

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделев
“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА
на тему: «Автоматизована система літальних апаратів для виявлення
об'єктів на земельній ділянці»

Пояснювальна записка

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

151 – МНР – 671.21817106

Студент _____ Нерега М.В.

Керівник _____ Трунов О. М.

Керівник _____ Гекова Т. В.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.
(дата)

Миколаїв – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення: Комп'ютерних наук
Кафедра, циклова комісія: Автоматизація та КІТ
Освітньо-кваліфікаційний рівень: рівень вищої освіти другий (магістр)

Напрямок підготовки 151 «Автоматизація та приладобудування»
(шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри, голова циклової комісії

Сідєєв М. І. _____
“ ____ ” _____ 2023 р

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВУ РОБОТУ

Нерегі Максиму Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

«Автоматизована система літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці»

Керівник роботи доктор техн. наук, професор Трунов О.М.,

Керівник роботи викладач кафедри АКІТ Гекова Т. В.,

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2023р.

№ _____

2. Строк подання студентом роботи 21.06. 2024

3. Вихідні дані до роботи

Об'єктом є безлюдна технологія пошуку, виявлення і виміру властивостей об'єктів на наземних ділянках.

Предметом є моделі, методи алгоритми і програми структури та елементів будови автоматизованої системи літальних апаратів як носія засобів для пошуку, виявлення і виміру властивостей об'єктів на наземній ділянці, їх моделювання, та подальша розробка.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): стан та тенденції розвитку АСК БПЛА виявлення, пошуку та виміру властивостей об'єктів на наземній ділянці; розвиток структури, функціональної і електричних схем та алгоритму роботи; формування моделей динаміки структурних елементів АСК виявлення, пошуку та виміру властивостей об'єктів на наземних ділянках, охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Функціональна схема, електрично принципові схеми, алгоритм роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Трунов О.М., доцент кафедри АКІТ	12.10.2023	
2	Трунов О.М, доцент кафедри АКІТ	03.01.2024	
3	Гекова Т. В., викладач кафедри АКІТ	03.04.2024	
4	Григор'єва Л.І., професор кафедри екології	19.04. 2024	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2023	
2	Обговорення із студентом затверженої теми	03.10.2023	
3	Формування завдання	10.10.2023	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	03.11.2023	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	14.11.2023	
6	Виконання першої частини	01.12.2023	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	28.12.2023	
8	Передзахист першої частини	26.01.2024	
9	Опрацювання другої частини	05.03.2024	
10	Робота над третьою частиною	09.04. 2024	
11	Робота над розділом з охорони праці	20.05. 2024	
12	Передзахисти	03.06. 2024	
13	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	21.06. 2024	

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент _____ Нерега М.В

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Трунов О.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Гекова Т. В

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

до магістерської наукової роботи

«Автоматизована система літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці»

Студента 671 Нереги Максима Владиславовича

Керівник: доктор техн. наук, професор Трунов О.М.

Керівник: викладач кафедри АКІТ Гекова Т. В.

Актуальність теми: Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все популярнішими у всьому світі, що підтверджується зростанням їх числа на авіаційних виставках. Цей клас літальних апаратів користується великою популярністю завдяки численним перевагам порівняно з пілотованою авіацією, зокрема відсутністю потреби у екіпажі, невисокою вартістю створення, виробництва та експлуатації, а також значною тривалістю і дальністю польотів [1].

Метою є підвищення ефективності процесів виявлення об'єктів на наземних ділянках, вимір їх властивостей шляхом розробки автоматизованої системи, до складу якої включено безпілотні літальні апарати, комплекси датчиків та засоби безлюдного контролю.

Об'єктом є безлюдна технологія пошуку, виявлення і виміру властивостей об'єктів на наземних ділянках.

Предметом є моделі, методи алгоритми і програми структури та елементів будови автоматизованої системи літальних апаратів як носія засобів для пошуку, виявлення і виміру властивостей об'єктів на наземній ділянці, їх моделювання, та подальша розробка.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі конструкції БПЛА з урахуванням їх габаритів, використаних матеріалів, здатності до розширення використовуваного бортового обладнання. Розглянути конкурентні рішення, патенти та корисні моделі.
2. Провести аналіз тенденцій розвитку сучасних типів конструкцій

устаткування, кінематичних схем, моделей і методів синтезу нових елементів.

3. Розробити функціональну схему.
4. Розробити алгоритм роботи.
5. Розробити електричні принципові схеми обґрунтованих блоків.
6. Створити кінематичну модель гексакоптеру
7. Розглянуті основні підходи до моделювання динаміки

структурних елементів автоматизованої система літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці.

В технологічному плані важливим і необхідним є проведення аналізу відомих конструкцій, та конкурентних рішень і технологій, та використання цих знань для розробки конкурентоспроможного прототипу.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання,

У вступі визначається актуальність теми, наведені задачі, які заплановано вирішити для досягнення поставленої мети. У першому розділі розглянуто теоретичні відомості про методи виявлення об'єктів, різні типи дронів їх переваги та недоліки, проведено аналітичний огляд технічної літератури, а також аналіз конкурентних рішень та характеристики існуючих конструкцій, наведені задачі, які заплановано вирішити для досягнення поставленої мети. У другому розділі проведено аналіз апаратних засобів задля реалізації технічного завдання, та поставлених задач з обґрунтуванням вибору елементів системи. В спеціальній частині з охорони праці розглянуто забезпечення вимог охорони праці на робочому місці.

Магістерська наукова робота містить 108 сторінок., 36 рис., 17 табл., 36 джерел посилань.

Наукова новизна Полягає у створенні АСК БПЛА ТП як безлюдної технології пошуку, виявлення за даними комплексних вимірів властивостей на наземних ділянках

Практична значимість полягає у системних дослідженнях якості поля та детального вмісту його ґрунту, вологості і теператури земних масивів його

сільськогосподарських посівів, овочів, масивів, масивів саду магістральних споруд, трубопроводів та відкритих каналів.

Апробації

– ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2022 (доповідь «Автоматизований дезінфектор для рук з засобами контролю температури тіла людини» автори: 1. Нерега М.В., 2. Беліков О.Є.);

– ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2024 (доповідь «РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗЕМЕЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ» автори: 1. Нерега М.В., 2. Трунов О.М., 3. Гекова Т.В.);

– Могилянські читання – 2023 (доповідь «Автоматичний дезінфектор для рук з засобами контролю тіла людини» автори: 1. Нерега М.В., 2. Беліков О.Є.);

– Могилянські читання – 2023 (доповідь «РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗЕМЕЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ» автори: 1. Нерега М.В., 2. Трунов О.М., 3. Гекова Т.В.).

Публікації. Основні положення та результати роботи опубліковані у збірці матеріалів міжнародної наукової конференції.

1. Нерега М. В., Беліков О. Є. Автоматизований дезінфектор для рук з засобами контролю температури тіла людини» ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2022. Миколаїв. 2022.

2. Трунов О. М., Гекова Т. В., Нерега М. В. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗЕМЕЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ. ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ-2024. Миколаїв. 2024.

Ключові слова: автоматизований, літальний апарат, інфрачервоний датчик температури, лідар, дрони, пошук, виявлення об'єктів на земельній ділянці, АСК, БПЛА.

ABSTRACT

to the master's thesis

"Automated system of aerial vehicles for detecting objects on a land plot"

Student 671 Nerega Maksym Vladyslavovich

Head: Dr. Tech. Sciences, professor, associate professor of AKIT department

Trunov O.M.

Head: AKIT department teacher T.V. Gekova.

Relevance of the topic: Unmanned aerial vehicles (UAVs) are becoming more and more popular all over the world, which is confirmed by the increase in their number at air shows. This class of aircraft is very popular due to numerous advantages compared to manned aviation, in particular, the lack of a crew, the low cost of creation, production and operation, as well as the considerable duration and range of flights [1].

The goal is to increase the efficiency of the processes of detecting objects on the ground, measuring their properties through the development of an automated system, which includes unmanned aerial vehicles, sensor complexes and unmanned control means.

The object is an unmanned technology for searching, detecting and measuring the properties of objects on land areas.

The subject is models, methods, algorithms and programs of the structure and elements of the structure of the automated system of aircraft as a means of finding, detecting and measuring the properties of objects on the ground, their modeling and further development.

To achieve the goal, the following tasks were set:

1. Analyze the existing designs of UAVs, taking into account their dimensions, the materials used, the ability to expand the onboard equipment used. Consider competing solutions, patents and utility models.

2. Conduct an analysis of trends in the development of modern types of equipment designs, kinematic schemes, models and methods of synthesis of new elements.

3. Develop a functional diagram.
4. Develop a work algorithm.
5. Develop electrical schematics of grounded blocks.
6. Create a kinematic model of a hexacopter
7. The main approaches to modeling the dynamics of structural elements

of an automated system of aerial vehicles for detecting objects on a land plot are considered.

From a technological point of view, it is important and necessary to conduct an analysis of known designs, and competitive solutions and technologies, and use this knowledge to develop a competitive prototype.

The explanatory note of the master's thesis consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of reference sources.

In the introduction, the relevance of the topic is determined, the tasks that are planned to be solved in order to achieve the set goal are given. In the first chapter, theoretical information about object detection methods, various types of drones, their advantages and disadvantages, an analytical review of the technical literature, as well as an analysis of competitive solutions and characteristics of existing structures, are presented, and the tasks that are planned to be solved in order to achieve the set goal are given. In the second section, an analysis of the hardware for the implementation of the technical task and the set tasks with justification of the selection of system elements was carried out. In the special part on labor protection, the provision of labor protection requirements at the workplace is considered.

The master's scientific work contains 108 pages, 36 figures, 17 tables, 36 reference sources.

The scientific novelty consists in the creation of the ASK UAV TP as an unmanned technology of search, detection based on the data of complex measurements of properties on ground areas

The practical importance lies in the systematic studies of the quality of the field and the detailed content of its soil, humidity and temperature of the land massifs

of its agricultural crops, vegetables, massifs, massifs of the garden of main structures, pipelines and open channels.

Approvals

– OLVIYSKY FORUM-2022 (report "Automated hand sanitizer with means of controlling human body temperature" authors: 1. Nerega M.V., 2. Belikov O.E.);

– OLVIY FORUM-2024 (report "DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM OF FLIGHT APPARATUS FOR DETECTION OF OBJECTS ON A LAND PLOT" authors: 1. Nerega M.V., 2. Trunov O.M., 3. Gekova T.V.);

– Mohyla readings - 2023 (report "Automatic disinfectant for hands with means of controlling the human body" authors: 1. Nerega M.V., 2. Belikov O.E.).

– Mohyla readings - 2023 (report "DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM OF FLIGHT APPARATUS FOR DETECTION OF OBJECTS ON A PLOT OF LAND" authors: 1. Nerega M.V., 2. Trunov O.M., 3. Gekova T.V.).

Publications.

– The main provisions and results of the work are published in the collection of materials of the XXI international scientific conference.

1. Nerega M.V., Belikov O.E. Automated hand sanitizer with means of controlling human body temperature. OLVIYSKY FORUM-2022. MMykolayiv 2022.

2. 2024 Trunov O.M., Gekova T.V., Nerega M.V. DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM OF FLIGHT APPARATUS FOR DETECTION OF OBJECTS ON A LAND PLOT. OLVIYSKY FORUM-2024. MMykolayiv 2024.

Keywords: automated, flying machine, infrared temperature sensor, lidar, drones, search, detection of objects on land, ACS, UAV.

Зміст

ВСТУП	4
1 СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АСК БПЛА ВИЯВЛЕННЯ, ПОШУКУ ТА ВИМІРУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ НА НАЗЕМНІЙ ДІЛЯНЦІ	6
1.1 Теоретичні відомості про методи виявлення об'єктів на земельній ділянці	6
1.2 Типи дорнів та їх переваги та недоліки	13
1.3 Огляд літератури та конкурентних рішень	22
1.4 Завдання на проектування	28
Висновки до першого розділу	29
2 РОЗВИТОК СТРУКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ	30
2.1 Розвиток АСК БПЛА пошуку та виміру властивостей об'єктів на наземних ділянках	30
2.2 Сутність будови гексакоптера та інноваційні особливості для удосконалення	34
2.3 Обґрунтування та вибір блоків для дрону	37
2.4 Особливості АСК БПЛА пошуку та визначення об'єктів на поверхні наземних ділянок і електричних – принципів схем її елементів	56
2.5 Особливості узагальненого алгоритму роботи та фрагменти коду програми автоматизованої системи БПЛА для виявлення об'єктів на земельній ділянці	62
Висновки до другого розділу	73
3. ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АСК ВИЯВЛЕННЯ, ПОШУКУ ТА ВИМІРУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ НА НАЗЕМНИХ ДІЛЯНКАХ	75
3.1 Структурні та аеродинамічні особливості гексакоптера, як повітряного носія устаткування пошуку та виміру	75
3.2 Моделювання руху та кінематичних параметрів носія устаткування	77
3.3 Моделювання динаміки гексакоптеру	82

Висновки до третього розділу	86
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	89
4.1 Охорона праці в робочому приміщенні для управління автоматизованою системою літальних апаратів	89
4.2 Розрахунок загального рівномірного освітлення люмінесцентними лампами	92
4.3 Заходи безпека у надзвичайних ситуаціях	95
Висновки до четвертого розділу	100
ВИСНОВКИ	102
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	104

ВСТУП

Актуальність теми: Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все популярнішими у всьому світі, що підтверджується зростанням їх числа на авіаційних виставках. Цей клас літальних апаратів користується великою популярністю завдяки численним перевагам порівняно з пілотованою авіацією, зокрема відсутністю потреби у екіпажі, невисокою вартістю створення, виробництва та експлуатації, а також значною тривалістю і дальністю польотів [1].

Метою є підвищення ефективності процесів виявлення об'єктів на наземних ділянках, вимір їх властивостей шляхом розробки автоматизованої системи, до складу якої включено безпілотні літальні апарати, комплекси датчиків та засоби безлюдного контролю.

Об'єктом є безлюдна технологія пошуку, виявлення і виміру властивостей об'єктів на наземних ділянках.

Предметом є моделі, методи алгоритми і програми структури та елементів будови автоматизованої системи літальних апаратів як носія засобів для пошуку, виявлення і виміру властивостей об'єктів на наземній ділянці, їх моделювання, та подальша розробка.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі конструкції БПЛА з урахуванням їх габаритів, використаних матеріалів, здатності до розширення використовуюваного бортового обладнання. Розглянути конкурентні рішення, патенти та корисні моделі.
2. Провести аналіз тенденцій розвитку сучасних типів конструкцій устаткування, кінематичних схем, моделей і методів синтезу нових елементів.
3. Розробити функціональну схему.
4. Розробити алгоритм роботи.
5. Розробити електричні принципові схеми обґрунтованих блоків.
6. Створити кінематичну модель гексакоптеру

7. Розглянуті основні підходи до моделювання динаміки структурних елементів автоматизованої система літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці.

1 СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АСК БПЛА ВИЯВЛЕННЯ, ПОШУКУ ТА ВИМІРУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ НА НАЗЕМНІЙ ДІЛЯНЦІ

1.1 Теоретичні відомості про методи виявлення об'єктів на земельній ділянці

До сучасних потреб виміру які є актуальними відносяться такі типи:

Електророзвідка

Електророзвідка (Electrical Resistivity Tomography, ERT) – це метод геофізичного дослідження, що використовується для вивчення електричної провідності ґрунту та підземних структур. Цей метод може бути корисним для виявлення підземних об'єктів, таких як міни[2].

Вимірювання електричної провідності. Під час проведення електророзвідки на поверхню землі встановлюються електроди. Один або кілька електродів подають електричний струм у ґрунт, а інші електроди вимірюють напругу. Вимірюють опір ґрунту, який визначається електричною провідністю (опір) матеріалу.

Створення електророзвідувальних профілів. Шляхом зміни розташування електродів та проведення вимірювань на різних глибинах можна створювати електророзвідувальні профілі. Ці профілі дозволяють отримати інформацію про те, як електрична провідність змінюється із глибиною.

Отримані дані обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. За допомогою математичних методів та алгоритмів створюються зображення підземних структур та змін у провідності. Після обробки даних геофізики можуть інтерпретувати результати та визначати наявність підземних об'єктів, включаючи міни. Зміни провідності можуть вказувати на наявність металевих або діелектричних об'єктів.

Переваги електророзвідки включають те, що вона не вимагає проникнення під землю і дозволяє досліджувати великі площі. Однак цей метод має свої обмеження, оскільки він залежить від електричних властивостей ґрунту та може бути менш точним у разі складних геологічних умов. Електророзвідка може використовуватися в різних галузях, включаючи геологію, інженерне дослідження, археологію, і, у деяких випадках, у роботі з розмінування та пошуку підземних небезпечних об'єктів.

Гравіметрія

Гравіметрія – це геофізичний метод, що використовується для вимірювання гравітаційного поля Землі на різних місцях на землі. Цей метод може бути використаний для визначення щільності матеріалів у підземних структурах та пошуку підземних об'єктів, таких як міни[3].

Вимір гравітаційного поля. За допомогою гравіметра вимірюється сила гравітаційного тяжіння на даній точці на поверхні Землі. Гравітометр – це спеціальний пристрій, який може вимірювати найдрібніші зміни гравітаційного поля.

Створення гравіметричних даних. Гравіметричні виміри виконуються в різних місцях, і результати вимірів фіксуються як дані. Ці дані зазвичай видаються у вигляді гравіметричних аномалій, які становлять різницю між вимірюваною силою гравітації та середньою силою гравітації на поверхні Землі.

Аналіз гравіметричних аномалій. Гравіметричні аномалії можуть виникати через відмінності в щільності ґрунту та гірських порід під землею. Місця зі змінами щільності, такі як металеві об'єкти або порожнечі, можуть створювати гравіметричні аномалії. Аналіз цих аномалій може допомогти визначити наявність підземних об'єктів, включаючи міни.

