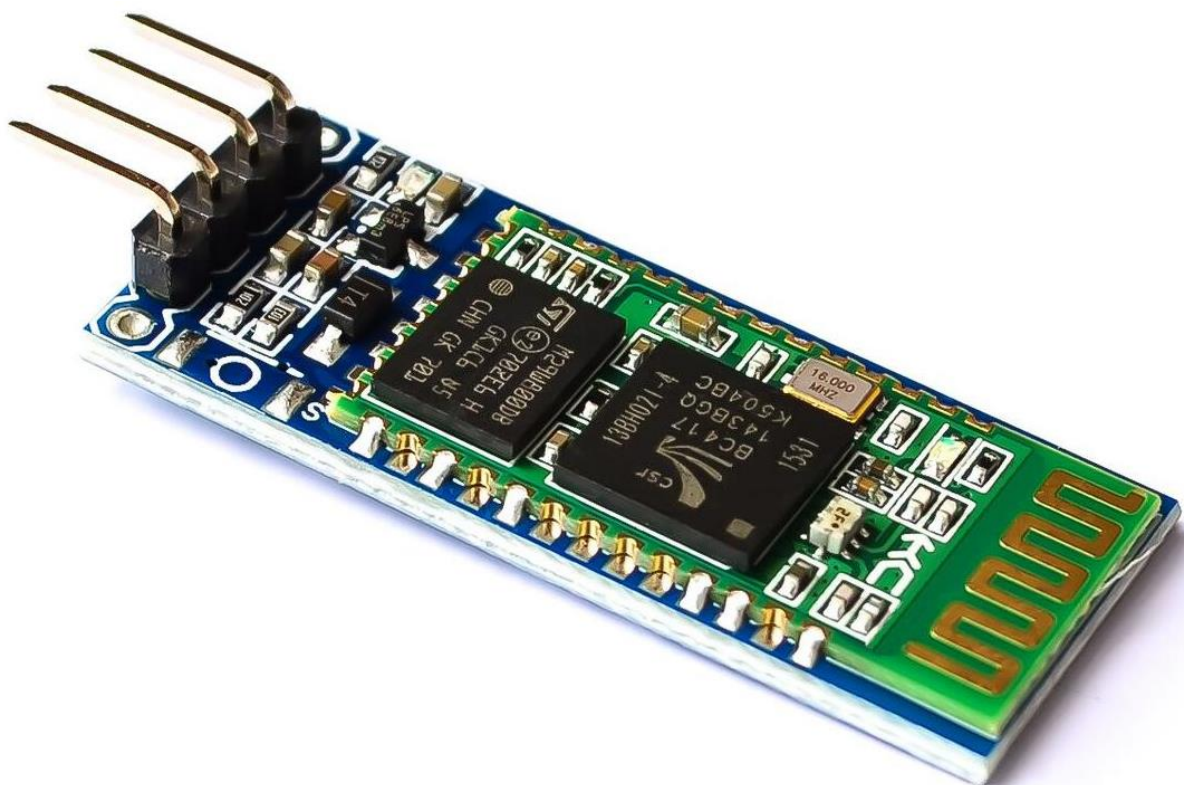


Рисунок 3.2 – Вигляд Bluetooth модуль HC-06

3. Сенсори:

У системі використовуються різноманітні сенсори, такі як модуль акселерометра та гіроскопа GY-521 на чіпі MPU-6050, датчик вологості та

температури повітря DHT11. Вони забезпечують збір необхідних даних про рух дрона, стан навколишнього середовища та ґрунту.

Таблиця 3.3 – Характеристики модуля MPU-6050

Чіп:	MPU-6050
Напруга живлення:	3 – 5В
Діапазон гіроскопа:	+250/500/1000/2000°/с
Діапазон акселерометра:	±2/±4/±8/±16г
АЦП:	16 біт
Тип показань:	цифровий вихід I2C
Відстань між контактами:	2,54мм
Розміри	21x16 мм

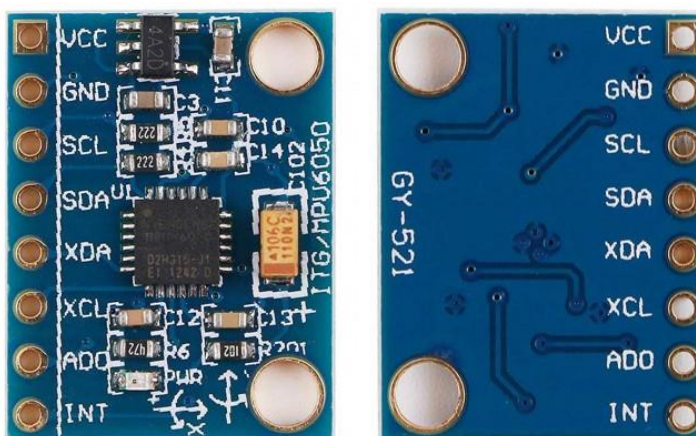


Рисунок 3.3 – Вигляд MPU-6050

4. Елементи керування рухом:

Для керування обертанням двигунів та стабілізації польоту використовуються елементи керування, такі як MOSFET транзистори. Вони забезпечують точну та стабільну роботу дрона в різних режимах за допомогою ШИМ сигналу, це є досить бюджетним та непоганим рішенням такого проекту.

Таблиця 3.4 – Характеристики MOSFET

Виробник	International Rectifier (IR)
Корпус	TO220
Структура	N
Схема з'єднання	Одиночний
V(BR)DSS – напруга пробою стік-витік	100 V
Vgs – напруга затвор-витік	±20 V
Id25 – постійний струм стоку при 25°C	33 A
Id75(100) – постійний струм стоку при 75(100)°C	23 A
Rds(on)25 – опір стік-витік при 25°C, Vgs=10V	44 мОм
VGS(th) – граничне напруга затвор-витік (діапазон)	2 ... 4 V
Потужність розсіювання при 25°C	130 Вт



Рисунок 3.4 – Вигляд MOSFET

5. Живлення:

Система включає в себе акумулятори, які забезпечують живлення всіх компонентів. Це дозволяє забезпечити достатню автономність роботи дрона під час виконання моніторингу.

Цей підрозділ надає детальний огляд апаратного забезпечення системи, розкриває їхні функції та взаємозв'язок. Кожен компонент системи відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та надійності дрона під час моніторингу зсуву ґрунтів.