Моделювання та інтерпретація даних. Гравіметричні дані можуть бути оброблені за допомогою комп'ютерних програм для створення моделей підземних структур. Гравітаційні аномалії можуть бути інтерпретовані з

урахуванням геологічних умов та інших факторів, щоб визначити характер та місцезнаходження підземних об'єктів.

Гравіметрія часто використовують у геологічних дослідженнях, визначення структури земної кори, й у різних інженерних і геотехнічних завданнях. У контексті розмінування та пошуку мін, гравіметрія може бути одним із інструментів, що використовуються для виявлення підозрілих областей, де можуть знаходитися підземні об'єкти, що потребують додаткового дослідження та розмінування.

Магнітометрія

Магнітометрія – це метод геофізичного дослідження, який використовує вимірювання магнітного поля Землі для виявлення та вивчення підземних об'єктів. Цей метод може бути корисним для пошуку металевих об'єктів, включаючи міни[4].

Вимір магнітного поля. За допомогою магнітометра вимірюється інтенсивність магнітного поля в даній точці на поверхні Землі. Магнітометри чутливі до малих змін магнітного поля, спричинених металевими об'єктами та іншими джерелами.

Створення магнітометричних даних. Магнітометричні вимірювання виконуються на різних місцях розташування, і результати вимірювань записуються. Ці дані можуть бути представлені у вигляді магнітометричних аномалій, які відображають різницю між вимірюваною інтенсивністю магнітного поля та фоновою інтенсивністю магнітного поля, характерною для даного регіону.

Магнітометричні аномалії можуть виникати через наявність металевих об'єктів під землею. Розташування з магнітними аномаліями можуть вказувати на наявність металевих предметів, таких як міни чи інші об'єкти. Дані магнітометрії можуть бути інтерпретовані для визначення характеру та розташування підземних об'єктів. Це може включати створення карт магнітних аномалій і аналіз їх форми, розміру і глибини.

Магнітометрія широко використовується в різних галузях, включаючи геологію, археологію, дослідження магматичних та рудних утворень, а також у містобудуванні та інженерних дослідженнях. У контексті розмінування та пошуку мін, магнітометрія може бути дуже корисною для виявлення металевих мін та допомагає зробити підозрілі області більш помітними для подальшого дослідження та дій з розмінування.

Гравіметрія та магнітометрія – це два різні методи геофізичного дослідження, які використовують різні фізичні властивості для виявлення та вивчення підземних об'єктів.

Гравіметрія вивчає гравітаційне поле Землі. Цей метод вимірює силу гравітаційного тяжіння у різних точках на Землі і може використовуватися визначення щільності матеріалів під землею. Гравіметрія допомагає виявити відмінності в густині, які можуть вказувати на наявність підземних об'єктів, таких як порожнечі, рудні зони або геологічні структури. Однак гравіметрія не чутлива до металевих об'єктів і тому не є основним методом для пошуку металевих мін.

Магнітометрія навпаки, вивчає магнітне поле Землі. Цей метод вимірює інтенсивність магнітного поля та може бути використаний для виявлення металевих об'єктів під землею. Магнітометрія особливо ефективна для пошуку об'єктів, що містять метали, такі як міни або артефакти. Магнітометричні аномалії можуть виникати через наявність металевих предметів, і їх вимірювання дозволяє виявити розташування таких об'єктів.

Таким чином, гравіметрія та магнітометрія є різними методами геофізичного дослідження, кожен з яких має свої унікальні характеристики та застосування. У контексті пошуку мін, магнітометрія найчастіше використовується для виявлення металевих мін, в той час як гравіметрія може використовуватися для інших цілей, таких як вивчення геологічних структур.

Георадар

Георадар (Ground-Penetrating Radar, GPR) – це геофізичний інструмент, який використовує електромагнітні хвилі для вивчення підземних структур та об'єктів. Георадар може бути корисним при пошуку та виявленні підземних об'єктів, при виконанні різних дослідницьких та інженерних завдань, включаючи міни[5].

Випромінювання радіосигналів. Георадар генерує радіосигнали, які прямують у напрямку під землю.

Відображення сигналів. Коли радіосигнали стикаються з об'єктами або межами різних шарів (наприклад, землею, камінням, металевими об'єктами та ін.), частина цих сигналів відображається до приймача георадара.

Реєстрація та обробка даних. Георадар реєструє відображені сигнали та створює зображення підземних структур та об'єктів на основі часу, який потрібний для повернення сигналів назад до приймача. Ці дані можуть бути представлені у вигляді радарних зрізів (профілів) під поверхнею землі.

Інтерпретація результатів. Інтерпретація даних георадара виконується фахівцями. Вони аналізують радарні зрізи та визначають наявність підземних об'єктів, зміни у складі ґрунту, межі водоносних шарів та багато іншого.

Георадар може бути використаний для різних цілей, включаючи:

- Пошук металевих об'єктів: георадар чутливий до металів, тому він може бути використаний для пошуку металевих мін та інших об'єктів, що містять метал.
- Дослідження геологічних структур: георадар дозволяє вивчати геологічні структури, такі як шари ґрунту та породи, а також знаходити різні типи геологічних неоднорідностей.
- Гідрогеологічні дослідження: георадар може використовуватися для вивчення водоносних шарів та визначення їх розташування та характеристик.

– Археологічні розкопки: георадар допомагає археологам виявляти підземні артефакти та структури без необхідності розкопувати місцезнаходження.

– Інженерні дослідження: георадар використовується в інженерних роботах для дослідження складу ґрунту та підземних структур перед будівництвом, ремонтом чи обслуговуванням інфраструктури.

Георадарний метод має свої переваги, включаючи нешкідливість для довкілля та здатність проводити дослідження на великих площах. Однак результати георадарних досліджень вимагають професійної інтерпретації, і точність залежить від різних факторів, таких як глибина та склад підземних об'єктів.

Інфрачервоні камери

Інфрачервоні камери, також відомі як тепловізійні камери або тепловізори, використовуються для вимірювання інфрачервоного випромінювання, яке випромінюють об'єкти на основі їхньої температури. Вони можуть бути корисними інструментами для виявлення об'єктів, у тому числі мін на поверхні землі[6].

Принцип роботи

Інфрачервоні камери виявляють інфрачервоне випромінювання, яке є електромагнітним випромінюванням, що знаходиться поза видимим спектром. Речовини та об'єкти випромінюють інфрачервоне випромінювання залежно від їхньої температури. Тепловізори вимірюють цей інфрачервоний потік і перетворюють його на зображення, де різні кольори або відтінки відповідають різним температурам.

Виявлення об'єктів

Міни та інші об'єкти, що знаходяться на поверхні землі, зазвичай мають температуру, відмінну від навколишнього середовища. Інфрачервоні камери можуть виявляти ці об'єкти на основі різниці у температурі. Наприклад, мінні

об'єкти можуть бути теплішими або холоднішими від навколишнього ґрунту або рослинності, що робить їх виділеними на інфрачервоних зображеннях.

Інфрачервоні камери особливо корисні для виявлення об'єктів у нічний час, коли видимість обмежена. Тепловізори можуть виявляти теплові сліди, залишені об'єктами, навіть за повної темряви.

Інфрачервоні камери можуть використовуватися для виявлення аномалій, пов'язаних з об'єктами під поверхнею, такими як міни. Наприклад, міна може викликати зміни температури землі над собою, що може бути знайдено тепловізором.

Інфрачервоні камери є потужними інструментами для виявлення об'єктів із зміненою температурою, і їх застосування може бути корисним у різних областях, включаючи виявлення мін та безпеку.

Лідар (LDAR)

Лідар (від англійської "Light Detection and Ranging") – це технологія, яка використовує лазерні промені для вимірювання відстані до об'єктів та створення тривимірних карт навколишнього середовища. Лідарні системи можуть бути використані для виявлення та створення образів різних об'єктів, включаючи міни [7].

Принцип роботи

Лідар працює шляхом випромінювання коротких імпульсів лазерного світла та вимірювання часу, який потрібний для відображення лазерного променя від об'єкта та його повернення назад до приймача. З часу затримки, лідар визначає відстань до об'єкта.

Сканування довкілля. Лідар може обертатися або переміщатися, скануючи довкілля. Він вимірює відстані до всіх об'єктів, які знаходяться у його лазерному промені. Ці дані використовуються для створення точних тривимірних карток.

Міни та інші об'єкти, що знаходяться на поверхні землі або під нею, можуть створювати аномалії в тривимірних даних, отриманих за допомогою

лідара. Міна може викликати зміни висоти або форми землі, які будуть відображені на лідарних картах.

Отримані лідарні дані можуть бути аналізовані за допомогою комп'ютерних алгоритмів та програмного забезпечення. Ці алгоритми можуть автоматично виявляти аномалії, пов'язані з мінами, на основі змін у тривимірній карті.

Точність та роздільна здатність

Лідар забезпечує високу точність та дозвіл при створенні карти місцевості, що робить його потужним інструментом для виявлення мін та інших об'єктів.

Лідар може бути ефективним засобом виявлення мін, особливо якщо підземні об'єкти або частково приховані під рослинністю або землею. Ця технологія використовується в багатьох галузях, включаючи геодезію, картографію, лісогосподарство, гірничовидобування та безпеку.

1.2 Типи дронів та їх переваги та недоліки

Дрон – це безпілотний літальний апарат (БПЛА) або безпілотна авіаційна система. По суті, це робот, що літає, яким керують дистанційно або який може літати автономно з програмно-керованими планами польоту, вбудованими в його систему, які працюють спільно з датчиками і системою глобального позиціонування (GPS). Дрони бувають різних типів і розмірів і використовуються для різних цілей[8].

Види дронів

Ось короткий виклад чотирьох основних типів дронів, їх використання, їх сильних та слабких сторін:

- Мультироторні дрони
- Дрони з нерухомим крилом
- Однороторні дрони
- Гібридний вертикальний зліт та посадка з нерухомим крилом

Багатороторні дрони

Безпілотники з декількома гвинтами є найпростішим і найдешевшим варіантом, щоб отримати «око в небі». Вони також пропонують більший контроль над положенням і кадруванням, а отже, вони ідеальні для аерофотозйомки та спостереження. Їх називають багатороторними, тому що вони мають більше одного двигуна, частіше трикоптери (3 ротори), квадрокоптери (4 ротори), гексакоптери (6 роторів) і октокоптери (8 роторів), серед інших. На сьогоднішній день квадрокоптери є найпопулярнішими багатороторними дронами.



Рисунок 1.1 – Два багатороторних дрона[8]

Переваги:

Використання декількох роторів забезпечує кращий контроль літака під час польоту.

Завдяки підвищеній маневреності він може рухатися вгору і вниз по одній вертикальній лінії, ззаду вперед, з боку в бік і обернутися навколо своєї осі.

Він має здатність підлітати набагато ближче до конструкцій і будівель.

Здатність приймати кілька корисних вантажів за один політ підвищує його ефективність і скорочує час, витрачений на перевірки.

Недоліки:

Багатороторні дрони мають обмежену витривалість і швидкість, що робить їх непридатними для великомасштабного повітряного картографування, тривалого моніторингу та дистанційного огляду, наприклад трубопроводів, доріг і ліній електропередач.

Вони принципово дуже неефективні та вимагають багато енергії лише для боротьби із гравітацією та утримання їх у повітрі.

Завдяки сучасній технології батареї вони обмежуються приблизно 20-30 хвилинами, коли мають на борту легку камеру. Однак важкі мультиротори здатні нести більшу вагу, але в обмін на набагато коротший час польоту.

Через необхідність швидкої та високоточної зміни дросельної заслінки, щоб підтримувати її стабілізацію, використовувати газовий двигун для живлення кількох роторів непрактично, тому вони обмежені електричними двигунами.

Технічне використання: візуальні перевірки, теплові звіти, фотографії та відеозйомка, 3D сканування

Безпілотники з нерухомим крилом

Дрон із нерухомим крилом має одне жорстке крило, яке виглядає та працює як літак, забезпечуючи підйомну силу, а не вертикальні підйомні ротори. Таким чином, цьому типу безпілотника потрібна енергія лише для руху вперед, а не для утримання в повітрі. Це робить їх енергоефективними.



Рисунок 1.2 – Пілот безпілотної керує безпілотною з фіксованим крилом[8]

Переваги:

Безпілотною з нерухомим крилом долають більші відстані, картографують набагато більші території та тривалий час сидять, спостерігаючи за своїми об'єктами інтересу. Середній час польоту становить пару годин. Але з більшою щільністю енергії палива (газовий двигун працює), багато БПЛА з нерухомим крилом можуть залишатися в повітрі протягом 16 годин або більше.

Цей тип дронів може літати на великій висоті, має більшу вагу та є більш поблажливим у повітрі, ніж інші типи дронів.

Недоліки:

Безпілотною з нерухомим крилом можуть бути дорогими.

Навчання, як правило, потрібне для керування безпілотною з нерухомим крилом. Безпілотною літальний апарат із нерухомим крилом завжди рухається вперед, і він рухається набагато швидше, ніж багатороторни.

У більшості випадків для підняття безпілотної злітальної машини з нерухомим крилом потрібна пускова установка.

Технічне використання: аерофотокартування, безпілотна зйомка, сільське господарство, безпека, сільське господарство, будівництво.

Однороторні дрони

Однороторні типи дронів міцні та довговічні. За будовою та дизайном вони схожі на справжні вертольоти. Однороторний має лише один ротор, який схожий на одне велике обертове крило, плюс хвостовий ротор для контролю напрямку та стабільності.



Рисунок 1.3 – Однороторний безпілотник, який використовується в сільському господарстві[8]

Переваги:

Однороторний вертоліт має перевагу набагато більшої ефективності порівняно з багатороторним, яка збільшується, якщо дрон працює на газі для ще більшої витривалості.

Однороторний вертоліт дозволяє використовувати дуже довгі лопаті, які більше схожі на обертове крило, ніж на пропелер, що забезпечує високу ефективність.

Якщо потрібно зависати з важким корисним вантажем (наприклад, повітряним лазерним сканером LIDAR) або поєднувати зависання з тривалою витривалістю або швидким польотом вперед, тоді однороторний вертоліт справді найкращий вибір.

Вони створені, щоб бути міцними та довговічними.

Недоліки:

Типи однороторних безпілотників є складними та дорогими.

Вони вібрують і не такі стабільні чи пробачливі у випадку поганого приземлення.

Вони також вимагають значного обслуговування та догляду через свою механічну складність.

Довгі важкі обертові лопаті одного ротора можуть бути небезпечними.

Технічне використання: повітряне лазерне сканування LIDAR, безпілотна зйомка, перенесення важких корисних вантажів.

Гібридний VTOL з нерухомим крилом

Гібридні типи дронів VTOL поєднують переваги конструкцій із нерухомим крилом і гвинтом. Цей тип дрона має ротори, прикріплені до нерухомих крил, що дозволяє йому зависати, злітати та приземлятися вертикально. Цю нову категорію гібридів лише декілька на ринку, але з розвитком технологій цей варіант може стати набагато популярнішим у найближчі роки. Одним із прикладів гібридного VTOL з нерухомим крилом є безпілотник Prime Air від Amazon.



Рисунок 1.4 – Унікальний гібридний безпілотник VTOL з нерухомих крилом, який використовує Amazon Prime Air[8]

Переваги:

Автопілот може виконувати всю важку роботу з утримання дрона в стабільному стані, залишаючи людині-пілоту легше завдання керувати ним по небу.

Гібридні дрони VTOL пропонують найкраще з обох світів – конструкції з нерухомих крилом і гвинтом.

Вони ідеально підходять як для зависання, так і для польоту вперед.

Недоліки:

Наразі на ринку представлено лише кілька гібридних вертольотів із фіксованим крилом

Технологія, яка використовується в цих типах дронів, все ще знаходиться на стадії зародження.

Технічне використання: доставка.

Інші важливі типи дронів

Деякі з популярних типів дронів, крім згаданих вище, включають:

Маленькі дрони

Ці типи дронів використовуються в рекреаційних цілях; вони не можуть виконувати комерційні функції, які виконують інші моделі дронів. Маленькі дрони занадто легкі та не мають стабільності, необхідної для точного захоплення зображень.

Мікродрони

Це невеликі дрони, але вони все одно можуть надавати цінну розвідувальну інформацію завдяки своїм мікрокамерам. Британські військові зазвичай використовують цей дрон, і він називається Black Hornet. Black Hornets можуть літати до 25 хвилин (одна зарядка) і мають радіус дії до однієї милі [8].

Тактичні дрони

Ці дрони великі, але не громіздкі. Оснащені технологією GPS та інфрачервоними камерами, вони мають розміри 4,5 футів і важать 4,2 фунта. Їх часто використовують для спостереження.

Розвідувальні дрони

Ці безпілотники мають приблизно 16 футів у довжину, понад 2200 фунтів і зависають протягом 52 годин на висоті 35 000 футів. Їх можна запускати з землі, і вони відомі як високовисотні дрони довготривалої витривалості (HALE) і середньовисотні дрони довготривалої витривалості (MALE) [8].

Великі бойові дрони

Ці типи безпілотників мають довжину приблизно 36 футів і зазвичай використовуються для стрільби по цілях бомбами з лазерним наведенням або ракетами «повітря-поверхня». Вони мають радіус дії понад 1000 миль і можуть використовуватися до 14 годин поспіль.

Великі небойові дрони

Незважаючи на великі розміри, ці дрони не для бою. Вони складніші за Black Hornet і використовуються для більш масштабних розвідувальних місій.

Цільові та приманні дрони

Ці типи безпілотників використовуються для спостереження та ураження цілей. Вигляд дрона-приманки зазвичай залежить від місії.

GPS дрони

Цей тип дрона зв'язується із супутниками через підключення GPS, щоб нанести на карту решту свого польоту, збираючи дані, які можна отримати для прийняття обґрунтованих рішень.

Фотодрони

Фотодрони оснащені камерами професійного рівня. Безпілотники з камерою 4K можуть робити знімки високої роздільної здатності. Ці типи безпілотних літальних апаратів використовують автоматичний режим польоту та точну стабільність для фотографування величезних просторів [8].

Переваги керування та недоліки гексакоптерів та квадрокоптерів

Керування квадрокоптером відбувається за допомогою управління тягою та трьома крутними моментами (крен, нахил, ристання). Це дозволяє досягати потрібної тяги та орієнтації шляхом регулювання швидкості чотирьох двигунів.

Гексакоптер має шість двигунів, що надає більшу гнучкість. Кожен двигун може бути налаштований на шість швидкостей, що відповідають за тягу та крутні моменти. Це збільшує можливості в налаштуванні та акробатичності дрона.

Одна з переваг гексакоптера полягає в меншій втраті енергії та часу під час корекцій руху, оскільки деякі ротори можуть залишатися без змін швидкості, мінімізуючи зміни в інших роторах.

В цілому, гексакоптери мають більший потенціал для точного керування та швидшої реакції на зміни, що робить їх перевагою для складних маневрів і вимогливих умов польотів.

1.3 Огляд літератури та конкурентних рішень

Багатоцільовий безпілотник Herc M180



Рисунок 1.5 – Багатоцільовий безпілотник Herc M180[9]

Herc M180 – це гексакоптерна важка платформа, яка є дуже міцною та має малу вагу, високу міцність і хорошу стабільність.

Фюзеляж виготовлено з 3к вуглецевого волокна та композитного матеріалу, який інтегрований у процес формування. Конструкція кронштейна швидко знімається, що робить M180 легким у транспортуванні та швидкому налаштуванні.

Оснащений 2 батареями 12 s 30000mAh, максимальна злітна вага становить до 32 кг і діапазон 118 хвилин без навантаження. Час польоту становить близько 75 хвилин з вантажем 5,5 кг і 55 хвилин з вантажем 10 кг. А

максимальна швидкість польоту становить 25 м/с, висота польоту може досягати 5000 м. Його можна застосовувати в таких сферах, як логістика, транспортування, пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи тощо.

Основні технічні характеристики Herc M180 зібрані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики Herc M180[9]

Характеристики Herc M180	
Характеристика	Опис
Тип	Гексакоптер
Матеріал	Вуглецеве волокно
Вага	8кг (без вантажа та батареї)
Максимальне навантаження	12кг
Час польоту	118 хвилин (без вантажу)
Батарея	2* 12S 30AH HED Li-Ion battery
Максимальна швидкість польоту	25м/с

DJI Agras T10 – це дрон, спеціально розроблений для використання в сільському господарстві та сільському господарстві.



Рисунок 1.6 – Сільськогосподарський гібридний квадрокоптер DJI AGRAS T10 [10]

Ось деякі з його переваг та характеристики:

Agras T10 оснащений потужними моторами, що дозволяють йому легко піднімати значну вагу. Це робить його ідеальним для транспортування добрив, обприскування та інших сільськогосподарських застосувань.

Дрон може програмуватися для автономних польотів та точного розподілу матеріалів. Він може працювати з великою точністю, що дозволяє ефективно виконувати завдання великого масштабу.

Agras T10 має модульну конструкцію, що полегшує обслуговування та заміну деталей, якщо це необхідно. Він може працювати на великій відстані від оператора і володіє високою швидкістю польоту, що дозволяє ефективно виконувати завдання. Agras T10 може бути обладнаний камерами та датчиками, які допомагають в розпізнаванні рослин, аналізі поля та виконанні інших завдань з управління землею.

Він може інтегруватися з сільськогосподарським програмним забезпеченням для оптимізації процесів вирощування та управління фермою.

Загалом, DJI Agras T10 – це потужний та ефективний інструмент для сільського господарства, який може значно підвищити продуктивність та ефективність сільськогосподарських операцій.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики DJI Agras T10 [10]

Характеристики DJI Agras T10	
Характеристика	Опис
Час польоту	До 15-20 хвилин (залежно від навантаження та умов польоту)
Максимальна швидкість	До 8 м/с (18 км/год)
Робочий об'єм	До 40 літрів
Тип матеріалу	Карбонові волокна, алюміній, пластик
Робоче навантаження	Добрива, обприскувачі, рідини, інші матеріали

Система навігації	GPS, GLONASS
Режим автономного польоту	Є, можливість програмування маршрутів та точних розподілів
Система безпеки	Датчики для уникнення перешкод, система виявлення та уникнення зіткнень
Вага	Приблизно 50 кг (з вантажем та батареями)

Perimeter 8 UAS

Perimeter 8 UAS від Skyfront – це безпілотний літальний апарат, призначений для використання у комерційних та промислових цілях [11].



Рисунок 1.7 – Мультифункціональний дрон для виконання різних операцій на землю Perimeter 8 UAS

Ось деякі з його переваг та характеристики:

Perimeter 8 UAS має вражаючу дальність польоту, що робить його ідеальним для довгих місій без зміни акумуляторів.

Велика максимальна швидкість: Цей дрон може розвивати велику максимальну швидкість, що дозволяє швидко діставатися до віддалених місць та ефективно виконувати завдання.

Завдяки ефективній системі живлення та енергоефективним компонентам Perimeter 8 UAS може працювати протягом тривалого часу без перерви. Дрон оснащений системами стабілізації, які забезпечують високу стабільність польоту, навіть у вітряні умови або у складних теренних умовах.

Високий рівень безпеки Perimeter 8 UAS розроблений з урахуванням вимог безпеки, що дозволяє йому безпечно працювати в різних сценаріях, включаючи близькість до людей та майна.

Дрон має різні опції налаштування, що дозволяє користувачам адаптувати його до різних видів місій та завдань.

Широкі можливості використання, Perimeter 8 UAS може бути використаний у різних сферах, включаючи зйомку відео та фото, дослідження, моніторинг, пошук та рятувальні операції, агрономію та багато іншого.

Загалом, Perimeter 8 UAS від Skyfront є потужним та надійним засобом для виконання різноманітних завдань у сферах комерційного та промислового застосування.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики Perimeter 8 UAS [11]

Характеристики Perimeter 8 UAS	
Характеристика	Опис
Час польоту	До 5 годин або більше в залежності від умов
Максимальна швидкість	До 80 км/год
Дальність польоту	До 100 км або більше
Максимальна вага навантаження	До 3 кг
Тип матеріалу	Карбонові волокна, алюміній, пластик

Камера	Опціонально, з можливістю зйомки відео та фото
Система стабілізації	Вбудована, заснована на гіроскопах та акселерометрах
Система навігації	GPS, GLONASS, Galileo
Максимальна висота польоту	До 500 метрів
Тип живлення	Літій-полімерний акумулятор
Вага	Приблизно 5-7 кг залежно від конфігурації

АСК електророзвідки

Прикладом спроб будувати автоматизовані системи керування до складу яких входить носієм устаткуванням БПЛА відносяться, електророзвідка яка передбачає постановку на поверхні землі електродів, ці електроди об'єднанні в систему встановлені на ґрунт і мають канали зв'язку з оператором технологічного процесу, вимірювання опору ведеться систематично вздовж часу. Один або кілька електродів подають електричний струм у ґрунт, а інші електроди вимірюють напругу. Вимірюють опір ґрунту, який визначається електричною провідністю (опір) матеріалу.

Один оператор що керує рухом коли розставляються електроди, керує рухом коли вони збираються. Другий оператор який контролює технологічний процес, вимірює опір, вимірює ємність, аналізує параметри, робить висновки і передає інформацію до особи що приймає рішення.

Недоліком є один і той оператор керує і технологічним процесом і рухом БПЛА.

Для подальшого розвитку враховуючи тенденції розвитку і систем контролю вимірювальної техніки і автоматизованих систем керування в подальшому цей приклад буде взятий за основу для формулювання технічних

засобів усунення цих недоліків і розвитку автоматизованої системи відповідно до потреб теми роботи буде зроблено в даній роботі.

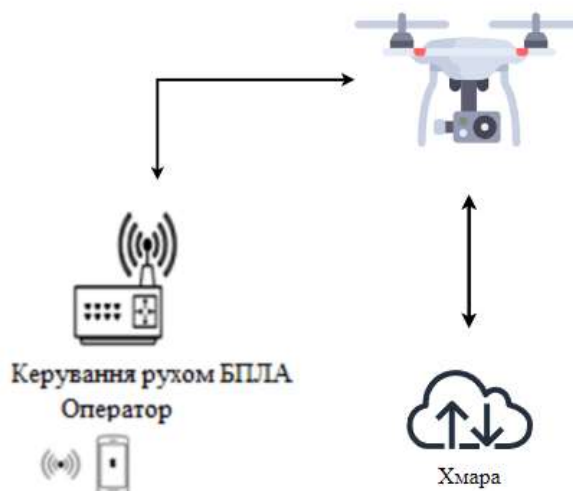


Рисунок 1.8 – Функціональна схема АСК БПЛА електророзвідки

1.4 Завдання на проектування

Проаналізувавши та визначивши недоліки відомих конкурентних рішень, вирішено створити гексакоптер для виявлення об'єктів на земельній ділянці, для цього необхідно реалізувати наступні пункти:

1. Стабілізувати систему, тим самим покращити маневреність, та ефективне керування автоматизованого безпілотного літального апарату.
2. Розробити систему датчиків для виявлення об'єктів на земельній ділянці.
3. Реалізувати автоматичне сканування певної ділянки та обробки даних та відправки їх на комп'ютер оператора.
4. Реалізувати можливість ручного управління за допомогою пульта дистанційного керування при виникненні непередбачених несправностей.
5. Реалізувати автоматичне повернення додому при команді оператора.
6. Досягнути на порядок вищої експлуатаційної надійності за рахунок підбору блоків.

Висновки до першого розділу

1. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все популярнішими у всьому світі, що підтверджується зростанням їх числа на авіаційних виставках. Цей клас літальних апаратів користується великою популярністю завдяки численним перевагам порівняно з пілотованою авіацією, зокрема відсутністю потреби у екіпажі, невисокою вартістю створення, виробництва та експлуатації, а також значною тривалістю і дальністю польотів.

2. Переваги електророзвідки включають те, що вона не вимагає проникнення під землю і дозволяє досліджувати великі площі. Однак цей метод має свої обмеження, оскільки він залежить від електричних властивостей ґрунту та може бути менш точним у разі складних геологічних умов.

3. Георадар (Ground-Penetrating Radar, GPR) – це геофізичний інструмент, який використовує електромагнітні хвилі для вивчення підземних структур та об'єктів. Георадар може бути корисним при пошуку та виявленні підземних об'єктів, при виконанні різних дослідницьких та інженерних завдань, включаючи міни

4. Дрон – це безпілотний літальний апарат (БПЛА) або безпілотна авіаційна система. По суті, це робот, що літає, яким керують дистанційно або який може літати автономно з програмно-керованими планами польоту, вбудованими в його систему, які працюють спільно з датчиками і системою глобального позиціонування (GPS). Дрони бувають різних типів і розмірів і використовуються для різних цілей.

5. Лідар працює шляхом випромінювання коротких імпульсів лазерного світла та вимірювання часу, який потрібний для відображення лазерного променя від об'єкта та його повернення назад до приймача. З часу затримки, лідар визначає відстань до об'єкта.

2 РОЗВИТОК СТРУКТУРИ, ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ

2.1 Розвиток АСК БПЛА пошуку та виміру властивостей об'єктів на наземних ділянках

На підставі аналізу стану та тенденцій розвитку АСК різного призначення, що зроблено у першому розділі, було сформовано відповідно до завдання структуру одного з можливих варіантів АСК БПЛА пошуку та виміру. Функціональна схема такого варіанту представлено на рисунку 2.1.

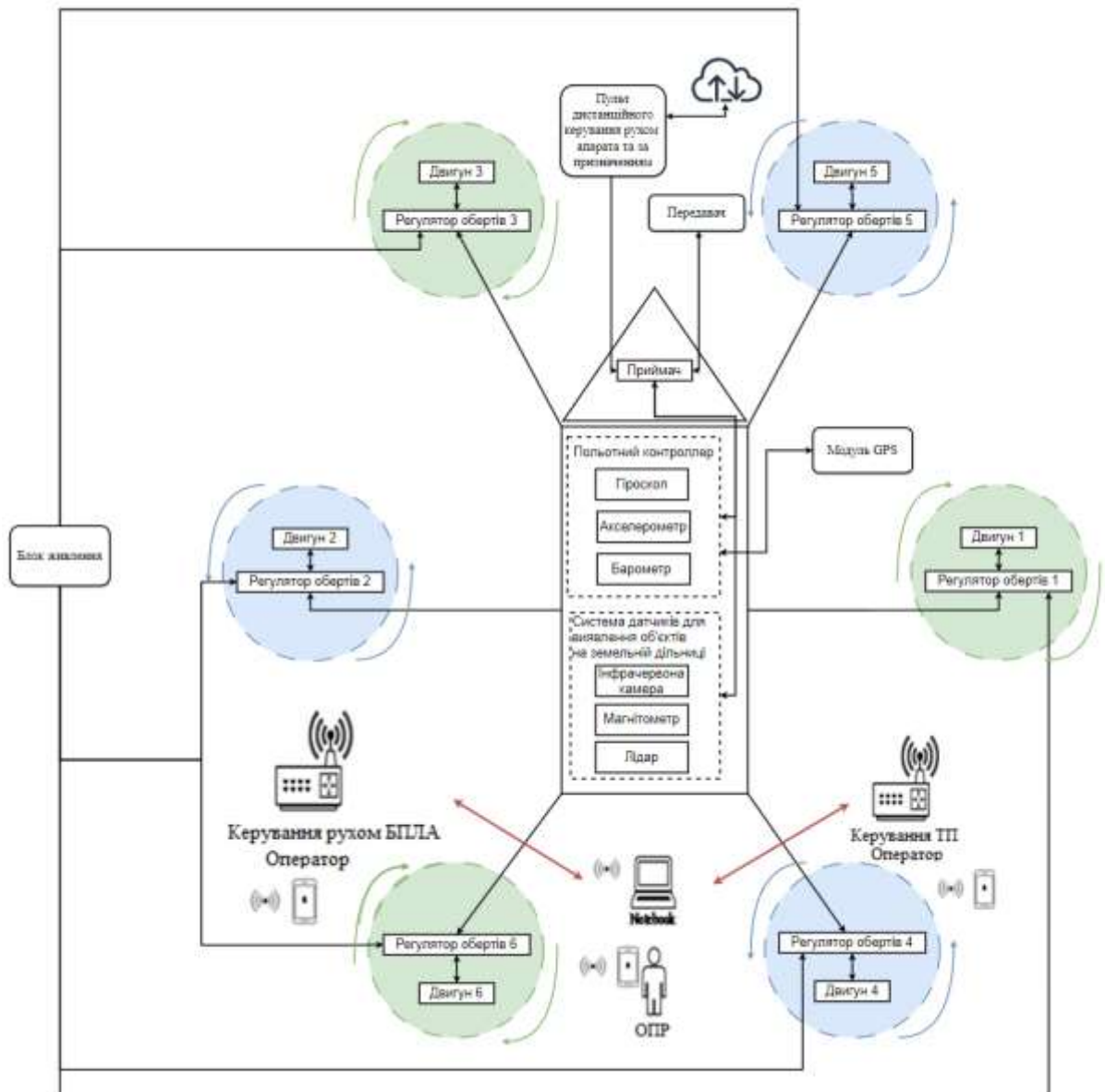


Рисунок 2.1 – Функціональна схема АСК БПЛА для пошуку і виявлення об'єктів на поверхні земельної ділянки[12]

Узагальнена архітектура складається з наступних блоків: система забезпечення руху, система забезпечення зв'язку (двухстороннього), система запису відображень, системи контролю положення в просторі, система визначення координат, системи визначення фізичних властивостей об'єктів наземних ділянок.

До системи забезпечення руху відноситься:

Польотний контролер – це центральний компонент безпілотного літального апарата (БПЛА), який відповідає за управління всіма аспектами польоту. Він отримує та обробляє дані від різних датчиків, таких як акселерометри, гіроскопи, GPS, компаси та інші, для підтримки стабільності і керуваності апарата.

- Забезпечує стабільність і рівновагу апарата у повітрі, автоматично коригуючи положення та рухи.
- Обробляє дані GPS та інших навігаційних систем для визначення місця розташування і напрямку польоту.
- Виконує автоматичні маневри та маршрути, запрограмовані заздалегідь або задані у реальному часі.
- Приймає сигнали від пульта управління і виконує відповідні дії, такі як зміна висоти, швидкості або напрямку.
- Включає функції повернення додому (Return to Home), автоматичне приземлення у випадку втрати сигналу або низького рівня заряду батареї.

Регулятор обертів (ESC, Electronic Speed Controller) – це електронний пристрій, який керує швидкістю обертання електродвигунів у безпілотних літальних апаратах (БПЛА). Він перетворює сигнали від польотного контролера в кутове прискорення та кутову швидкість (число обертів пропелера і закони їх зміни) електродвигунів, дозволяючи контролювати швидкість, напрямок і гальмування обертання.

Основні функції регулятора обертів включають:

– Регулює швидкість обертання пропелерів, що дозволяє точно керувати підйомом, спуском, нахилом і поворотом БПЛА.

– Швидке та точне реагування на команди польотного контролера для підтримки стабільності та маневреності апарата.

Пульт дистанційного керування автоматизованою системою і рухом апарата та за призначенням.

До системи забезпечення зв'язку відноситься:

Приймач – електронний пристрій, що підключається до польотного контролера та передає на нього команди від пульта керування.

Передавач – частина пульта керування яка відповідає за передавання команд від пульта до безпілотного літального пристрою.

Модуль LoRa (Long Range) є технологією бездротового зв'язку, яка спеціально розроблена для передачі даних на великі відстані з максимальним зниженням споживання енергії.

До системи запису відображень відноситься:

Інфрачервоні камера і також звичайна камера.

Інфрачервоні камера використовуються у безпілотних літальних апаратах (БПЛА) для виявлення об'єктів на основі їх теплового випромінювання. Вони мають широкий спектр застосувань, від рятувальних операцій до агрономії та військових операцій.