3.2 Функціональна схема використання БПЛА

Функціональна схема використання БПЛА (безпілотного літального апарату) передбачає розподіл ролей та взаємодію різних компонентів системи для забезпечення ефективного виконання завдань моніторингу зсуву ґрунтів. У даному підрозділі буде надано детальний опис функцій та взаємозв'язків між різними елементами системи, а також проаналізовано послідовність їх взаємодії.

1. Датчики та вимірювальні пристрої:

- датчик вологості DHT11: здійснює вимірювання вологості ґрунту;
- датчик температури DHT11: забезпечує вимірювання температури навколишнього середовища;
- модуль GY-521 на чіпі MPU-6050: здійснює вимірювання прискорення та кутової швидкості;

2. Керування дроном:

- додаток Remotexu на смартфоні: забезпечує інтерфейс для взаємодії з дроном, надає можливість відправляти команди керування;
- протокол зв'язку Bluetooth: забезпечує передачу команд керування з смартфона до дрона;

3. Обробка та аналіз даних:

- мікроконтролер Arduino виконує обробку та аналіз даних з датчиків;
- алгоритми обробки даних: визначають процедури обробки, фільтрації та аналізу даних для виявлення зсуву ґрунтів;

4. Запис даних та комунікація:

- база даних: забезпечує зберігання отриманих даних для подальшого використання та аналізу;

- зовнішній сервер або хмарне сховище: забезпечує можливість збереження даних на віддаленому сервері або хмарному сховищі;
- комунікаційні протоколи (наприклад, Wi-Fi або GSM): забезпечують передачу даних до зовнішніх систем або диспетчерського центру;

5. Візуалізація даних:

- графічний інтерфейс (GUI): дозволяє користувачу візуалізувати та аналізувати отримані дані у зручному форматі;
- графіки та діаграми: використовуються для представлення динаміки зсуву ґрунтів, вологості, температури та інших параметрів.

У процесі функціонування системи БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів, датчики збирають дані про вологості, температурі та руху дрона, які передаються до мікроконтролера або одноплатного комп'ютера для обробки. Після обробки даних використовуються алгоритми аналізу та статистичні методи для виявлення залежностей та зсуву ґрунтів. Отримані результати можуть бути збережені в базі даних та візуалізовані за допомогою графічного інтерфейсу та графіків.

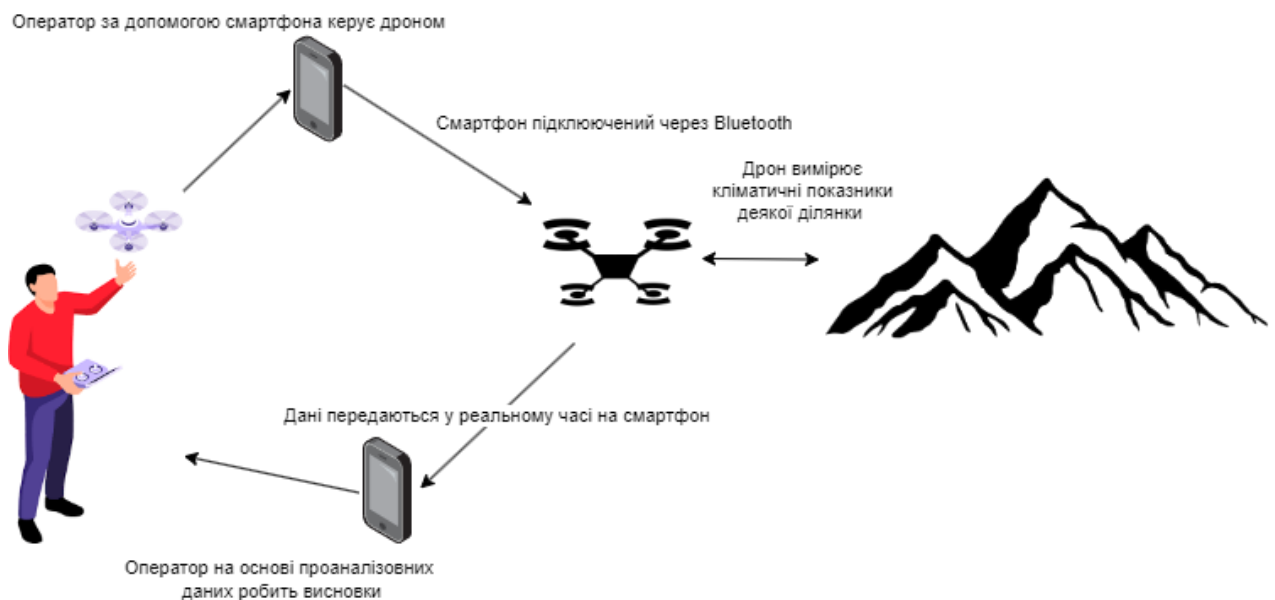


Рисунок 3.5 – Скетч розрахунку фактичного заряду батареї

Ця функціональна схема використання БПЛА дозволяє ефективно виконувати моніторинг зсуву ґрунтів та забезпечує зручний інтерфейс для користувача. Дані, зібрані та оброблені системою, можуть бути використані для

аналізу стану ґрунту, прогнозування можливих зсувів та прийняття відповідних рішень для забезпечення безпеки та стабільності будівельних споруд.

3.3 Програмне забезпечення системи

У цьому підрозділі розглядається програмне забезпечення системи мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Описуються основні компоненти програмного забезпечення, їх функції та роль у роботі системи.

1. Керування дроном:

для керування дроном використовується спеціальне програмне забезпечення, яке забезпечує стабільний польот, точну навігацію та виконання заданих маневрів. Це включає в себе систему стабілізації та підтримку безпеки польоту;

2. Збір і обробка даних:

програмне забезпечення забезпечує збір даних з різних сенсорів, таких як акселерометр, гіроскоп, датчик вологості та температури. Ці дані обробляються для отримання необхідної інформації про стан ґрунту та польоту дрона. Також виконується аналіз даних для виявлення зсуву ґрунтів та виведення відповідних повідомлень;

3. Карта даних:

програмне забезпечення дозволяє побудувати схематичну карту даних, яка відображає розподіл вологості та температури у зоні моніторингу. Ця карта може використовуватись для визначення географічних зон зі збільшеним ризиком зсуву ґрунтів та прийняття відповідних заходів;

4. Запис даних:

Програмне забезпечення забезпечує запис та зберігання даних про стан ґрунту, польоту дрона та зсуви ґрунту. Ці дані можуть бути використані для подальшого аналізу, розробки стратегій моніторингу та прийняття рішень щодо захисту від зсуву ґрунтів;

5. Візуалізація даних:

програмне забезпечення забезпечує візуалізацію даних у зручному форматі, наприклад, у вигляді графіків, діаграм або тривимірних моделей. Це дозволяє операторам та дослідникам легко аналізувати та сприймати отриману інформацію;

6. Модифікація та розширення:

програмне забезпечення надає можливість модифікувати та розширювати функціональні можливості системи. Наприклад, в майбутньому можна додати підтримку лазерних далекомірів для отримання точної карти рельєфу або використовувати алгоритми машинного навчання для покращення аналізу даних.