До системи контролю положення в просторі відноситься:

Акселерометр – це сенсор, який вимірює прискорення об'єкта по різних осях (зазвичай x , y і z). У контексті системи контролю положення гексакоптера, акселерометр допомагає визначити нахил, прискорення та орієнтацію об'єкта. Це важливо для стабілізації польоту і коригування положення в просторі.

Основні функції акселерометра:

– Вимірювання прискорення. Акселерометр вимірює прискорення вздовж трьох ортогональних осей (x , y , z). Це дозволяє визначити напрямок і величину прискорення об'єкта.

– Визначення нахилу. На основі вимірюваного прискорення можна визначити нахил гексакоптера відносно горизонталі. Це особливо важливо для стабілізації польоту.

Гіроскоп – це пристрій, що вимірює або підтримує орієнтацію та кутову швидкість об'єкта, до якого він прикріплений. Вони використовуються для визначення напрямку або швидкості обертання навколо трьох осей: X , Y і Z .

Основні характеристики гіроскопа включають:

– Гіроскопи вимірюють швидкість обертання навколо трьох осей. Це дозволяє визначити, як швидко і в якому напрямку обертається об'єкт.

– Гіроскопи зазвичай вимірюють кутову швидкість вздовж трьох осей: X (продольна ось), Y (поперечна ось) і Z (вертикальна ось).

До системи визначення координат відноситься:

GPS (Global Positioning System) - це система глобального позиціонування, яка використовується для визначення точного місцезнаходження об'єкта на Землі. Вона базується на використанні супутників, які передають сигнали на приймачі GPS, дозволяючи визначати координати місця розташування.

Основні характеристики GPS включають:

– Точність позиціонування: Сучасні GPS-приймачі можуть визначати координати з точністю до кількох метрів, а при використанні додаткових методів корекції (наприклад, DGPS) - до сантиметрів.

– Координати: GPS визначає положення в тривимірному просторі за допомогою координат: широта (latitude), довгота (longitude) і висота (altitude).

До системи визначення фізичних властивостей об'єктів наземних ділянок відноситься:

Лідар (Light Detection and Ranging) – це технологія дистанційного зондування, яка використовує світло у вигляді лазера для вимірювання відстаней до об'єктів. Лідари є важливими компонентами в безпілотних літальних апаратах (БПЛА) для різних застосувань, включаючи картографію, виявлення перешкод і автономну навігацію.

Магнітометр - це пристрій, який вимірює і реєструє магнітне поле в певній точці простору. Вони використовуються для визначення магнітних властивостей об'єктів, навігації за магнітним полем або в геофізичних дослідженнях.

До системи забезпечення живлення відноситься:

Літій-полімерні батареї і також плата розподілу живлення.

Літій-полімерні батареї (LiPo) є одними з найпопулярніших джерел живлення для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) завдяки їх високій енергетичній щільності, легкій вазі та здатності забезпечувати високі струми.

2.2 Сутність будови гексакоптера та інноваційні особливості для удосконалення

Аналізуючи два альтернативних варіанти квадрокоптер і гексакоптер на підставі імперичного досвіду який отримано і узагальнено із аналітичного огляду (розділ 1) визначено, що гексакоптер для виконання плавних рухів під час вимірів більш придатний. В зв'язку з чим до складу цієї АСК було залучено гексакоптер з такими характеристиками.

Опис будови гексакоптера

Гексакоптер, також відомий як мультикоптер з шістьма двигунами, - це літальний апарат, що складається з шести радіальних променів, які з'єднані центральною платформою. На кожному промені розміщений двигун з пропелером, що забезпечує тягу та маневреність.

Основні компоненти гексакоптера:

- Рама. Центральна платформа, до якої кріпляться всі інші

компоненти. Виготовляється з міцних, легких матеріалів, таких як карбон або алюміній.

- Промені. Шість радіальних рук, що з'єднують раму з двигунами.
- Двигуни. Електричні двигуни, що приводять у рух пропелери.
- Пропелери. Лопаті, що обертаються, створюючи тягу для польоту.
- Електронний швидкісний контролер (ESC), регулює швидкість обертання кожного двигуна.
- Акумуляторна батарея, живить всі електронні компоненти.
- Політний контролер, бортовий комп'ютер, який керує польотом гексакоптера, обробляючи дані з датчиків та приймаючи команди від пульта дистанційного керування.
- Датчики. Гіроскоп, акселерометр, магнітометр та барометр, які надають інформацію про положення, орієнтацію та висоту дрону.
- Пульт дистанційного керування. Пристрій, який використовується для керування польотом дрону та його камерами.
- Корисне навантаження, додаткові компоненти, які можуть бути встановлені на дрон, такі як камери, датчики або маніпулятори.

Принцип роботи 6 двигунів:

Гексакоптер використовує шість двигунів, розташованих на трьох парах променів, що радіально відходять від центральної платформи. Кожен двигун з'єднаний з пропелером, який обертається, створюючи тягу. Ця тяга використовується для підняття та маневрування гексакоптера в повітрі.

Коли всі шість двигунів обертаються в одному напрямку, вони створюють тягу, що перевищує вагу гексакоптера, піднімаючи його в повітря.

Збільшення або зменшення швидкості обертання передніх і задніх двигунів призводить до нахилу гексакоптера вперед або назад, відповідно, що спричиняє його рух у цих напрямках.

Збільшення або зменшення швидкості обертання лівих і правих двигунів призводить до нахилу гексакоптера вліво або вправо, відповідно, що

спричиняє його рух у цих напрямках.

Збільшення швидкості обертання двох двигунів з одного боку та зменшення швидкості обертання двох двигунів з іншого боку призводить до нахилу гексакоптера в бік з більшою швидкістю обертання, що спричиняє його обертання навколо своєї осі.

Важливо зазначити, що:

Політ гексакоптера контролюється бортовим комп'ютером, який постійно обробляє дані з датчиків (гіроскопа, акселерометра, магнітометра) та пульта дистанційного керування. Комп'ютер регулює швидкість обертання кожного двигуна, щоб підтримувати стабільність гексакоптера та виконувати команди пілота.

Завдяки шістьом двигунам гексакоптери мають високу ступінь надмірності, що означає, що вони можуть продовжувати летіти, навіть якщо один або два двигуни вийдуть з ладу.

Переваги 6 двигунів:

Більша стабільність: 6 двигунів забезпечують більш стійкий політ, роблячи дрон менш чутливими до вітру та інших турбулентностей.

Підвищена вантажопідйомність: 6 двигунів дають більше потужності, що дозволяє гексакоптерам нести більше корисної ваги, наприклад, камери, датчики або маніпулятори.

Більша безпека: завдяки надмірності гексакоптери з 6 двигунами можуть безпечно летіти, навіть якщо один або два двигуни вийдуть з ладу.

Більша маневреність: 6 двигунів дають гексакоптеру більшу маневреність, що дозволяє йому виконувати більш складні маневри.

Загалом, 6 двигунів роблять гексакоптери більш стабільними, потужними, безпечними та маневреними, що робить їх кращим вибором для багатьох застосувань, ніж квадрокоптери з 4 двигунами.

Переваги використання системи датчиків для виявлення об'єктів на земельній ділянці:

Інфрачервона камера здатна фіксувати деталі текстури та кольору поверхні, що може бути корисно для ідентифікації рослинності, типів ґрунту та інших візуальних характеристик. Лідар вимірює відстань до поверхні з високою точністю, що дозволяє створити детальну 3D-модель рельєфу ділянки. Магнітометр вимірює магнітне поле Землі, що може бути корисно для корекції даних інших датчиків та покращення точності 3D-моделі.

Застосування:

- Сільське господарство: сканування земельної ділянки для оцінки стану ґрунту, рослинності та виявлення проблем.
- Будівництво: сканування місцевості для планування будівельних проектів та оцінки обсягів земляних робіт.
- Археологія: сканування археологічних пам'яток для створення 3D-моделей та виявлення підземних структур.
- Дослідження: сканування природних ландшафтів для вивчення геологічних особливостей та екосистем.

2.3 Обґрунтування та вибір блоків для дрону

Щоб забезпечити такий стабільний рух гексакоптра було проаналізовано такі блоки:

Контролер польоту Matek F405-STD

Основні технічні характеристики контролеру польоту Matek F405-STD зібрані в таблиці 2.1 [13].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики різьбової контролер польоту Matek F405-STD [13]

Контролер польоту Matek F405-STD	
Характеристика	Опис
Мікроконтролер	STM32F405RG
Частота мікроконтролера	168 МГц

Оперативна пам'ять (RAM)	192 КБ
Вбудована пам'ять (Flash)	1 МБ
Інтерфейси	UART, I2C, SPI, CAN, USB
Інтегровані сенсори	Барометр BMP280
Підтримка GPS	Так
Інші особливості	Підтримка OSD (On-Screen Display) через Betaflight OSD
Живлення	5V з можливістю підключення Lipo (2S - 6S)
Розміри	36 x 36 мм
Сумісність з програмним забезпеченням	Betaflight, Cleanflight, iNav, PX4, ArduPilot

Ці характеристики роблять контролер Matek F405-STD відмінним вибором для різних типів дронів із підтримкою різних функцій і інтерфейсів для зовнішніх пристроїв та датчиків.

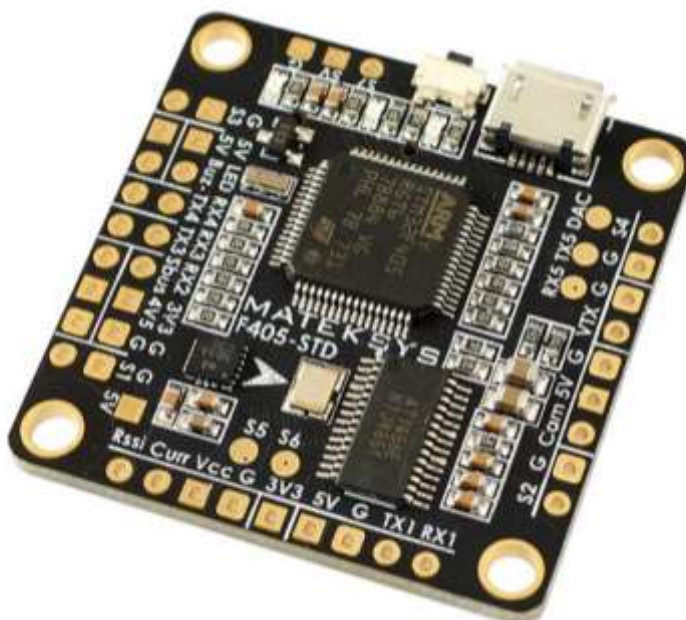


Рисунок 2.2 – Польотний контролер Matek F405-STD [13]

Плата розподілу живлення MATEKSYS FCHUB-6S PDB (Power Distribution Board)

MATEKSYS FCHUB-6S PDB (Power Distribution Board) є компонентом, який використовується в квадрокоптерах і інших багтороторних літальних апаратах для розподілу живлення і управління електричними компонентами.

FCHUB-6S PDB був розроблений для підключення безпосередньо до контролера польоту Matek F405-OSD, його також можна використовувати з іншими контролерами польоту за допомогою контактних панелей для підключення до контролера польоту.

Цей PDB розподіляє живлення від блоку LiPo 3~6S до 4 ESC, а також забезпечує регульовані та відфільтровані виходи постійного струму 5 В і 10 В постійного струму для живлення камер, приймача RC, контролерів польоту, відеопередавачів, світлодіодів тощо.

Він також має вбудований датчик струму 184 А та пропонує роз'єм FFC для зручного підключення контролера польоту Matek F405-OSD.

Основні технічні характеристики плати розподілу живлення MATEKSYS FCHUB-6S PDB зібрані в таблиці 2.2 [14].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики плати розподілу живлення MATEKSYS FCHUB-6S PDB [14]

MATEKSYS FCHUB-6S PDB	
Характеристика	Опис
Напруга живлення	3S до 6S LiPo (11.1V до 25.2V)
Максимальний струм	184A
Інтегровані функції	Захист від короткого замикання і перевантаження, індикатори стану
Індикатори стану	LED індикація для відображення робочого стану
Розміри	30.5x30.5 мм

Вага	8.5 грам
Монтажні отвори	Стандартні отвори для монтажу на раму дрона
Сумісність	Сумісний з різними контролерами польоту і програмним забезпеченням
Захист і надійність	Вбудовані заходи захисту для надійної роботи

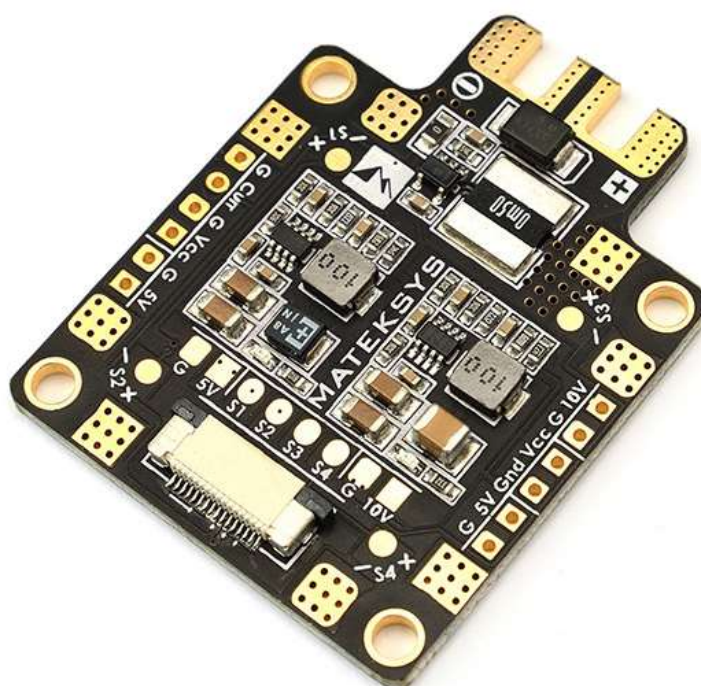


Рисунок 2.3 – Плата розподілу живлення MATEKSYS FCHUB-6S PDB [14]

GPS модуль Ublox NEO-M8N

GPS модуль Ublox NEO-M8N можна використовувати з контролерами польоту, такими як Matek F405-STD, для забезпечення точної навігації, автопілоту і відстеження положення дрона. Він підходить як для професійного, так і для хобістичного використання, де точність і надійність геопозиціонування є ключовими факторами.

Особливості:

- Висока чутливість: -167 дБм забезпечує швидку і надійну фіксацію супутників, навіть в умовах поганої видимості супутників.

– Широкий діапазон підтримки систем: підтримка GPS і GLONASS, що дозволяє отримувати більш точні результати і більш стабільну роботу в різних місцях і умовах.

– Низька споживана потужність: 30 мА при 5V, що робить його ефективним варіантом для використання у батарейно живлених пристроях, таких як дрони.

Основні технічні характеристики GPS модулю Ublox NEO-M8N зібрані в таблиці 2.3 [15].

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики GPS модулю Ublox NEO-M8N [15]

GPS модуль Ublox NEO-M8N	
Характеристика	Опис
Чіпсет GPS	u-blox NEO-M8N
Підтримувані системи	GPS, GLONASS
Інтерфейс підключення	UART
Чутливість	-167 дБм
Частота оновлення	До 10 Гц
Підтримка додаткових систем	Galileo, QZSS, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)
Вихідні дані	NMEA, UBX
Вхідна напруга	5V
Споживана потужність	30 мА (при 5V)
Розміри	26 мм x 16 мм
Вага	7 г
Температурний діапазон	Від -40°C до +85°C



Рисунок 2.4 – GPS модуль Ublox NEO-M8N [15]

Акселерометр та гіроскоп MPU-6050

MPU-6050 – це шестизональний MEMS датчик, який поєднує в собі три осі гіроскопа і три осі акселерометра. Цей датчик відкриває широкі можливості для вимірювання руху та орієнтації в різних застосуваннях, включаючи дрони, робототехніку, віртуальну реальність, мобільні пристрої та інші.

– MPU-6050 відомий своєю високою точністю і стабільністю вимірювання руху, що робить його ідеальним для застосувань, де потрібна точна орієнтація та навігація.

– Використовується у багатьох пристроях, включаючи дрони для стабілізації і навігації, а також у мобільних пристроях для вимірювання кутової швидкості та орієнтації.

– Забезпечує ефективне використання енергії, що важливо для мобільних пристроїв і пристроїв з обмеженими живленням.

Основні технічні характеристики MPU-6050 зібрані в таблиці 2.4 [16].

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики MPU-6050 [16]

MPU-6050	
Характеристика	Опис
Тип сенсора	3-осний гіроскоп і 3-осний акселерометр
Діапазон вимірювання гіроскопа	± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 градусів за секунду
Діапазон вимірювання акселерометра	$\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
Інтерфейс підключення	I2C, SPI
Робоча напруга	3.3V
Розміри	Зазвичай 4x4 мм або 3x3 мм
Особливості	Висока точність, стабільність, низьке споживання енергії

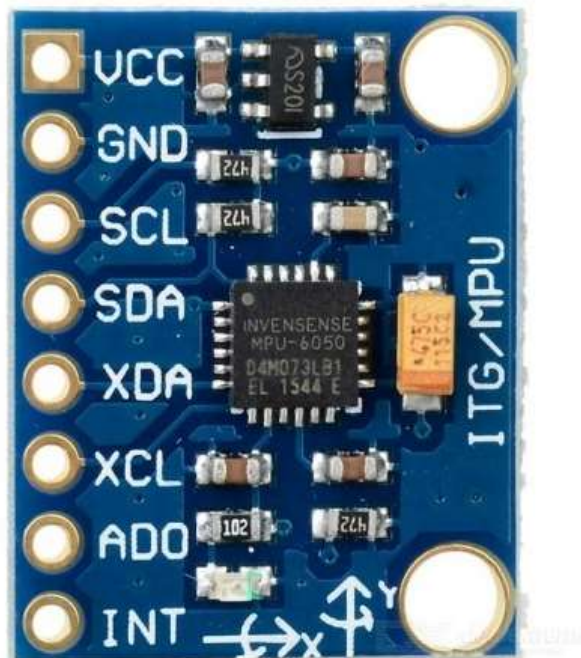


Рисунок 2.5 – Модуль MPU-6050 [16]

Безколекторні двигуни EMAX ECO Series 2207

EMAX ECO Series 2207 використовує інноваційну конструкцію з подвійним анодованим дзвоном і посиленням порожнистим сталевим валом, що забезпечує низьку вагу і високу міцність. Вони використовують запатентовану технологію виробництва, яка дозволяє досягти оптимального балансу між швидкістю, контролем і потужністю. Мідний сплав, розроблений EMAX, забезпечує ефективний потік електронів, що підвищує ефективність моторів. Крім того, мотори оснащені багатожильною мідною обмоткою для покращення продуктивності та великими підшипниками EZO розміром 9x4 мм, що забезпечує стабільну роботу і довговічність.