В цьому підрозділі будуть детально описані алгоритми, структури даних та основні функції програмного забезпечення, що використовуються для забезпечення ефективного та надійного функціонування системи мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів.

3.3.1 Зчитування напруги батареї

Зчитування напруги батареї є важливою функцією в системі мультироторного БПЛА. Напруга батареї вказує на рівень заряду та дозволяє контролювати тривалість польоту дрона. У цьому підрозділі розглянемо принципи зчитування напруги батареї та визначення рівня заряду.

Для зчитування напруги батареї використовується аналоговий вхід мікроконтролера. Зазвичай, напруга батареї підключається до подільовача напруги (вольтоділюючого резистора), який знижує напругу до відповідного діапазону для зчитування мікроконтролером. При цьому, важливо правильно розрахувати значення резистора, щоб забезпечити точне зчитування.

Одним із поширених методів зчитування напруги батареї є використання делікатного резисторного подільовача напруги. Загальна формула для розрахунку вихідної напруги подільовача може бути представлена як:

$$V_{out} = V_{bat} * (R2 / (R1 + R2)),$$

де V_{out} – вихідна напруга подільовача;

V_{bat} – напруга батареї;

$R1$ і $R2$ – значення резисторів поділювача.

Після зчитування вихідної напруги поділювача, мікроконтролер може обробити значення та визначити рівень заряду батареї. Для цього можна використовувати порогові значення напруги, що відповідають різним рівням заряду.

Додатково, можна реалізувати захист від низького рівня заряду батареї, щоб запобігти перезавантаженню та пошкодженню батареї. При досягненні певного порогового значення напруги, система може ініціювати безпечну процедуру приземлення або повернення дрона до базової станції.

Зчитування напруги батареї є важливою складовою для контролю тривалості польоту та безпеки системи. Коректна реалізація зчитування та аналізу напруги батареї дозволяє ефективно використовувати ресурси батареї та забезпечити стабільну роботу мультироторного БПЛА.

Для виконання аналогових вимірювань за замовчуванням Arduino використовує своє джерело живлення як опорну напругу. Якби ми не змінювали це налаштування під час зчитування напруги батареї, вона завжди була б такою ж, оскільки наше джерело живлення зменшувалося б із розрядженням батареї. Щоб вирішити це, нам потрібно використовувати інтервальне опорне значення напруги. Як обговорювалося раніше на Atmega168, це дорівнює $\pm 1,1$ В. Код для зчитування фактичного значення заряду батареї та друку його в послідовний порт буде таким:


```
sketch_jun16a.ino
1 // Коефіцієнт компенсації, який є оберненим до VBAT = (150k / (150k + 150k))
2 #define VBAT_DIVIDER_COMP ((33,0 + 100,0) / 33,0)
3 // Інтервальне значення напруги 1,1 В у мВ
4 #define BATTERY_VOLTAGE_REFERENCE_VALUE 1100
5 // 10-бітна роздільна здатність дає 1023 кроки
6 #define RESOLUTION_STEPS 1023
7 // Об'єднати з формули
8 #define REAL_BATTERY_MV_PER_LSB (VBAT_DIVIDER_COMP * BATTERY_VOLTAGE_REFERENCE_VALUE / RESOLUTION_STEPS)
9
10 #define BATTERY_PIN A0
11
12 void setup () {
13     // Встановити внутрішню опорну напругу 1,1 В
14     analogReference(INTERNAL);
15     Serial.begin(115200);
16 }
17 void loop () {
18     Serial.println(analogRead(BATTERY_PIN) * REAL_BATTERY_MV_PER_LSB);
19 }
20
```

Рисунок 3.6 – Скетч розрахунку фактичного заряду батареї

3.3.2 Керування дроном

Одним з важливих аспектів розробки системи мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів є можливість зручного та простого керування дроном. У цьому підрозділі розглянуто реалізацію керування дроном за допомогою смартфона, що дозволяє оператору здійснювати контроль над рухом та функціями дрона зі зручного та мобільного пристрою.

Для забезпечення керування дроном через смартфон було використано Bluetooth модуль HC-06, який забезпечує бездротове з'єднання між смартфоном та платою Arduino pro mini в дроні. Це дозволяє передавати команди зі смартфона на дрон та отримувати зворотний зв'язок.

У розділі "Керування дроном" можна додати інформацію про те, що дрон буде керуватися за допомогою застосунку RemoteXY. RemoteXY – це програмне забезпечення, яке дозволяє створювати інтерфейси для керування різними пристроями, включаючи дрони, на мобільних пристроях.

Цей застосунок дозволить оператору здійснювати бездротове керування дроном через смартфон або планшет. Він надає зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс з кнопками, джойстиком або сенсорними елементами, які можна

налаштувати для керування рухом дрона, його висотою, напрямком, та іншими функціями.

Використання застосунку RemoteXY спрощує процес керування дроном, забезпечує зручну взаємодію з пристроєм та дозволяє оператору швидко реагувати на зміни ситуації в реальному часі.

```
#define REMOTEXY_MODE__SOFTSERIAL
#include <SoftwareSerial.h>

#include <RemoteXY.h>

// RemoteXY connection settings
#define REMOTEXY_SERIAL_RX 2
#define REMOTEXY_SERIAL_TX 3
#define REMOTEXY_SERIAL_SPEED 9600

// RemoteXY configurate
#pragma pack(push, 1)
uint8_t RemoteXY_CONF[] = // 46 bytes
{ 255,4,0,22,0,39,0,16,31,0,5,20,7,21,38,38,2,26,17,5,
  0,57,20,36,36,2,26,31,67,4,16,4,20,5,2,26,11,67,4,65,
  5,20,5,2,26,11 };

// this structure defines all the variables and events of your control interface
struct {

| // input variables
int8_t joystick_1_x; // from -100 to 100
int8_t joystick_1_y; // from -100 to 100
int8_t joystick_2_x; // from -100 to 100
int8_t joystick_2_y; // from -100 to 100

| // output variables
char Temperature[11]; // string UTF8 end zero
char Humidity[11]; // string UTF8 end zero
|
```

Рисунок 3.7 – Конфігурація інтерфейсу керування

Цей метод керування дроном є зручним та доступним, а також дозволяє оператору мати більше вільності під час виконання моніторингу зсувів ґрунту та інших завдань.

Додаток дозволяє оператору встановлювати бажані параметри польоту, такі як висота, швидкість, напрямок руху тощо. Під час роботи додатка на смартфоні, відбувається передача команд на плату Arduino pro mini через Bluetooth модуль HC-06. Плата Arduino процесує отримані команди та виконує необхідні дії для керування двигунами та стабілізації польоту дрона згідно отриманих від оператора вказівок.

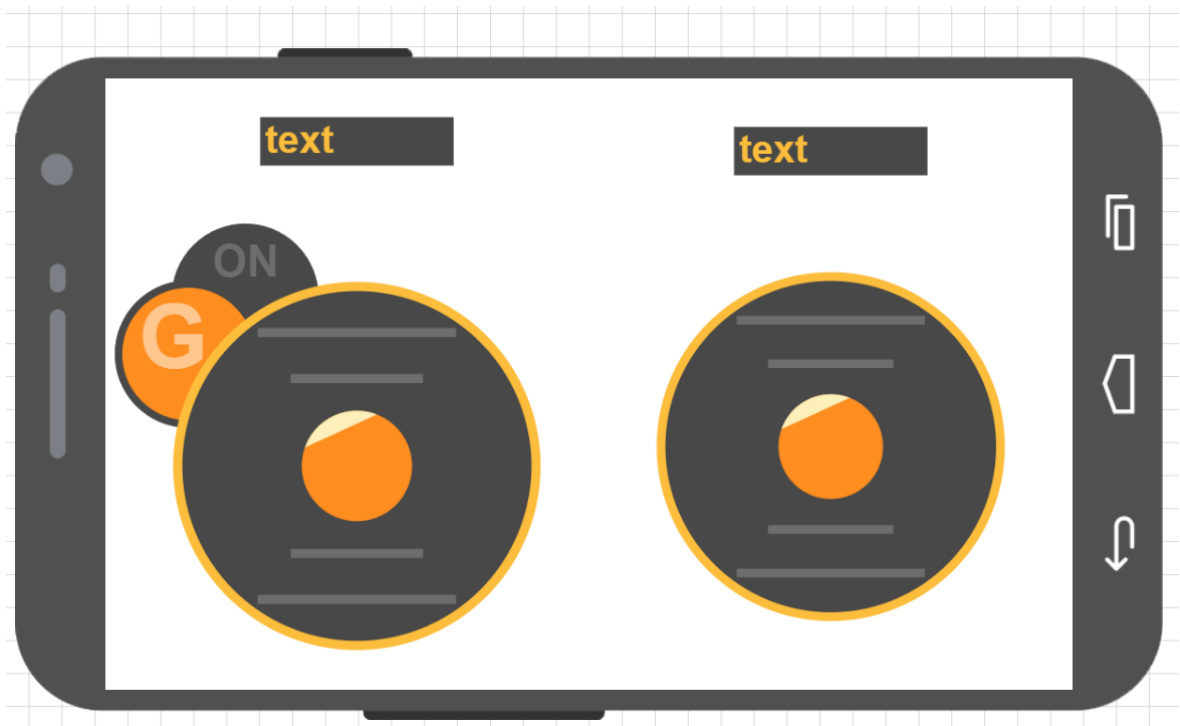


Рисунок 3.8 – Інтерфейс застосунку керування

Ефективність та надійність керування дроном через смартфон були перевірені шляхом проведення серії експериментів та тестів. Результати показали, що такий спосіб керування дроном є зручним, інтуїтивним та надійним. Він дозволяє оператору вільно переміщатись та контролювати дрон, забезпечуючи ефективність та точність моніторингу зсуву ґрунтів.

Таким чином, реалізація керування дроном через смартфон відкриває нові можливості для оператора та забезпечує зручність та ефективність управління дроном у процесі моніторингу зсуву ґрунтів.

3.3.3 Стабілізація дрона

Для досягнення стабільного політного режиму та точного управління дроном використовується алгоритм стабілізації на базі гіроскопа. Гіроскоп вимірює кутову швидкість обертання дрона навколо трьох осей: поперечної (roll), вертикальної (pitch) та осі курсу (yaw).

Принцип роботи алгоритму стабілізації полягає у порівнянні виміряних значень кутової швидкості зі заданими значеннями. За допомогою ПД-регулятора (пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора) обчислюються

коригуючі сигнали, які надсилаються до моторів дрона для компенсації неконтрольованих рухів та підтримання стабільного положення.

Алгоритм стабілізації на базі гіроскопа використовує замкнуту петлю зворотного зв'язку, де виміряні значення кутової швидкості постійно порівнюються зі значеннями, що були задані. За допомогою регулятора виконується корекція сигналів керування, що впливають на кутову швидкість обертання дрона, забезпечуючи його стабільну польотну позицію.

Під час роботи алгоритму стабілізації на базі гіроскопа необхідно враховувати такі фактори, як затримка сигналу та шуми, які можуть впливати на точність і стабільність політного режиму дрона. Для компенсації цих факторів можуть застосовуватись додаткові фільтри та методи обробки сигналів.

У системах керування ПІД-регулятор є дуже популярним способом стабілізації системи. Потрібно стабілізувати тангаж і крен MPU6050. Для цього я використав бібліотеку PID_v1 . У наведеному нижче коді я налаштовую двигуни та ПІД-регулятор. Потім я додам функцію для стабілізації двигунів залежно від необхідної швидкості.