Основні технічні характеристики EMAX ECO Series 2207 зібрані в таблиці 2.5 [17].

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики EMAX ECO Series 2207 [17]

EMAX ECO Series 2207	
Характеристика	Опис
Конфігурація	12N14P
Довжина	32.6 мм
Діаметр	27.45 мм
Живлення	2400KV 3-4S LiPo, 1700-1900KV 3-6S LiPo
Діаметр вала	M5
Пропелер	5 - 7 дюймів
Напрямок різьблення вала	CW (годинниковий)
Кабель	Силіконовий, 115 мм, 20AWG
Отвори для монтажу	16 x 16 мм
Вага	31.5 г (без кабеля)

Конструкція дзвона	Подвійний анодований
Матеріал вала	Посилений порожнистий сталевий
Обмотка	Багатожилйна мідна
Підшипники	EZO 9x4 мм
Особливості	Висока міцність і ефективність, низька вага



Рисунок 2.6 – Безколекторний двигун EMAX ECO Series 2207 [17]

Регулятор ходу (ESC) HobbyWing Flyfun-40A (FLP40A-V5)

Регулятор ходу (ESC) HobbyWing Flyfun-40A (FLP40A-V5) – це компонент, призначений для управління швидкістю обертання безколекторного мотора в багатоканальних дронах.

Особливості:

- Завдяки струмовій оцінці 40А і піковому струму до 55А протягом 10 секунд, регулятор ходу забезпечує стабільну і безперебійну роботу навіть у вимогливих умовах польоту.
- Підтримує роботу з акумуляторами від 2S до 6S LiPo, що дозволяє використовувати його в різних конфігураціях дрона з різними потужностями.

– Оснащений вбудованим ВЕС з вихідною напругою 5V і потужністю 3A, що забезпечує стабільне живлення для електроніки дрона, такої як приймачі і сервоприводи.

– Підтримує програмування через програматор або сигнальний кабель, що дозволяє налаштовувати різні параметри, включаючи тримач газу, тип гальма, напрямок обертання і м'якість газу, для досягнення оптимальних польотних характеристик.

– Має вбудовані захисти від перевантаження, низької напруги, перегріву та короткого замикання, що гарантує безпеку і тривалість експлуатації регулятора.

– Компактні розміри і вага приблизно 38 грамів (без кабелю та радіатора) забезпечують мінімальне навантаження на структуру дрона і сприяють зниженню загальної ваги.

Основні технічні характеристики HobbyWing Flyfun-40A зібрані в таблиці 2.6 [18].

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики HobbyWing Flyfun-40A [18]

HobbyWing Flyfun-40A	
Характеристика	Опис
Модель	HobbyWing Flyfun-40A (FLP40A-V5)
Постійний струм	40A
Максимальний струм (протягом 10 секунд)	55A
Тип батареї	2-6S LiPo
ВЕС (Built-in Battery Elimination Circuit)	5V / 3A
Підтримка програмування	Через програматор або сигнальний кабель
Режими програмування	Тримач газу, тип гальма, напрямок

	обертання, м'якість газу тощо
Вага	38 грамів (без кабелю та радіатора)
Розміри	68 x 25 x 8 мм
Підключення	Штекери для мотора: 3.5 мм
Захист	Захист від перевантаження, низького напруги, перегріву та короткого замикання



Рисунок 2.7 – Регулятор ходу (ESC) HobbyWing Flyfun-40A (FLP40A-V5) [18]

iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60

iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60 – це надійне джерело живлення. Його ємність 6000mAh забезпечує тривалий час польоту без необхідності частої заміни акумулятора. Цей акумулятор з напругою 22.2V забезпечує стабільну роботу дрону на великих відстанях, уникнувши проблем з втратою сигналу або збоїв через недостатню потужність.

Конфігурація 6S дозволяє акумулятору надавати високу потужність і продуктивність, забезпечуючи вам швидкість і маневреність під час польотів. Рейтинг розряду 45C забезпечує стабільну роботу акумулятора навіть під час інтенсивних польотних умов, гарантуючи надійне живлення дрона.

Акумулятор оснащений роз'ємом XT60 для надійного з'єднання з дроном, що забезпечує стабільний сигнал живлення без перебоїв.

Основні технічні характеристики iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60 зібрані в таблиці 2.7 [19].

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60 [19]

iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60	
Характеристика	Опис
Ємність	HobbyWing Flyfun-40A (FLP40A-V5)
Комбінація комірок	6S1P
Струм розряду	45C
Вага	810 г
Розмір	48 мм x 53 мм x 155 мм 5V / 3A
Тип батареї	LiPo
Роз'єм	XT60



Рисунок 2.8 – Батарея LiPo iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh [19]

Raspberry Pi 3 Model B

Raspberry Pi 3 – це потужний і універсальний мінікомп'ютер, який може використовуватися для збору даних з різних датчиків, обробки цих даних та передачі через LoRa модулі.

Основні технічні характеристики Raspberry Pi 3 зібрані в таблиці 2.8 [20].

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики Raspberry Pi 3 [20]

Raspberry Pi 3 Model B	
Характеристика	Опис
Процесор	Quad-Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
Оперативна пам'ять	1GB LPDDR2
Wi-Fi	802.11n Wireless LAN

Bluetooth	Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy (BLE)
Порти USB	4 x USB 2.0 48 мм x 53 мм x 155 мм 5V / 3A
Ethernet	10/100Mbps Ethernet
Відеовихід	HDMI, Composite video (via 3.5mm jack)
Аудіовихід	3.5mm jack, HDMI
GPIO	40-pin GPIO header
Зберігання даних	MicroSD card slot
Операційна система	Raspbian, Ubuntu, Windows 10 IoT Core та інші
Живлення	5V/2.5A DC через micro USB-коннектор або GPIO header
Розміри	85.6mm x 56.5mm x 17mm
Вага	45 г



Рисунок 2.9 – Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 3 [20]

Особливості:

- Broadcom BCM2837 має чотири ядра ARM Cortex-A53, що працюють на частоті 1.2 ГГц. Це забезпечує достатню продуктивність для багатьох завдань, включаючи відтворення відео, роботу з графікою та програмування.
- 1 ГБ LPDDR2 SDRAM, що дозволяє виконувати багатозадачні операції та працювати з більш вимогливими програмами.
- Вбудований модуль 802.11n Wi-Fi і Bluetooth 4.1/BLE забезпечують зручне підключення до мереж та інших пристроїв.
- Наявність 4 портів USB 2.0, Ethernet, HDMI, аудіовиходу 3.5 мм, 40-pin GPIO, які дозволяють підключати різноманітні периферійні пристрої та датчики.
- Broadcom VideoCore IV дозволяє відтворювати відео високої роздільної здатності та виконувати інші графічні операції.
- Підтримка різних операційних систем, таких як Raspbian (офіційна ОС для Raspberry Pi), Ubuntu, Windows 10 IoT Core, що надає велику гнучкість у використанні.

Плата розширення Raspberry Pi LoRa HAT

Raspberry Pi LoRa HAT – це плата розширення, яка додає можливості LoRa (Long Range) зв'язку до вашого Raspberry Pi. LoRa HAT дозволяє передавати і отримувати дані на великі відстані з низьким енергоспоживанням, що ідеально підходить для IoT додатків і проектів, де потрібна надійна бездротова комунікація.

Основні технічні характеристики Raspberry Pi LoRa HAT зібрані в таблиці 2.9 [21].

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики Raspberry Pi LoRa HAT [21]

Raspberry Pi LoRa HAT	
Характеристика	Опис
Частотний діапазон	868 MHz / 915 MHz

Радіочіп	Semtech SX1276/SX1278
Максимальна вихідна потужність	До 20 dBm
Чутливість приймача	До -148 dBm
Інтерфейс	SPI (Serial Peripheral Interface) 4 x USB 2.048 мм x 53 мм x 155 мм 5V / 3A
Антенa	Зовнішня антенa (через SMA-конектор) або вбудована
Сумісність	Raspberry Pi 2, 3, 4, Zero
Живлення	Від Raspberry Pi через GPIO
Діапазон передачі	До 5 кілометрів (в залежності від умов)
Підтримка протоколів	LoRaWAN, Point-to-Point
Розміри	Відповідає HAT стандартам Raspberry Pi



Рисунок 2.10 – Плата розширення Raspberry Pi LoRa HAT [21]

Тепловізійна аналогова камера IRC-384CA

Інфрачервона камера IRC-384CA відноситься до продукту виробника IRCAM із Південної Кореї. Ця камера спеціалізується на застосуваннях в тепловізійній техніці та інфрачервоному зображенні.

Основні технічні характеристики IRC-384CA зібрані в таблиці 2.10 [22].

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики IRC-384CA [22]

IRC-384CA	
Характеристика	Опис
Роздільна здатність	384×288@12μm
Діапазон довжин хвиль	8~14μm
NETD (Noise Equivalent Temperature Difference):	≤40мК @F1 25°C
Частота кадрів	50 Гц
Напруга живлення	від 5 до 16 V
Лінза	F1.0/ 4.0 мм
Робочий діапазон температур	від -20°C до 60°C
Розміри	27x37x40 мм
Вага	74.0 г



Рисунок 2.11 – Тепловізійна аналогова камера IRC-384CA [22]

RoboSense 3D lidar RS-LiDAR-16

RoboSense RS-LiDAR-16 – це 3D лідар (Light Detection and Ranging), призначений для різноманітних застосувань, зокрема робототехніки, автономних автомобілів і промислової автоматизації.

Основні технічні характеристики RoboSense 3D lidar RS-LiDAR-16 зібрані в таблиці 2.11 [23].

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики RoboSense 3D lidar RS-LiDAR-16 [23]

RoboSense 3D lidar RS-LiDAR-16	
Характеристика	Опис
Модель	RoboSense RS-LiDAR-16
Тип	3D лідар
Діапазон вимірювання	До 200 метрів
Поле огляду (FOV)	360 градусів по горизонталі, 30 градусів по вертикалі
Кутова роздільна здатність	0.18 градусів
Частота сканування	До 10 Гц
Довжина хвилі лазера	905 нм
Кількість лазерів	16
Канали	16 каналів
Точність	±2 см
Інтерфейс	Ethernet, RS232
Діапазон робочих температур	-10°C до 60°C
Захист	IP67
Розміри	Діаметр: 120 мм, Висота: 110 мм
Вага	1.5 кг
Живлення	12В

Споживання енергії	< 25 Вт
Вивід даних	Дані у вигляді хмари точок (XYZ координати)
Сумісність з програмним забезп.	ROS, SDK

Ці характеристики роблять RoboSense RS-LiDAR-16 підходящим для різних застосувань, що потребують високоточної 3D візуалізації оточуючого середовища і картографування. Він надає деталізовану просторову інформацію з високою точністю і надійністю, що є необхідним для автономної навігації і виявлення об'єктів у динамічних умовах.



Рисунок 2.12 – 3D лідар RoboSense RS-LiDAR-16 [23]

Магнітометр Geometrics MagArrow

Geometrics MagArrow – це спеціалізований інструмент для вимірювання магнітного поля, який використовується в геофізичних дослідженнях.

Geometrics MagArrow призначений для професійного використання в геофізичних дослідженнях і дослідженнях навколишнього середовища, забезпечуючи точні вимірювання магнітних полів. Він зазвичай використовується в таких програмах, як розвідка корисних копалин,

археологія та дослідження навколишнього середовища, де точне картографування магнітних аномалій має вирішальне значення.

Ключові характеристики і особливості Geometrics MagArrow:

- Вага: 2,84 кг (з акумулятором)
- 5 повернень на лазерний імпульс
- Частота повторення імпульсів: до 300 тис./с (модель VX20-300)
- Корисна дальність: 100 м над рівнем моря
- Точність / Точність: 1,0 см / 2,5 см
- Використання: геодезія, картографування



Рисунок 2.13 – Магнітометр Geometrics MagArrow [24]

2.4 Особливості АСК БПЛА пошуку та визначення об'єктів на поверхні наземних ділянок і електричних – принципових схем її елементів

Забезпечення надійних і стабільної роботи здійснює система керування рухом для виконання функцій було переглянуто погляд на окремі блоки і елементи і обрано такі що більш надійно себе зарекомендували, до таких відносяться:

Контролер польоту Matek F405-STD

Контролер польоту Matek F405-STD складається з наступних основних компонентів: мікроконтролер (MCU), використовується STM32F405RG, що є

Додаткові гіроскопи можуть бути вбудовані для підвищення точності вимірювань.

Інтерфейси:

- USB для з'єднання з комп'ютером або програматором.
- UART, I2C, SPI для зв'язку з іншими пристроями та сенсорами.
- PWM виходи для з'єднання з моторами та іншими пристроями.

Переваги контролера польоту Matek F405-STD включають:

Потужність і продуктивність, завдяки потужному мікроконтролеру STM32F405RG з ядром Cortex-M4, контролер підтримує швидку обробку даних і алгоритмів, необхідних для стабілізації та управління дроном.

Велика кількість UART, I2C, SPI і PWM виходів дозволяє підключати різні датчики, пристрої та аксесуари, що розширює можливості управління і збору даних.

Модуль живлення забезпечує стабільне живлення для всіх підключених пристроїв і моторів, що спрощує установку та підтримку системи.

Компактний розмір і вага: Підходить для використання в різних типах дронів, завдяки своєму компактному розміру та легкій вазі.

Цей контролер польоту є популярним в середньокласних і деяких професійних дронах через свої високі характеристики і розширені функціональні можливості.

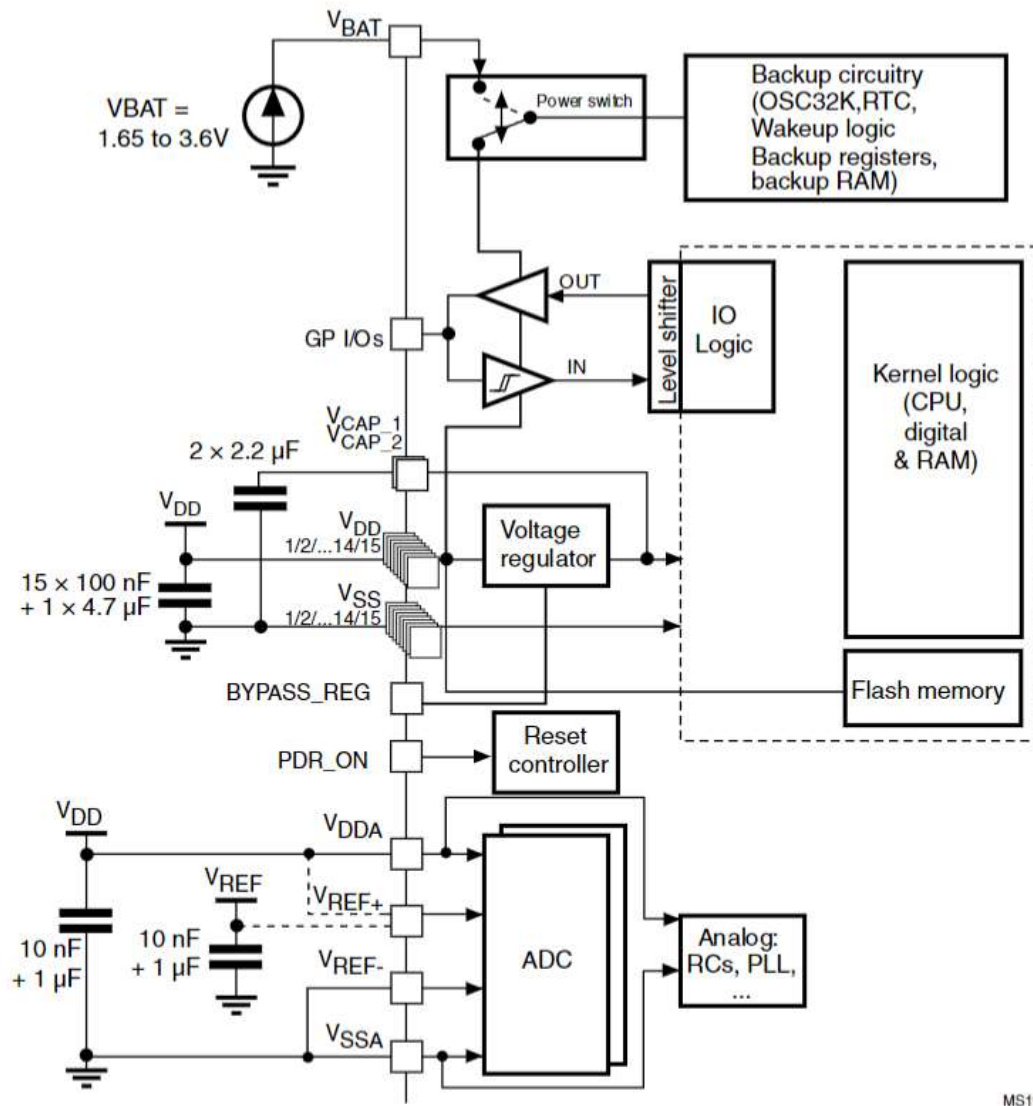


Рисунок 2.15 – Електрично принципова схема живлення мікроконтролера STM32F405RG [26]

GPS модуль Ublox NEO-M8N

GPS модуль Ublox NEO-M8N складається з наступних основних компонентів: чіпсет Ublox NEO-M8N це основний компонент, який відповідає за прийом сигналів GPS і виконання обчислень для визначення географічних координат, швидкості та інших параметрів. Вбудована або зовнішня антена для отримання сигналів GPS.