Алгоритм стабілізації на базі гіроскопа є одним з ключових елементів системи управління дроном.

```
void loop() {
    pitchPID.Compute();
    rollPID.Compute();
    int actSpeed[4];
    стабілізація (targetSpeed, actSpeed, rollOutput, pitchOutput);
    // targetSpeed = actSpeed; // має це бути тут чи ні
}

void stabilize (int* currSpeed, int* actSpeed, float rollDiff, float pitchDiff) {
    //фактична швидкість розраховується наступним чином +- половина rollDiff +- половина pitchDiff
    actSpeed[0] = (int) currSpeed[0] + (rollDiff / 2) - (pitchDiff / 2);
    actSpeed[1] = (int) currSpeed[1] + (rollDiff / 2) + (pitchDiff / 2);
    actSpeed[2] = (int) currSpeed[2] - (rollDiff / 2) + (pitchDiff / 2);
    actSpeed[3] = (int) currSpeed[3] - (rollDiff / 2) - (pitchDiff / 2);
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        if (actSpeed[i] < 0) actSpeed[i] = 0;
    }
}

void runIndividual (int* actSpeed) {
    analogWrite(FL_MOTOR, actSpeed[0]);
    analogWrite(FR_MOTOR, actSpeed[1]);
    analogWrite(BR_MOTOR, actSpeed[2]);
    analogWrite(BL_MOTOR, actSpeed[3]);
}
```

Рисунок 3.9 – Алгоритм стабілізації

Він забезпечує стабільність та точність управління, дозволяючи дрону виконувати різні маневри та завдання.

```
void setup() {  
//-----PID-----  
pitchInput = 0,0;  
rollInput = 0,0;  
pitchSetpoint = 0,0;  
rollSetpoint = 0,0;  
// увімкнути PID  
pitchPID.SetMode(AUTOMATIC);  
rollPID.SetMode(AUTOMATIC);  
pitchPID.SetOutputLimits(-20, 20);  
rollPID.SetOutputLimits(-20, 20);  
//-----  
for (int i = 0; i < 4; i++) {  
| targetSpeed[i] = 0;  
}  
  
pinMode(FL_MOTOR, OUTPUT);  
pinMode(FR_MOTOR, OUTPUT);  
pinMode(BR_MOTOR, OUTPUT);  
pinMode(BL_MOTOR, OUTPUT);  
}
```

Рисунок 3.10 – Налаштування компонентів

Подальші дослідження та вдосконалення алгоритму можуть сприяти поліпшенню продуктивності та надійності дронів у різних сферах застосування.

3.3.4 Спосіб моніторингу зсуву ґрунтів

У цьому підрозділі розглядається спосіб моніторингу зсуву ґрунтів, який базується на використанні датчика вологості та злічуванні положення у просторі за допомогою MPU-6050. Цей спосіб дозволяє отримувати цінну інформацію про стан ґрунту та виявляти можливі зсуви з високою точністю.

Датчик вологості DHT11 використовується для вимірювання вологості ґрунту. Він має здатність точно визначати вологість у місці, де він розташований. Збір даних про вологість ґрунту в різних місцях дозволяє виявляти відмінності та зміни вологості, які можуть бути пов'язані з потенційними зсувами ґрунту.

```
#include <MPU6050.h>
#include <dht11.h>
#define DHT11PIN 4
MPU6050 mpu;
dht11 DHT11;
// Початкові значення
float initial_position[3] = {0, 0, 0}; // початкові координати (x, y, z)
float initial_velocity[3] = {0, 0, 0}; // початкові швидкості (vx, vy, vz)

// час між вимірами (в мілісекундах)
unsigned long delta_t = 10;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu.initialize();
}
```

Рисунок 3.11 – Ініціалізація компонентів та встановлення нульових координат

Додатково, для визначення положення дрона в просторі використовується MPU-6050, який містить акселерометр та гіроскоп. Цей модуль забезпечує зчитування руху та орієнтації дрона в трьох вимірах – по осях X, Y та Z. Завдяки цим даним можна визначити нахил та рух дрона у просторі.

```
int16_t accelerometer_data[3];
int16_t gyro_data[3];
mpu.getAcceleration(&accelerometer_data[0], &accelerometer_data[1], &accelerometer_data[2]);
mpu.getRotation(&gyro_data[0], &gyro_data[1], &gyro_data[2]);

// розрахунок швидкості
float acceleration[3] = {accelerometer_data[0] / 16384.0, accelerometer_data[1] / 16384.0, accelerometer_data[2] / 16384.0};
float current_velocity[3];
for (int i = 0; i < 3; i++) {
  current_velocity[i] = initial_velocity[i] + acceleration[i] * (delta_t / 1000.0);
}

// розрахунок кута повороту
float angular_velocity[3] = {gyro_data[0] / 131.0, gyro_data[1] / 131.0, gyro_data[2] / 131.0};
float current_position[3];
for (int i = 0; i < 3; i++) {
  current_position[i] = initial_position[i] + initial_velocity[i] * (delta_t / 1000.0);
}

// оновлення початкових значень
for (int i = 0; i < 3; i++) {
  initial_velocity[i] = current_velocity[i];
  initial_position[i] = current_position[i];
}
```

Рисунок 3.12 – Алгоритм розрахунку положення у просторі

Отримані дані з датчика вологості та MPU-6050 обробляються та аналізуються програмним забезпеченням системи. Вони записуються на смартфон

разом з координатами положення дрона. Це дозволяє збирати дані про вологості та рух ґрунту на різних ділянках моніторингу.

```
X: 0.01 Y: 0.00 Z: -0.22  
Humidity (%): 43.00  
Temperature (C): 28.00  
X: 0.01 Y: 0.00 Z: -0.22  
Humidity (%): 43.00  
Temperature (C): 28.00  
X: 0.01 Y: 0.00 Z: -0.23  
Humidity (%): 43.00  
Temperature (C): 28.00  
X: 0.01 Y: 0.00 Z: -0.24  
Humidity (%): 43.00  
Temperature (C): 28.00  
X: 0.01 Y: 0.00 Z: -0.25
```

Рисунок 3.13 – Вихідні дані з дрона

Спосіб моніторингу зсуву ґрунтів, що базується на датчику вологості та злічуванні положення у просторі за допомогою MPU-6050, є ефективним та надійним. Він дозволяє виявляти зсуви та зміни вологості ґрунту з високою точністю та збирати цінні дані для подальшого аналізу та дослідження. Цей спосіб є важливим елементом системи моніторингу зсуву ґрунтів, допомагаючи підтримувати безпеку та ефективність процесу моніторингу та прогнозування зсуву ґрунтів.

3.3.5 Аналіз отриманих даних

У даному підрозділі проводиться аналіз отриманих даних з моніторингу зсуву ґрунтів, що базується на вимірах вологості та злічуванні положення у просторі за допомогою MPU-6050. Аналіз даних є важливим етапом процесу моніторингу, оскільки дозволяє виявити залежності, тенденції та кореляції між параметрами та зробити висновки щодо стану ґрунту та можливих зсувів.

Першим кроком аналізу є візуалізація отриманих даних за допомогою графіків, діаграм та інших візуальних інструментів.

```
# Побудова тривимірного графіка

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.scatter(x, y, z, c='r', marker='o')

ax.set_xlabel('X')
ax.set_ylabel('Y')
ax.set_zlabel('Z')

# Відображення показників вологості та температури
for i in range(len(x)):
    ax.text(x[i], y[i], z[i], f'H: {humidity[i]}%\nT: {temperature[i]}°C')
plt.title('Тривимірний графік координат')
plt.show()
```

Рисунок 3.14 – Алгоритм побудови тривимірного графіка

Графіки показують залежність вологості ґрунту від часу, зміни положення дрона у просторі та інші параметри. Це дозволяє зробити першу оцінку стану ґрунту та виявити можливі аномалії або тенденції.

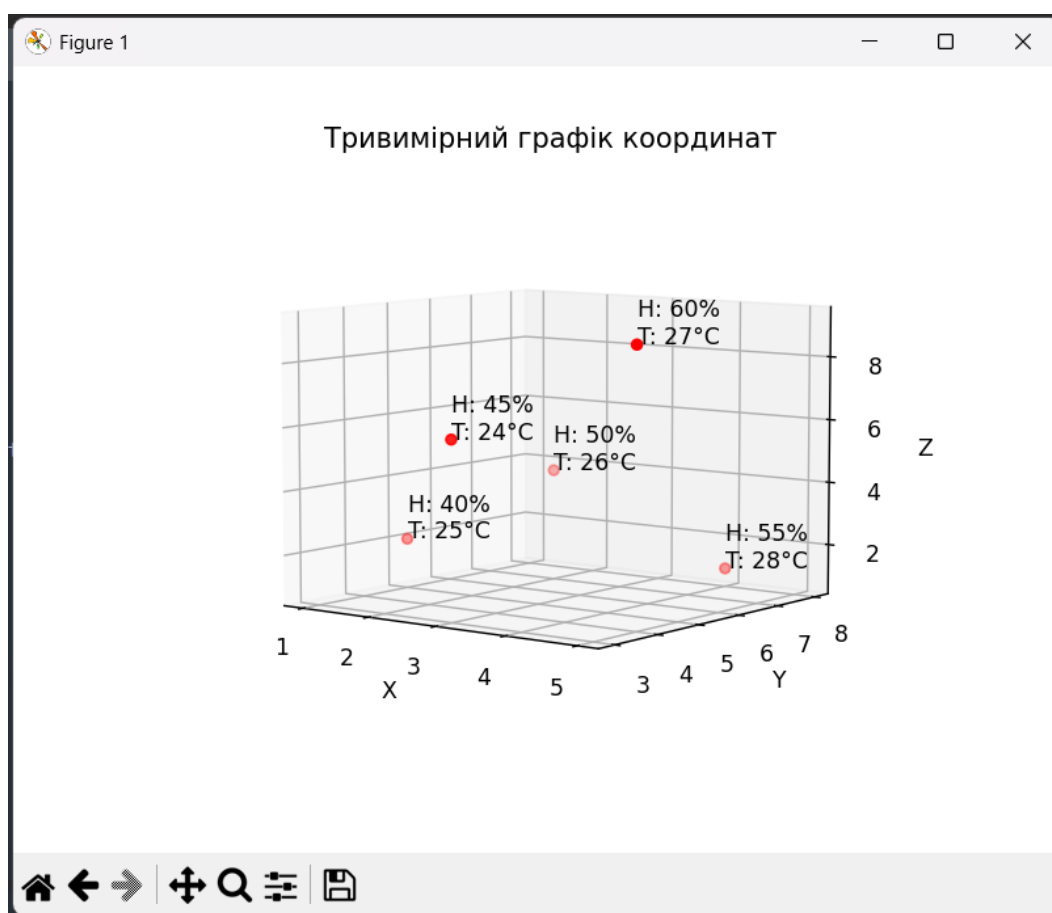


Рисунок 3.15 – Тривимірний графік координат

Далі проводиться статистичний аналіз даних, включаючи розрахунок середніх значень, дисперсії, кореляційних коефіцієнтів та інших статистичних показників.

```
# Статистичний аналіз

# Середні значення
mean_temperature = np.mean(temperature)
mean_humidity = np.mean(humidity)

# Дисперсія
var_temperature = np.var(temperature)
var_humidity = np.var(humidity)

# Кореляційні коефіцієнти
corr_matrix = np.corrcoef([x, y, z, temperature, humidity])
```

Рисунок 3.16 – Статистичний аналіз

Це допомагає зрозуміти статистичну природу отриманих даних, виявити залежності між різними параметрами та оцінити їх вплив на зсуви ґрунту.

```
Mean Temperature: 26.0
Mean Humidity: 50.0

Variance Temperature: 2.0
Variance Humidity: 50.0

Correlation Matrix:
[[ 1.          -0.07624929  0.5419311  0.6          0.9          ]
 [-0.07624929  1.          -0.70622814  0.68624357  0.22874786 ]
 [ 0.5419311  -0.70622814  1.          -0.14779939  0.44339818 ]
 [ 0.6         0.68624357 -0.14779939  1.          0.8          ]
 [ 0.9         0.22874786  0.44339818  0.8         1.          ]]
```

Рисунок 3.17 – Результати розрахунків

У цьому прикладі використовується бібліотека NumPy для обчислення середнього значення (mean), дисперсії (var) та кореляційного коефіцієнта (corrcoef). Результати виводяться на екран для подальшого аналізу.

```
41 # Виведення статистичних показників
42 print("Mean Temperature: ", mean_temperature)
43 print("Mean Humidity: ", mean_humidity)
44 print("")
45
46
47 print("Variance Temperature: ", var_temperature)
48 print("Variance Humidity: ", var_humidity)
49 print("")
50
51 print("Correlation Matrix:")
52 print(corr_matrix)
53
```

Рисунок 3.18 – Експорт результатів розрахунків

Аналіз отриманих даних дозволяє отримати глибше розуміння процесу зсуву ґрунту та його впливу на дрон, а також розробити рекомендації щодо подальших дій. Він є важливим кроком у вдосконаленні системи моніторингу та прогнозування зсуву ґрунтів для забезпечення безпеки та ефективності використання мультироторийного БПЛА.

Висновок до розділу 3

У цьому розділі було розглянуто апаратно-програмне забезпечення системи для мультироторийного БПЛА, призначеного для моніторингу зсуву ґрунтів, а також проведені експериментальні дослідження для перевірки функціональності та ефективності системи.