Включає UART (для зв'язку з контролером польоту чи іншими пристроями), SPI і I2C (для підключення до інших датчиків чи пристроїв).

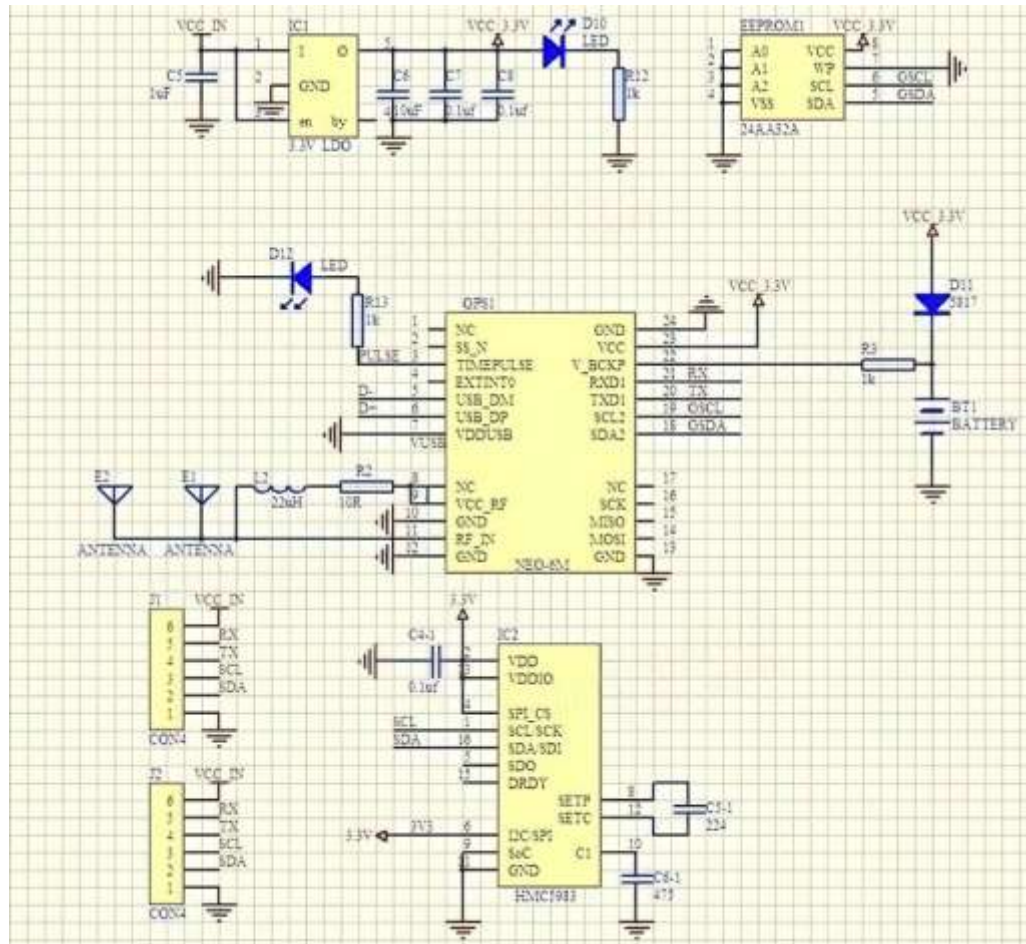


Рисунок 2.16 – Електрично принципова схема чіпу NEO-M8N [27]

Переваги GPS модуля Ublox NEO-M8N:

- Висока точність, забезпечує точність позиціонування на рівні кількох метрів або менше, залежно від умов оточення і налаштувань.
- Модуль швидко знаходить і фіксує супутники, що дозволяє швидко встановлювати надійний сигнал GPS.
- Включає підтримку систем GPS, GLONASS, Galileo і SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS), що забезпечує надійність в різних географічних областях.
- Компактний розмір і низьке споживання енергії, підходить для використання в різних дронах і мобільних системах завдяки своєму компактному розміру і економії енергії.

Модуль MPU-6050

Модуль MPU-6050 складається з таких основних компонентів: гіроскоп, відповідає за вимірювання обертальних кутових швидкостей по трьох осях. Акселерометр, вимірює прискорення по трьох осях і використовується для визначення орієнтації модуля в просторі. Вбудований датчик температури, який вимірює температуру пристрою.

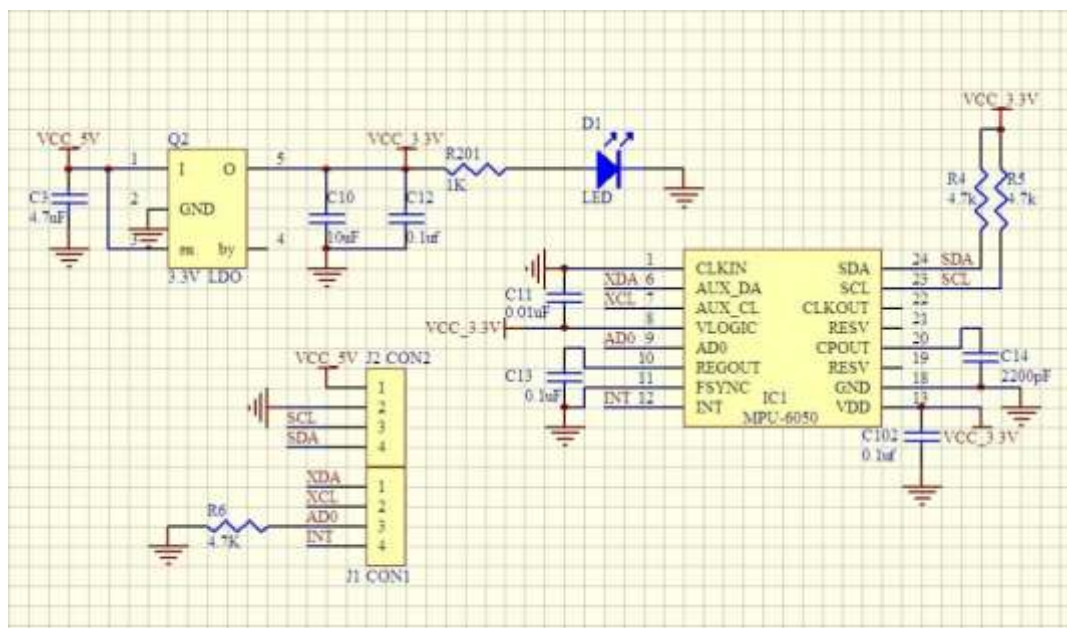


Рисунок 2.17 – Електрично принципова схема модулю MPU-6050 [28]

Основні переваги модуля MPU-6050 включають:

- Інтеграція гіроскопа і акселерометра, одне знаходиться поруч з іншим на одній платі, що спрощує обробку інформації про орієнтацію.
- Модуль забезпечує точне вимірювання як обертальних кутових швидкостей, так і прискорення.
- MPU-6050 має широкий динамічний діапазон для вимірювання як малих, так і великих значень прискорення і кутової швидкості.
- Компактний розмір і низьке споживання енергії, підходить для використання в різних пристроях, включаючи мобільні пристрої і робототехнічні системи.

– Підтримує різні інтерфейси, такі як I2C і SPI, для зв'язку з мікроконтролерами і іншими пристроями.

Модуль MPU-6050 використовується в широкому спектрі застосувань, включаючи стабілізацію квадрокоптерів, віртуальну реальність, підсилену реальність, спортивні трекери, ігрові контролери та багато іншого.

2.5 Особливості узагальненого алгоритму роботи та фрагменти коду програми автоматизованої системи БПЛА для виявлення об'єктів на земельній ділянці

Алгоритм роботи гексакоптера починається з подачі живлення на всі його компоненти. Після цього відбувається ініціалізація основного контролера. Гексакоптер очікує на отримання вхідних даних від датчиків польотного контролера. Якщо дані не надходять, процес чекає на їх отримання. Коли дані надходять, відбувається їх обробка. Якщо обробка успішна, планується маршрут руху та координати.

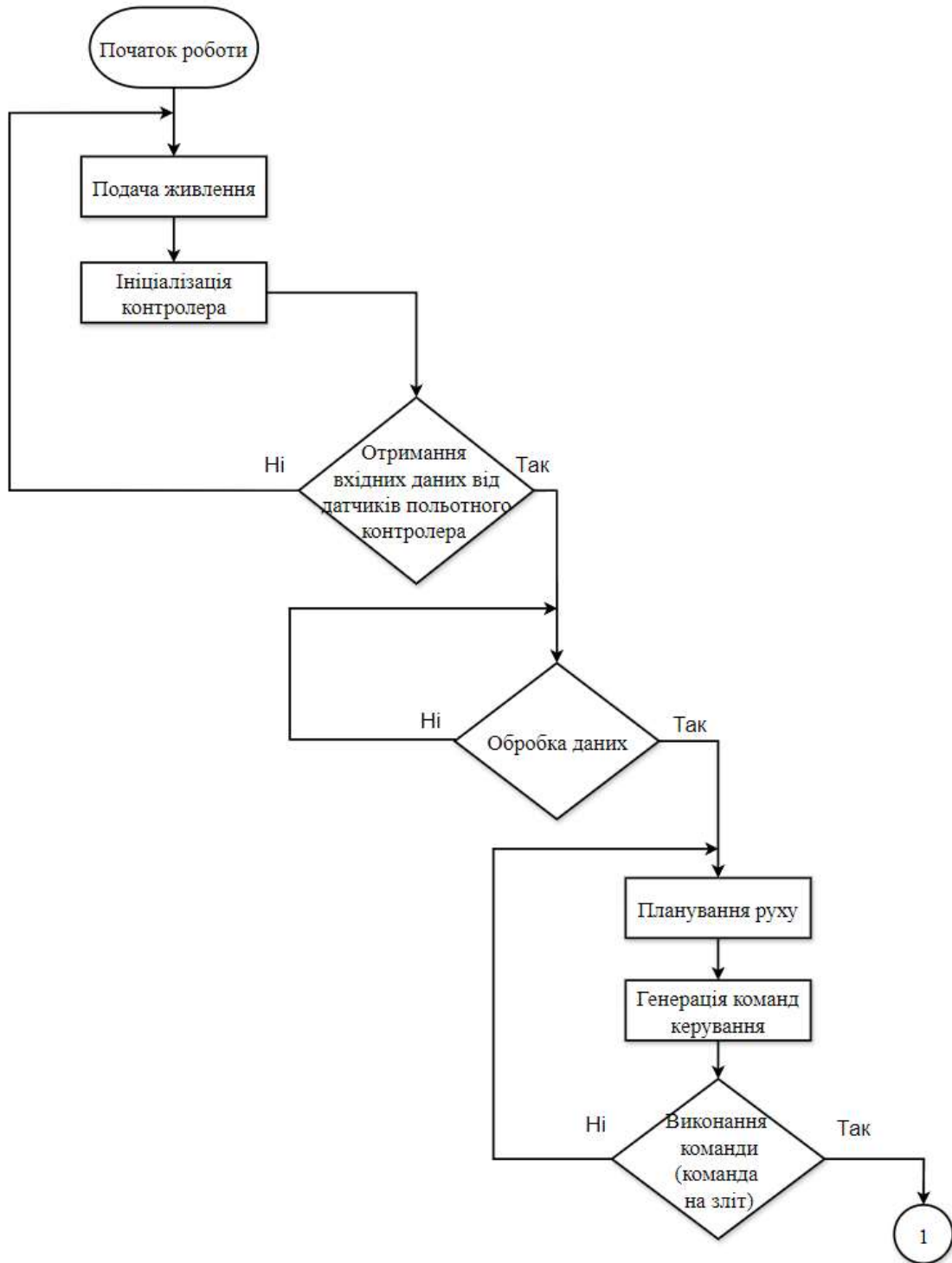


Рисунок 2.18 – Алгоритм роботи автоматизованої системи літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці


```
# Імпорт необхідних бібліотек
import time

# Функція для подачі живлення на дрон
def power_on():
    print("Подача живлення на всі компоненти...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на подачу живлення
    print("Живлення подано.")

# Функція для ініціалізації контролера
def initialize_controller():
    print("Ініціалізація контролера...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на ініціалізацію контролера
    print("Контролер ініціалізовано.")

# Виконання початкових кроків
power_on()
initialize_controller()
```

Рисунок 2.19 – Фрагмент програми алгоритму роботи етапу, що включає подачу живлення та ініціалізацію контролера

Наступним кроком є генерація команди керування рухом. Якщо команда на зліт згенерована, гексакоптер починає зліт. В цей момент він отримує координати від GPS. Якщо координати не надходять, гексакоптер чекає на їх отримання. Коли координати отримані, вони задаються для руху. Далі ініціалізуються драйвери для управління моторами, і гексакоптер починає рух.

Під час руху гексакоптер постійно отримує координати від GPS, щоб знати своє місце призначення. Коли гексакоптер досягає місця призначення, він починає сканування поверхні за допомогою датчиків. Дані, зібрані під час сканування, обробляються. Якщо обробка успішна, ці дані відправляються на

комп'ютер оператора. Гексакоптер перевіряє, чи завершено сканування. Якщо ні, він продовжує сканування, інакше він очікує на команду додому від оператора.

Сканування земельної ділянки за допомогою комбінованої роботи інфрачервоної камери, лідара та магнітометра з використанням гексакоптера.

Крок 1: Підготовка до польоту

Планування маршруту: визначається область сканування, враховуються перешкоди та умови польоту.

Підготовка дрона: перевіряються батареї, сигнал GPS, налаштовується автопілот та інша електроніка.

Крок 2: Польотний маршрут

Взліт: дрон злітає та встановлюється на заданій висоті.

Навігація: дрон слідує за попередньо заданою траєкторією, коригуючи положення за допомогою GPS або іншої системи навігації.

Крок 3: Збір даних

Вмикається інфрачервона камера для збору теплових зображень земельної ділянки. Зображення використовуються для аналізу теплових різниць, виявлення вогню або визначення розміщення об'єктів.

Лідар використовується для вимірювання відстаней до об'єктів на земельній ділянці. Він надає точні відстані до поверхонь, рельєфу та інших об'єктів. Вимірювання відстані до поверхні з високою точністю дозволяє створити детальну 3D-модель рельєфу ділянки.

Магнітометр вимірює магнітні поля землі для виявлення металевих об'єктів або інших геологічних аспектів.

Крок 4: Обробка даних

Дані з інфрачервоної камери, лідара та магнітометра синтезуються для створення комплексної карти земельної ділянки. Аналіз і інтерпретація, дані аналізуються для виявлення особливостей та об'єктів, таких як будівлі, рослинність, металеві об'єкти або геологічні формації.

Крок 5: Повернення і аналіз

Дрон повертається до базової станції для завершення місії. Отримані дані аналізуються для прийняття рішень щодо дослідження земельної ділянки, наприклад, для оцінки стану місцевості, виявлення потенційних проблем або планування подальших дій.

Цей процес ілюструє використання комбінованих технологій для сканування земельної ділянки за допомогою гексакоптера. Такий підхід дозволяє отримувати точні та деталізовані дані для різних застосувань, включаючи геодезію, сільське господарство, земельне планування та екологічні дослідження.

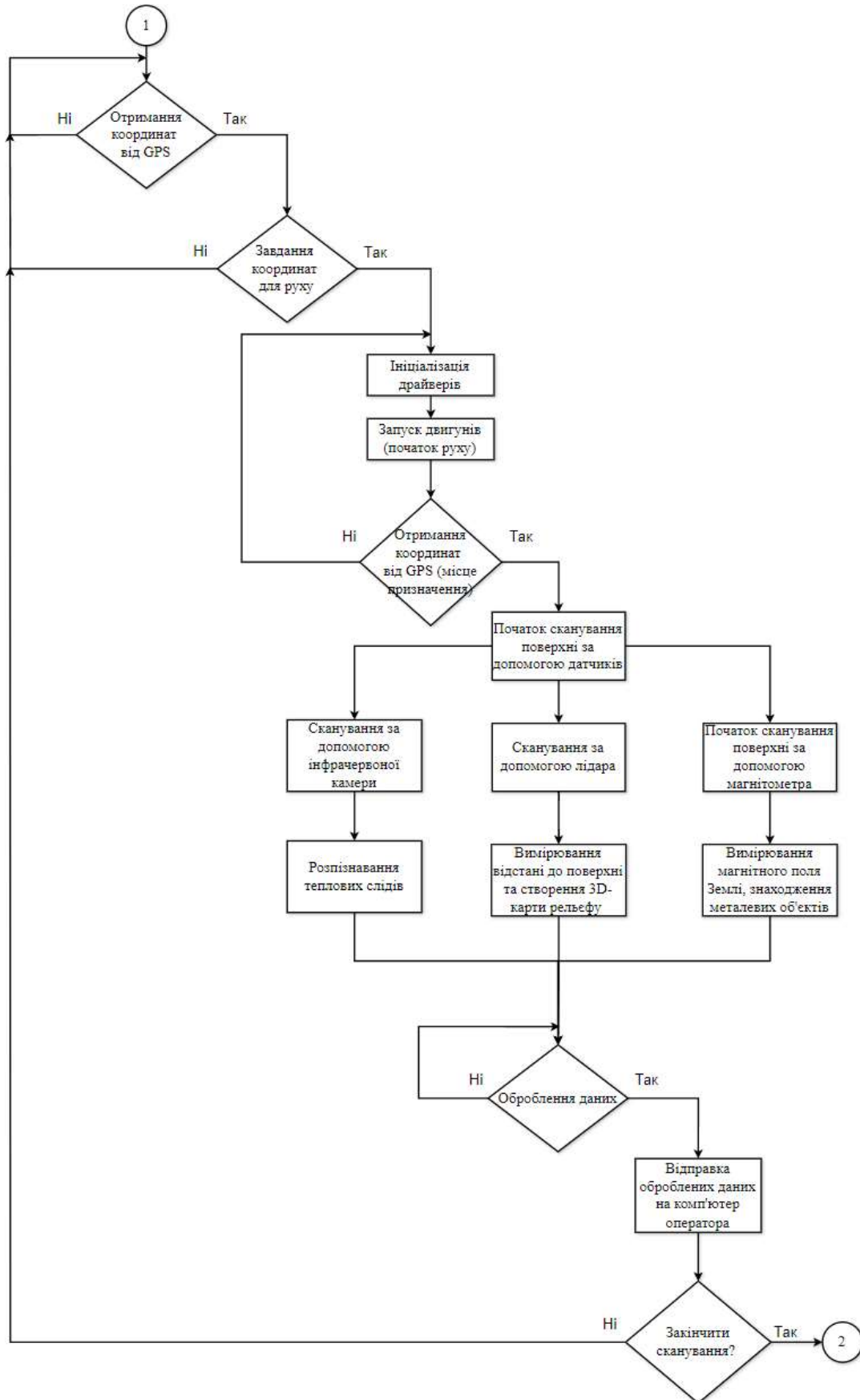


Рисунок 2.20 – Алгоритм роботи автоматизованої системи літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці

```
# Функція для отримання вхідних даних від датчиків
def get_sensor_data():
    print("Отримання вхідних даних від активних польотних контролерів...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на отримання даних
    return True # Успішне отримання даних

# Функція для обробки даних
def process_data():
    print("Обробка даних...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на обробку даних
    return True # Успішна обробка даних

# Функція для планування руху
def plan_movement():
    print("Планування руху...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на планування руху

# Функція для генерації команди керування
def generate_control_command():
    print("Генерація команди керування...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на генерацію команди
    return True # Успішна генерація команди

# Основний процес
if get_sensor_data():
    if process_data():
        plan_movement()
        if generate_control_command():
            print("Команда на зліт згенерована.")
```

Рисунок 2.21 – Фрагмент програми алгоритму роботи процесу, що включає отримання даних від датчиків, обробку даних, планування руху та генерацію команд

Коли команда на повернення додому отримана, гексакоптер знову отримує координати від GPS і задає їх для руху назад. Після цього

ініціалізуються драйвери, і гексакоптер починає рух додому. Під час руху він постійно отримує координати від GPS, щоб знати своє місце призначення. Коли гексакоптер досягає місця призначення, він виконує команду на посадку. Після успішної посадки живлення вимикається, і робота гексакоптера завершується.

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Розробка автоматизованої системи літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці

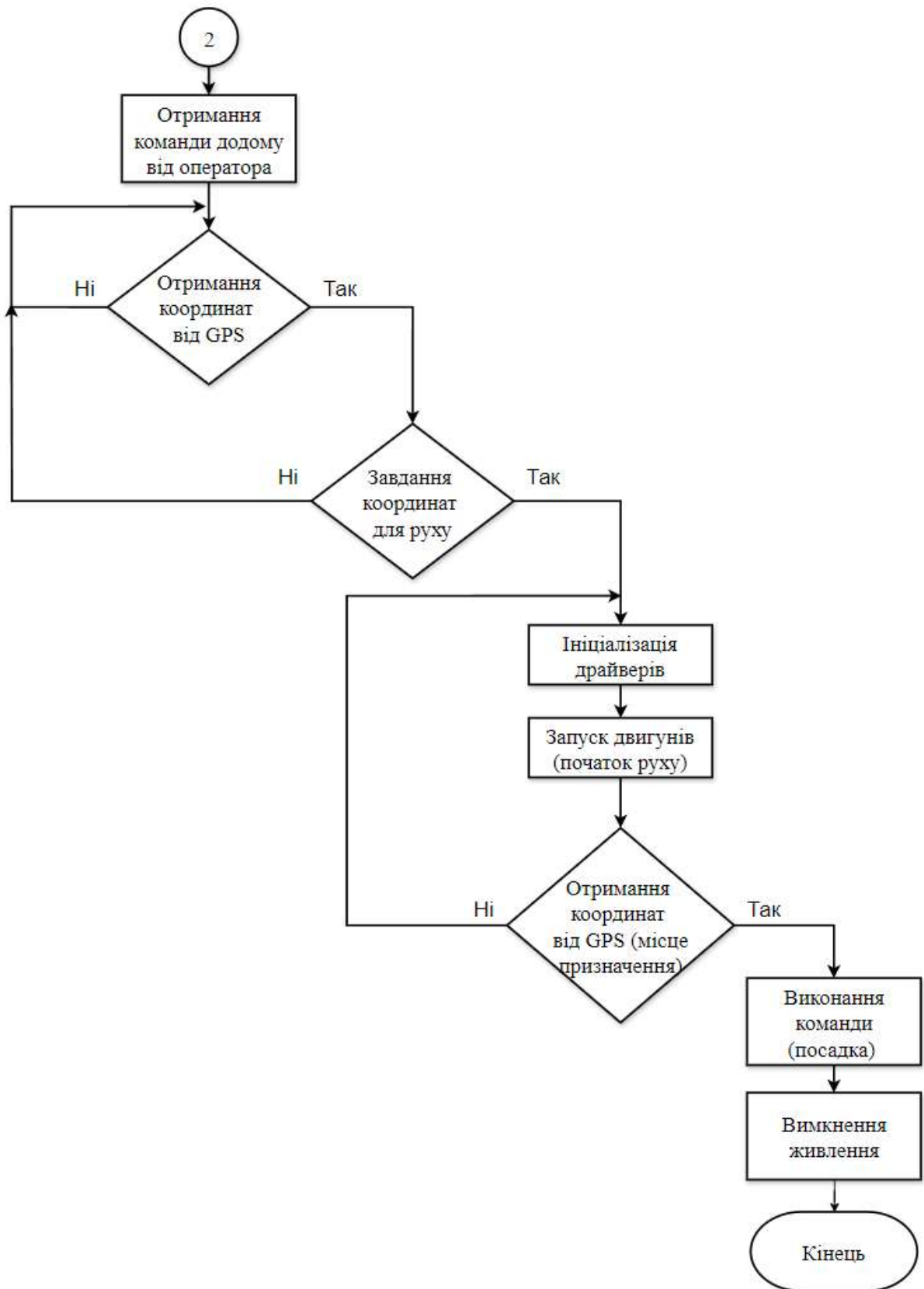


Рисунок 2.22 – Алгоритм роботи руху автоматизованої системи літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці

```
# Функція для ініціалізації драйверів
def initialize_drivers():
    print("Ініціалізація драйверів...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на ініціалізацію драйверів

# Функція для запуску двигунів (зліт)
def start_motors():
    print("Запуск двигунів...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на запуск двигунів

# Функція для отримання координат від GPS
def get_gps_coordinates():
    print("Отримання координат від GPS...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на отримання координат
    return True # Успішне отримання координат

# Функція для початку сканування
def start_scanning():
    print("Початок сканування поверхні за допомогою датчиків...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на сканування

# Функція для обробки даних сканування
def process_scan_data():
    print("Обробка даних сканування...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на обробку даних
    return True # Успішна обробка даних

# Функція для відправки даних на комп'ютер оператора
def send_data_to_operator():
    print("Відправка оброблених даних на комп'ютер оператора...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на відправку даних

# Функція для перевірки завершення сканування
def is_scanning_complete():
    print("Перевірка завершення сканування...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на перевірку
    return True # Сканування завершено
```

Рисунок 2.23 – Фрагмент коду програми алгоритму роботи етапу, що включає ініціалізацію драйверів, запуск двигунів, отримання координат, сканування та повернення (частина 1)


```
# Функція для повернення додому та посадки
def return_to_base():
    print("Повернення до базової станції...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на повернення
    print("Посадка...")
    time.sleep(2) # Імітація часу на посадку
    print("Живлення вимкнено. Робота завершена.")

# Виконання польоту та сканування
if get_gps_coordinates():
    initialize_drivers()
    start_motors()
    if get_gps_coordinates():
        start_scanning()
        if process_scan_data():
            send_data_to_operator()
            if is_scanning_complete():
                return_to_base()
```

Рисунок 2.24 – Фрагмент коду програми алгоритму роботи етапу, що включає ініціалізацію драйверів, запуск двигунів, отримання координат, сканування та повернення (частина 2)

Код представляє основні етапи роботи гексакоптера відповідно до діаграми. Кожна функція симулює певну дію, пов'язану з етапами, описаними на початку, включаючи ініціалізацію, отримання даних, обробку, планування, зліт, сканування та повернення додому.

Алгоритм роботи та функціональна схема були розроблені за допомогою онлайн-сервісу Diagrams.net. (раніше відомий як draw.io) – це безкоштовне програмне забезпечення для створення діаграм онлайн. Його можливо використовувати для створення блок-схем, мережевих схем та багато іншого [29].

Висновки до другого розділу

1. Гексакоптер використовує шість двигунів, розташованих на трьох парах променів, що радіально відходять від центральної платформи. Кожен двигун з'єднаний з пропелером, який обертається, створюючи тягу. Ця тяга використовується для підняття та маневрування гексакоптера в повітрі.

2. Виявлення ключових елементів конструкції гексакоптера та гостра потреба у визначенні інноваційних особливостей для удосконалення автоматизованої системи виявлення об'єктів на земельній ділянці дозволили обрати відповідні датчики. Враховуючи переваги та недоліки різноманітних сенсорів, було підібрано оптимальні компоненти для цієї системи. Серед різних типів дронів було вирішено зупинитися на гексакоптерах, оскільки 6 двигунів забезпечують більшу стабільність, потужність, безпеку та маневреність, роблячи їх кращим вибором для багатьох застосувань порівняно з квадрокоптерами з 4 двигунами.

3. Польотний контролер – це центральний компонент безпілотного літального апарата (БПЛА), який відповідає за управління всіма аспектами польоту. Він отримує та обробляє дані від різних датчиків, таких як акселерометри, гіроскопи, GPS, компаси та інші, для підтримки стабільності і керованості апарата.

4. Обґрунтування та вибір компонентів для автоматизованої системи літальних апаратів привели до вибору електричних компонентів, сумісних між собою. Це забезпечило оптимальну взаємозалежність між ключовими компонентами системи, такими як польотний контролер і плата розподілу живлення.

5. Лідар використовується для вимірювання відстаней до об'єктів на земельній ділянці. Він надає точні відстані до поверхонь, рельєфу та інших об'єктів. Вимірювання відстані до поверхні з високою точністю дозволяє створити детальну 3D-модель рельєфу ділянки

6. Функціональна блок-схема автоматизованої системи літальних апаратів є основою для адитивних технологій, оскільки вона наочно демонструє ступінь оптимізації процесів, які піддаються модернізації під час впровадження інноваційних ідей у прогресивному світі.

7. Контролер польоту Matek F405-STD складається з наступних основних компонентів: мікроконтролер (MCU), використовується STM32F405RG, що є потужним 32-бітним мікроконтролером з ядром ARM Cortex-M4. Інтегрований варіант живлення, що підтримує різні джерела живлення (від 3 до 6S LiPo). Інерціальні вимірювальні пристрої (IMU). Включає в себе акселерометр та гіроскоп для вимірювання прискорення та обертання. Додаткові гіроскопи можуть бути вбудовані для підвищення точності вимірювань.

3. ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІКИ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АСК ВИЯВЛЕННЯ, ПОШУКУ ТА ВИМІРУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ НА НАЗЕМНИХ ДІЛЯНКАХ

3.1 Структурні та аеродинамічні особливості гексакоптера, як повітряного носія устаткування пошуку та виміру

Гексакоптер є складною аеродинамічною системою, яка складається з багатьох структурних елементів, динаміка яких визначає загальну поведінку апарату. Основна мета цього розділу – побудувати математичні моделі, які дозволять прогнозувати поведінку гексакоптера у режимі польоту.

У цьому розділі розглядається гексакоптер – безпілотний літальний апарат (БПЛА) гвинтокрилого типу з шістьма роторами, розташованими на вершинах правильного шестикутника. Ці ротори симетрично з'єднані з центральним вузлом. Три пропелери обертаються за годинниковою стрілкою, а інші три – проти годинникової стрілки, що дозволяє збалансувати загальний крутний момент системи. Якщо всі пропелери обертаються в одному напрямку, корпус почне обертатися в протилежному напрямку через крутний момент, створюваний роторами. Щоб уникнути цього, потрібно, щоб ротори оберталися в протилежних напрямках [30].

Гексакоптер є системою з недостатнім приводом, оскільки він має шість ступенів свободи (DOF), але лише чотири керуючі входи: сила тяги та аеродинамічні крутні моменти. Шість ступенів свободи включають шість змінних для визначення його положення у просторі. Трансляційні змінні x , y і z виражають відстань від центру мас гексакоптера до осей x , y і z , тоді як обертальні змінні ϕ , θ , ψ є кутами Ейлера, що визначають орієнтацію гексакоптера. ϕ – кут крену відносно осі x , θ – кут тангажу відносно осі y , а ψ – кут ролу вздовж осі z [31].

Гексакоптер керується за допомогою пропелерів. Кожен із шести пропелерів створює підйомну силу, натискаючи повітря вниз, що призводить

до вертикального руху вгору. Щоб генерувати рух вниз, необхідно зменшити швидкість обертання всіх гвинтів.

Основні рухи

У гексакоптера є три основні рухи: крен, тангаж і поворот.

Крен

Крен – це рух гексакоптера навколо осі X . Як показано на рисунку 3.1, цей рух виконується шляхом збільшення або зменшення швидкості роторів 4, 5 і 6, а також зменшення або збільшення швидкості роторів 1, 2 і 3. Таким чином, загальна тяга залишається постійною, а обертання крену досягається шляхом обертання навколо осі X .

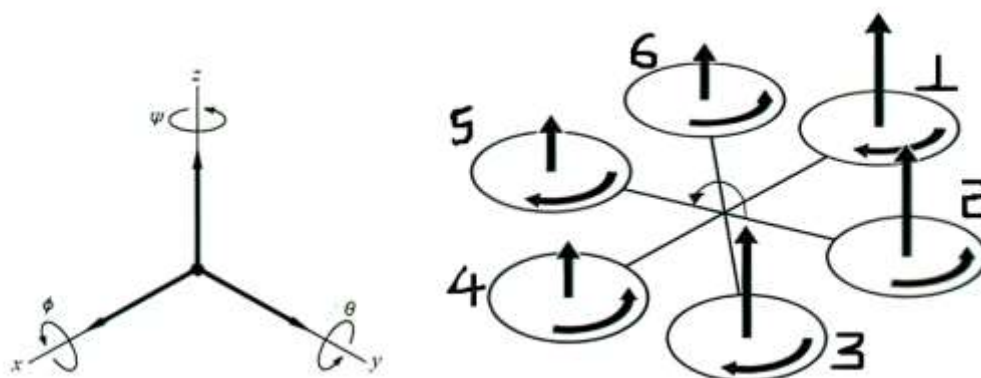


Рисунок 3.1 – Креновий рух гексакоптера [32]

Тангаж

Тангаж – це рух гексакоптера навколо осі Y . Цей рух виконується шляхом збільшення або зменшення швидкості роторів 1 і 6, а також зменшення або збільшення швидкості роторів 3 і 4, як показано на рисунку 3.2. Таким чином, загальна тяга залишається постійною, а обертання тангажу досягається шляхом обертання навколо осі Y .

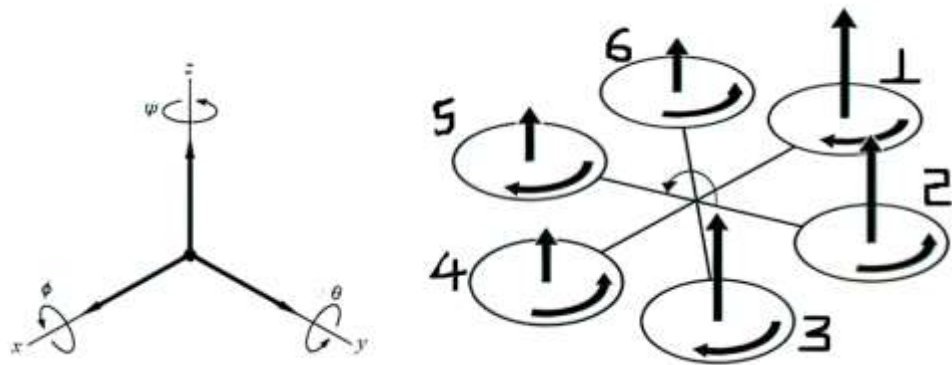


Рисунок 3.2 – Тангажний рух гексакоптера [32]

Поворот

Поворот – це рух гексакоптера навколо осі Z або вертикальний рух вгору. Як показано на рисунку 3.3, він виконується шляхом збільшення або зменшення кутової швидкості роторів, що обертаються за годинниковою стрілкою (1, 3, 5), і зменшення або збільшення кутової швидкості роторів, що обертаються проти годинникової стрілки (2, 4, 6). При цьому загальна тяга залишається незмінною, що забезпечує стабільність гексакоптера.

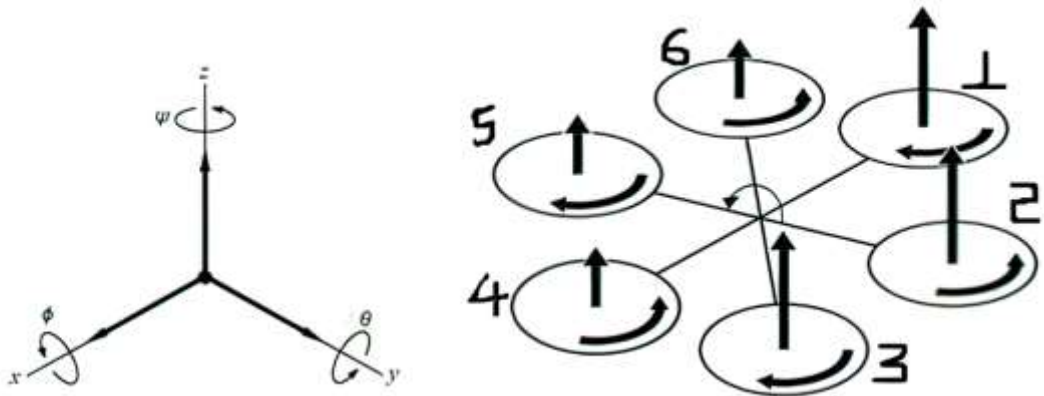


Рисунок 3.3 – Поворотний рух гексакоптера [32]

3.2 Моделювання руху та кінематичних параметрів носія устаткування

Кінематика – це розділ механіки, який вивчає рух об'єктів без розгляду причин цього руху. Для опису руху використовуються дві системи відліку:

фіксована система відліку тіла та інерціальна система відліку Землі. В інерціальній системі відліку положення об'єкта в просторі описується координатами X_E , Y_E та Z_E . У фіксованій системі відліку тіла, яка має центр у центрі ваги гексакоптера, використовуються координати X_B , Y_B та Z_B . Орієнтація фіксованої системи відліку тіла визначається кутами Ейлера: креном (ϕ), тангажем (θ) та поворотом (ψ), що відповідають обертанням навколо осей x , y та z відповідно.