Розроблене апаратне забезпечення включає плату Arduino pro mini, Bluetooth модуль HC-06, модуль акселерометра та гіроскопа GY-521, датчик вологості та температури DHT11, акумулятори та двигуни. Ці компоненти були обрані з урахуванням їх функціональності, надійності та сумісності один з одним. Апаратне забезпечення було правильно підключено і налаштовано для забезпечення потрібного функціоналу системи.

При розробці програмного забезпечення були використані мови програмування Arduino(C++), що дозволяють ефективно керувати функціоналом дрона та збирати, обробляти та передавати дані. Були розроблені програмні модулі для керування дроном за допомогою Bluetooth з модулем HC-06, зчитування даних з акселерометра та гіроскопа GY-521, аналізу даних з датчика вологості та температури DHT11, а також зберігання отриманих даних у базі даних.

Експериментальні дослідження були проведені для оцінки функціональності та ефективності розробленої системи. Було виконано серію польотів з вимірюванням та записом даних про зсуви ґрунту, параметри польоту та отримані дані з датчиків. Після цього проводилася аналіз отриманих даних, їх візуалізація та обробка. Результати експериментальних досліджень показали, що розроблена система здатна успішно виконувати завдання моніторингу зсуву ґрунтів, збирати та обробляти необхідну інформацію.

Отже, розділ 3 надає вичерпну інформацію про апаратно-програмне забезпечення системи для мультироторного БПЛА, а також результати експериментальних досліджень, що підтверджують функціональність та ефективність розробленої системи. Дані результати є важливим внеском у розвиток технологій моніторингу зсуву ґрунтів та можуть бути використані для подальшого вдосконалення системи та її розширення.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання даної дипломної роботи була проведена розробка та дослідження мультироторного безпілотного літального апарату (БПЛА) для моніторингу зсуву ґрунтів. Робота включала загальний огляд технологій та їх використання, математичні методи та проектування системи, апаратно-програмне забезпечення системи та експериментальні дослідження.

В розділі загального огляду технологій були проаналізовані різні аспекти використання БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Були розглянуті переваги та обмеження цих технологій, а також розглянуті сучасні розробки та наукові дослідження в цій області.

У розділі математичних методів та проектування системи була розроблена математична модель для опису системи мультироторного БПЛА та його стабілізації в повітрі. Було виконано проектування принципів схем та визначення параметрів компонентів системи.

У розділі апаратно-програмного забезпечення системи та експериментальних досліджень була розроблена апаратна платформа з використанням Arduino pro mini та HC-06 Bluetooth модуля для керування дроном та передачі даних. Було виконано експериментальні дослідження з моніторингу зсуву ґрунтів за допомогою датчика вологості та MPU-6050 для зчитування положення дрона у просторі.

Отримані дані були піддані аналізу, включаючи візуалізацію та статистичний аналіз. Було виявлено залежності між параметрами та зроблено перші висновки щодо стану ґрунту та можливих зсувів.

Загальною метою цієї дипломної роботи було створення прототипу системи моніторингу зсуву ґрунтів з використанням мультироторного БПЛА. Завдяки проведеній роботі, були досягнуті наступні результати:

- 1) розроблена математична модель для опису системи мультироторного БПЛА та його стабілізації в повітрі;
- 2) розроблено принципів схеми та побудовано апаратну платформу для системи моніторингу зсуву ґрунтів;

3) виконано експериментальні дослідження з моніторингу зсуву ґрунтів за допомогою датчика вологості та MPU-6050;

4) отримані дані були проаналізовані, включаючи візуалізацію та статистичний аналіз.

Отримані результати свідчать про можливість використання мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів. Однак, для досягнення більш точних та надійних результатів, необхідно провести подальші дослідження та вдосконалення системи. Зокрема, можна розглянути використання додаткових датчиків, таких як лазерні далекоміри, для побудови точної карти рельєфу.

Загальним висновком є те, що розроблена система моніторингу зсуву ґрунтів на базі мультироторного БПЛА є перспективною технологією, яка може бути використана для раннього виявлення та прогнозування зсуву ґрунтів. Ця робота вносить вагомий внесок у розвиток безпілотної авіації та геотехнічного моніторингу, а її результати можуть бути використані як основа для подальших досліджень та розробок у даній області.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Smith, J. Applications of Drone Technology in Landslide Monitoring. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2019. Vol. 145, Is. 10. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002098 (Last accessed: 02.06.2023).
2. Johnson, A., & Brown, C. "Development of a Multirotor UAV for Landslide Monitoring and Mapping." Proceedings of the International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2021. Vol. 589-596. DOI: 10.1109/ICUAS48674.2021.9473527. (Last accessed: 02.06.2023).
3. Gupta, S., et al. . "Drone-based Monitoring and Analysis of Landslides: A Review." *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2018. 6(1), 1-25. DOI: 10.1139/juvs-2017-0042. (Last accessed: 06.06.2023).
4. Li, M., et al. . "Landslide Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review." *Remote Sensing*, 2020. Vol. 1625, Is. 10. DOI: 10.3390/rs12101625. (Last accessed: 01.06.2023).
5. Zhang, H., et al. . "Monitoring of Landslide Displacements Using UAV Photogrammetry: A Case Study of the Tsaoling Landslide in Taiwan." *Remote Sensing*, 2017. Vol. 166, Is. 9(2). DOI: 10.3390/rs9020166. (Last accessed: 12.06.2023).
6. Unmanned Aircraft Systems. URL: <https://www.faa.gov/uas/> (Last accessed: 12.06.2023).
7. Arduino. (2023). "Arduino – Home." URL: <https://www.arduino.cc/>. (Last accessed: 12.06.2023).
8. Fritzing. (2023). "Fritzing – Home.". <https://fritzing.org/>. (Last accessed: 02.06.2023).
9. Su, H. L., et al. "An Efficient UAV-Based Photogrammetric Approach for Slope Displacement Monitoring in the Alpine Environment." *Remote Sensing*, 2019. Vol. 1557, Is. 11(13). DOI: 10.3390/rs11131557. (Last accessed: 02.05.2023).
10. Wikipedia. (2023). "Landslide." URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Landslide>. (Last accessed: 04.06.2023).

11. Chen, W., et al. . "Monitoring of Soil Moisture and Slope Stability Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Wireless Sensor Network (WSN) Technologies." *Sensors*, 2019. Vol. 2826, Is. 19(12). DOI: 10.3390/s19122826. (Last accessed: 04.05.2023).

12. Ge, L., et al. "Design and Development of a UAV-Based Ground Displacement Monitoring System for Landslide Early Warning." *Sensors*, 2020. Vol. 3202, Is. 20(11). DOI: 10.3390/s20113202. (Last accessed: 14.06.2023).

13. Jiang, T., et al. "Automatic Landslide Recognition and Extraction Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Deep Learning Techniques." *Remote Sensing*. 2018. Vol. 612, Is. 10(4). DOI: 10.3390/rs10040612. (Last accessed: 08.06.2023).

14. Li, W., et al. "UAV-Integrated Ground-Based Terrestrial Laser Scanning for Landslide Monitoring." *Remote Sensing*. 2020. Vol. 2553, Is. 12(16). DOI: 10.3390/rs12162533. (Last accessed: 18.05.2023).

15. Lin, C. Y., et al. "Monitoring of Large-Scale Slope Displacement by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry." *Remote Sensing*. 2019. Vol. 2349, Is. 11(20). DOI: 10.3390/rs11202349. (Last accessed: 28.05.2023).

16. Shkurti, F., et al. "Drone Imagery and Structure from Motion Photogrammetry to Reconstruct a Landslide-Affected Area in Cansiglio (Italy)." *Geosciences*, 2018. Vol. 285, Is. 8(8). DOI: 10.3390/geosciences8080285. (Last accessed: 15.06.2023).

ДОДАТОК А ДОВІДКА

про перевірку на унікальність пояснювальної записки
кваліфікаційної бакалаврської роботи
на тему: «Мультироторний БПЛА для моніторингу зсувів ґрунту»
студента спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», 405 групи

Янюк Артур Сергійович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Перевірку тексту здійснено сервісом: онлайн-сервіс Unicheck.
Результат перевірки тексту роботи: схожість складає 0,43%.



User name: Іван Бурлаченко	Check ID: 1015631156
Check date: 17.06.2023 02:28:14 EEST	Check type: Doc vs Internet + Library
Report date: 17.06.2023 02:31:46 EEST	User ID: 100000130

File name: **Янюк А. С. Комп'ютерна інженерія БКР 2023**
Page count: **20** Word count: **10862** Character count: **83279** File size: **1.30 MB** File ID: **1015277724**

0.43% Matches

Highest match: **0.17%** with Library source (File ID: **1015084614**)

0.26% Internet sources	5	Page 22
0.29% Library sources	2	Page 22

0% Quotes

Exclusion of quotes is off

Exclusion of references is off

0% Exclusions


No exclusions

Modifind

Text modifications detected. Find more details in the online report.

Replaced characters 15

Студент


_____ А. С. Янюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

Дата: «__» _____ 2023 р.

Керівник

Ст. викладач

_____ І. С. Бурлаченко
(підпис) (ініціали, прізвище)

2023 р.

Янюк А.С.

123 – КБР.ПЗ.00 – 405.21910529

ДОДАТОК Б

Код для мультироторного БПЛА для моніторингу зсуву ґрунтів

```
#include <MPU6050.h>
#include <dht11.h>
#define DHT11PIN 4
MPU6050 mpu;
dht11 DHT11;
// Начальні значення
float initial_position[3] = {0, 0, 0}; // початкові координати (x,
y, z)
float initial_velocity[3] = {0, 0, 0}; // початкові швидкості (vx,
vy, vz)
// час між вимірами (в мілісекундах)
unsigned long delta_t = 10;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu.initialize();
}
void loop()
{
  int16_t accelerometer_data[3];
  int16_t gyro_data[3];
  mpu.getAcceleration(&accelerometer_data[0], &accelerometer_data[1],
&accelerometer_data[2]);
  mpu.getRotation(&gyro_data[0], &gyro_data[1], &gyro_data[2]);

  // розрахунок швидкості
  float acceleration[3] = {accelerometer_data[0] / 16384.0,
accelerometer_data[1] / 16384.0, accelerometer_data[2] / 16384.0};
  float current_velocity[3];
  for (int i = 0; i < 3; i++) {
```

```
        current_velocity[i] = initial_velocity[i] + acceleration[i] *
(delta_t / 1000.0);
    }
    // розрахунок кута повороту
    float angular_velocity[3] = {gyro_data[0] / 131.0, gyro_data[1] /
131.0, gyro_data[2] / 131.0};
    float current_position[3];
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        current_position[i] = initial_position[i] + initial_velocity[i] *
(delta_t / 1000.0);
    }
    // оновлення початкових значень
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        initial_velocity[i] = current_velocity[i];
        initial_position[i] = current_position[i];
    }
    Serial.print("X: ");
    Serial.print(current_position[0]);
    Serial.print("\tY: ");
    Serial.print(current_position[1]);
    Serial.print("\tZ: ");
    Serial.println(current_position[2]);
    int chk = DHT11.read(DHT11PIN);

    Serial.print("Humidity (%): ");
    Serial.println((float)DHT11.humidity, 2);
    Serial.print("Temperature (C): ");
    Serial.println((float)DHT11.temperature, 2);
    delay(delta_t);
}
```

ДОДАТОК В

Код для аналізу вихідних даних

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Зразок даних
x = [1, 2, 3, 4, 5] # Координати X
y = [5, 7, 3, 8, 4] # Координати Y
z = [2, 4, 6, 1, 9] # Координати Z
humidity = [40, 50, 45, 55, 60] # Вологість
temperature = [25, 26, 24, 28, 27] # Температура

# Статистичний аналіз

# Середні значення
mean_temperature = np.mean(temperature)
mean_humidity = np.mean(humidity)

# Дисперсія
var_temperature = np.var(temperature)
var_humidity = np.var(humidity)

# Кореляційні коефіцієнти
corr_matrix = np.corrcoef([x, y, z, temperature, humidity])

# Побудова тривимірного графіка

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.scatter(x, y, z, c='r', marker='o')

ax.set_xlabel('X')
```

```
ax.set_ylabel('Y')
ax.set_zlabel('Z')

# Відображення показників вологості та температури
for i in range(len(x)):
    ax.text(x[i], y[i], z[i], f'H: {humidity[i]}\nT:
{temperature[i]}°C')
plt.title('Тривимірний графік координат')
plt.show()

# Виведення статистичних показників
print("Mean Temperature: ", mean_temperature)
print("Mean Humidity: ", mean_humidity)
print("")

print("Variance Temperature: ", var_temperature)
print("Variance Humidity: ", var_humidity)
print("")

print("Correlation Matrix:")
print(corr_matrix)
```