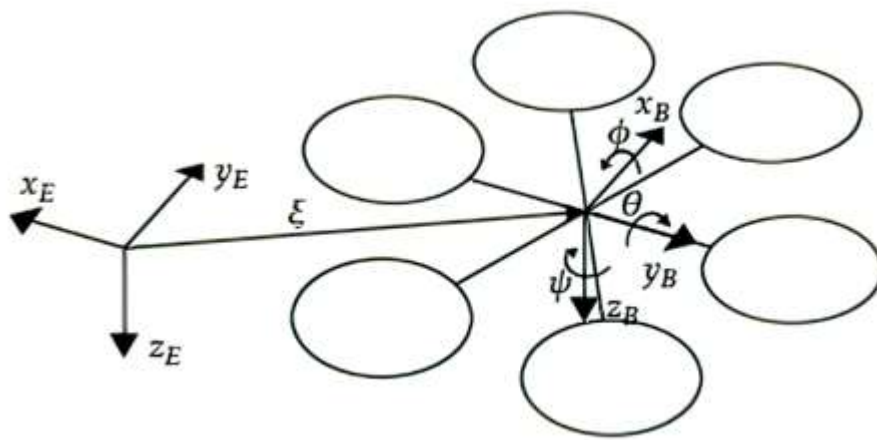


Рисунок 3.4 – Дві системи відліку [32]

Положення закріпленої за тілом системи відліку в закріпленій за землею системі можна описати за допомогою вектора $\xi = [x \ y \ z]^T$ та його орієнтації, положення та напрямку за вектором $\eta = [\phi \ \theta \ \psi]^T$, де кути ϕ , θ та ψ відповідають крену, тангажу і повороту відповідно.

Щоб синхронізувати фіксовану на корпусі систему координат з закріпленою на землі системою, розглядаються такі обертання:

Повернути вісь z на кут повороту ψ .

Повернути нову раму навколо осі y на кут тангажу θ .

Повернути нову раму навколо осі x на кут крену ϕ .

Таким чином, обертання навколо осі x закріпленої на землі системи відліку на кут повороту ψ формує нову систему координат А.

$$R(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Потім нову рамку А повертають навколо осі у на кут нахилу θ , щоб сформуванати нову рамку А', яка виражається через:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Далі, обертання нової рамки А' навколо осі z на кут крену ψ призводить до рамки тіла. Це обертання визначається:

$$R(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Нарешті, матриця обертання для перетворення координат із земної системи в координати тілесної системи буде результатом множення наведених вище матриць обертання, що задається як:

$$R_B^E = R(\psi)R(\theta)R(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Після множення отримується матриця обертання, яка використовується для перетворення координат із земної системи у координати тілесної системи, і виражається як:

$$R_B^E = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \cos \phi \sin \psi & -\sin \theta \\ \cos \psi \sin \phi \sin \theta - \sin \psi \cos \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \sin \phi \cos \theta & \\ \cos \phi \cos \psi \sin \theta + \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \cos \psi \sin \phi & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Щоб перетворити величини, визначені в рамці тіла, у нерухому рамку землі, використовується обернена матриця обертання, яка є транспонуванням R_B^E і виражається як:

$$R_B^E = R_B^{ET} = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\theta & \cos\psi \sin\phi \sin\theta - \sin\psi \cos\phi & \cos\phi \cos\psi \sin\theta + \sin\phi \sin\psi \\ \cos\phi \sin\theta & \sin\phi \sin\theta \sin\psi + \cos\phi \cos\psi & \cos\phi \sin\theta \sin\psi - \cos\psi \sin\phi \\ -\sin\theta & \sin\phi \cos\theta & \cos\phi \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Лінійна швидкість у системі тіла виражається як вектор $V_B = [u \ v \ w]T$.

Її перетворення до земної системи відліку здійснюється за допомогою оберненої матриці обертання RBE і виражається наступним чином:

$$\dot{\xi}_E = R_E^R V_B \quad (3.7)$$

де $\dot{\xi}_E = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]T$ – похідна за часом положення в системі відліку Землі

Для зв'язку кутової швидкості тіла, яка виражена як $\omega_B = [p \ q \ r]$ (де p , q і r – це кутові швидкості навколо осей x_B , y_B і z_B відповідно), з кутовою швидкістю у фіксованій на землі рамці $\dot{\eta} = [\dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]$, спочатку застосовується трансформація обертання навколо осі z (кут ψ). Потім виконується трансформація обертання навколо осі y (кут θ), і нарешті, здійснюється трансформація обертання навколо осі x (кут ϕ).

$$\text{Спочатку } \omega_E = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ що означає відсутність обертання у земній системі}$$

відліку.

Перший поворот навколо осі z на кут відхилення $R(\psi)$ перетворює систему відліку в нову систему A' , що визначається як:

$$\omega_{A'} = R(\psi)(\omega_E) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Далі повернемо нову рамку A' навколо осі y на кут нахилу θ , утворюючи нову рамку A'' .

$$\omega_{A''} = R(\theta) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\psi} \sin \theta \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Потім рамку A'' обертають навколо осі x на кут крену ϕ , що формує рамку тіла.

$$\omega_{A''} = R(\phi) \begin{bmatrix} -\dot{\psi} \sin \theta \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \cos \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \theta \\ \dot{\theta} \cos \phi + \dot{\psi} \sin \phi \cos \theta \\ -\dot{\theta} \sin \phi + \dot{\psi} \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} = R_{velB}^E \dot{\eta}_E \quad (3.10)$$

де R_{velB}^E це матриця обертання для перетворення кутів Ейлера кутової швидкості від землі фіксована рама до рами кузова. З наведеного вище рівняння (3.10) визначається, що $\dot{\eta}_E = [\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}]^T$, замінивши його на

$$\omega_B = R_{velB}^E \dot{\eta}_E$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \theta \\ \dot{\theta} \cos \phi + \dot{\psi} \sin \phi \cos \theta \\ -\dot{\theta} \sin \phi + \dot{\psi} \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} = R_{velB}^E \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Далі маємо

$$R_{velB}^E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin \theta \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \cos \theta \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

З іншого боку, зворотне перетворення для отримання кутової швидкості від рамки тіла до землі фіксованої рамки полягає в оберненій матриці обертання.

$$R_{velB}^E = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \frac{\sin \phi}{\cos \theta} & \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Це зв'язує похідну за часом кутів Ейлера, $\dot{\eta}_E$, з кутовою швидкістю ω_B , як визначено в рівнянні (3.10), що виражається як:

$$\dot{\eta}_E = R_{velE}^B \omega_B \quad (3.14)$$

Тут орієнтування показує, що R_{velB}^E визначається тоді і тільки тоді, коли $\theta \neq \frac{\Pi}{2} + K\Pi$ де $K \in Z$.

3.3 Моделювання динаміки гексакоптеру

Для створення динамічної моделі гексакоптера, яка включає поступальні і обертальні компоненти, починають з формулювання певних припущень [31]:

- Гексакоптер розглядається як тверде тіло.
- Він має симетричну структуру.
- Напряга і сила, що створюються роторами, пропорційні квадрату їхніх швидкостей.
- Шість роторів розташовані у вершинах правильного шестикутника.

Для управління динамічною моделлю положення та орієнтації гексакоптера застосовано загальний формалізм Ньютон-Ейлера:

$$\begin{bmatrix} mJ_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega \times mV \\ \omega \times J\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum F \\ \sum M \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Де m – маса тіла в кг,

J – інерція в Nms

V – лінійна швидкість у м/с,

ω кутова швидкість у рад/с,

F сила, що діє на тіло в H , а M обертальний момент, що впливає на корпус гексакоптера в Nm , $0_{3 \times 3}$ – нульова матриця розміром 3, $J_{3 \times 3}$ – одинична матриця розміром 3.

Динаміка поступального руху

Поступальну динаміку гексакоптера в земній системі відліку можна розрахувати, використовуючи другий закон Ньютона, який формулюється як:

$$F = ma = m\ddot{\xi} = m \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Де F – це сила, що діє на тіло,
 m – маса гексакоптера,
 a – прискорення в системі відліку Землі,
 $\ddot{\xi}$ – подвійна похідна за часом положення відносно системи відліку Землі.

Використовуючи матрицю обертання, як було отримано в попередньому розділі, вищезазначене рівняння (3.5) можна виразити в закріпленій за тілом системі координат як:

$$R_B^E F^B = m R_B^E a^B = m R_B^E \dot{V} \quad (3.17)$$

V – це швидкість тіла, а її похідна за часом знаходиться в системі відліку тіла. Остаточний вираз для поступальної динаміки в закріпленій за тілом системі координат стає:

$$F^B = m\dot{V} + \omega \times mV \quad (3.18)$$

Динаміка обертального руху

Обертальну динаміку гексакоптера визначають за допомогою другого закону Ейлера в інерційній системі координат, який стверджує, що похідна від кутового моменту за часом дорівнює зовнішнім моментам сил, що діють на тіло.

$$M_E = \dot{L}_E \quad (3.19)$$

де \dot{L}_E – кутовий момент тіла в системі відліку Землі, а M_E позначає загальну суму зовнішніх прикладених моментів у каркасі тіла.

Використовуючи матрицю повороту, його можна перетворити на систему відліку тіла наступним чином:

$$R_B^E M_E = R_B^E \dot{L}_E = R_B^E \left(\frac{dJ\omega}{dt} \right) \quad (3.20)$$

де інерційна матриця J , визначена $\begin{bmatrix} J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} \end{bmatrix}$ є діагональною

матрицею, в якій недиагональні елементи дорівнюють нулю через симетрію гексакоптера.

Нарешті, динаміка обертання в каркасі тіла дає:

$$M_B = J\dot{\omega} + \omega \times J \omega \quad (3.21)$$

Сили що діють на гексакоптер в польоті

Сила тяжіння

Зазвичай більшість сил, крутних моментів та інших факторів існує в каркасі тіла, тоді як гравітація є єдиною силою, яка природно існує в системі інерції Землі. Відповідно до першої аксіоми Ейлера, гравітаційна сила діє в центрі ваги гексакоптера, спрямована вниз і виражається як:

$$F_g = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Корпус тіла виражається як:

$$F_g = R_B^E \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} = -mg \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \sin \phi \cos \theta \\ \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

де m — маса тіла, а g — прискорення сили тяжіння

Сила тяги

Сила тяги виникає через роботу гвинтів, що змушує тіло підніматися вгору або рухатися в напрямку руху. Вона спрямована вздовж позитивної осі

Z і визначається як сума тяги шести гвинтів.

$$F_T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 \quad (3.24)$$

Де T_i це тяга гвинтів

Оскільки джерелом тяги є пропелер, генерована тяга T_i від швидкості гвинта Ω_i є виражається як:

$$F_i = b\Omega_i^2 = C_T \rho A r^2 \Omega_i^2 \quad (3.25)$$

де Ω_i кутова швидкість гвинта i ,

b – специфічна константа гвинта, виражена через $C_T \rho A r^2$

C_T – коефіцієнт тяги,

ρ – це густина повітря,

A – площа що утворюється при обертанні

r – радіус ротора.

Нарешті, виходить, що загальна сила тяги, виражена в каркасі тіла, стає

$$F_T = \sum_{i=1}^6 T_i = b\Omega_1^2 + b\Omega_2^2 + b\Omega_3^2 + b\Omega_4^2 + b\Omega_5^2 + b\Omega_6^2 \quad (3.26)$$

Загальна математична модель для фрагменту системи літальних апаратів для виявлення об'єктів на земельній ділянці може бути представлена таким чином:

Нехай:

$x(t)$ – вектор стану системи, що містить параметри об'єктів на земельній ділянці.

$u(t)$ – вхідні керуючі сигнали, що містять дані з сенсорів і датчиків.

$y(t)$ – вихідні сигнали, що представляють результати виявлення об'єктів.

$f(x, u)$ – функція, що описує динаміку стану системи.

$g(x)$ – функція, що визначає залежність вихідних сигналів від стану системи.

Тоді математична модель може бути записана у вигляді диференціальних рівнянь або виразів:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x, u) \\ y = g(x) \end{cases}$$

Ці рівняння відображають взаємодію між функціональними блоками системи, де вектор стану $x(t)$ оновлюється відповідно до вхідних сигналів $u(t)$, і вихідні сигнали $y(t)$ визначаються на основі поточного стану системи.

Висновки до третього розділу

1. У цьому розділі були розглянуті основні підходи до моделювання динаміки структурних елементів гексакоптера. Побудовані математичні моделі дозволяють прогнозувати поведінку апарату і є основою для подальшої розробки системи керування та стабілізації гексакоптера.
2. Створено кінематичну модель гексакоптера, що описує його рух у просторі за допомогою двох систем відліку (земної та тілесної).
3. Розроблено динамічну модель, яка враховує поступальні та обертальні компоненти руху, що дозволяє детально аналізувати поведінку

гексакоптера під час польоту.

4. Вивчено вплив основних сил на гексакоптер, таких як сила тяжіння та сила тяги, і їх взаємодію у різних системах відліку. Розроблено моделі для перетворення сил та моментів між земною та тілесною системами відліку.

5. Враховано вплив збурень та оптимізовано реакцію системи на зміни умов польоту.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделев
“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА
на тему: **«Розробка автоматизованої системи літальних апаратів
для виявлення об'єктів на земельній ділянці»**

**Спеціальна частина з охорони праці та безпеки у надзвичайних
ситуаціях**

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

151 – МНР – 671.21817106

Студент _____ Нерега М.В.

Керівник _____ Гекова Т. В.

Керівник _____ Трунов О. М.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.
(дата)

Миколаїв – 2024

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці в робочому приміщенні для управління автоматизованою системою літальних апаратів

4.1.1 Загальний опис робочого приміщення

Робоче приміщення для управління автоматизованою системою літальних апаратів (БПЛА) розташоване в офісі. Приміщення має площу 60 квадратних метрів і розміри 10 метрів в довжину та 6 метрів в ширину. Приміщення розташоване на третьому поверсі офісної будівлі, оснащеної ліфтом і сходами для доступу. У приміщенні працює 6 операторів.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики приміщення

Робоче приміщення для управління автоматизованою системою літальних апаратів	
Характеристики	
Довжина приміщення, м	10
Ширина приміщення, м	6
Висота приміщення, м	3,8
Висота робочої поверхні, м	0,78

Приміщення обладнане наступним чином:

Комп'ютерна техніка

Шість робочих станцій, кожна з яких складається з потужного комп'ютера, двох моніторів, клавіатури, миші та гарнітури для зв'язку. Враховуючи, що значна частина робіт пов'язана з використанням комп'ютерного обладнання, його користувачі дотримуються вимог зазначених нормативних документів, зокрема, правил [33].

Системи зв'язку

Внутрішня телефонна мережа та інтернет-зв'язок, що забезпечує безперебійне підключення до серверів компанії та БПЛА.

Кондиціонер та вентиляція

Система кондиціонування для підтримки оптимальної температури та вентилятори для циркуляції повітря.

Освітлення

Освітлення приміщення забезпечують п'ять світильників, кожен з яких включає дві люмінесцентні лампи.

Аварійне обладнання

Вогнегасники, аптечка першої допомоги, аварійне освітлення.

Інші зручності

Маленька кухня з мікрохвильовою піччю, холодильником та кавоваркою.

Мікрокліматичні умови

Одним з важливих аспектів охорони праці в приміщенні для управління БПЛА є забезпечення належних мікрокліматичних умов. Відповідно до нормативних вимог, параметри мікроклімату включають температуру повітря, вологість, швидкість руху повітря та рівень освітлення.

Температура

Для комфортної роботи операторів температура повітря в приміщенні повинна становити від 20 до 24°C в холодний період року та від 22 до 26°C в теплий період. Регулювання температури здійснюється за допомогою системи кондиціонування та опалення.

Вологість

Оптимальний рівень вологості повітря повинен бути в межах 40-60%. Надмірна вологість або сухість повітря можуть негативно вплинути на здоров'я операторів та обладнання. Для підтримання необхідного рівня вологості використовуються зволожувачі або осушувачі повітря.

Швидкість руху повітря

Швидкість руху повітря повинна бути в межах 0,1-0,2 м/с. Висока швидкість руху повітря може викликати дискомфорт, а низька – створювати відчуття задухи.

Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки операторів необхідно дотримуватися таких заходів:

- Використання справного обладнання та проводки.
- Наявність заземлення для всіх електричних пристроїв.
- Проведення регулярних перевірок та обслуговування електромереж.
- Встановлення аварійного вимикача електроживлення.
- Інструктаж персоналу щодо правил роботи з електрообладнанням та дій у разі виникнення аварійної ситуації.

Правила охорони праці при роботі з автоматизованою системою БПЛА

- Перед початком роботи переконайтеся в справності обладнання та програмного забезпечення.
- Перевірте наявність та справність засобів індивідуального захисту (якщо такі потрібні).
- Дотримуйте належного рівня мікрокліматичних умов у приміщенні.
- Забезпечте відсутність перешкод на робочому місці.
- Під час роботи не залишайте увімкненим обладнання без нагляду.
- У разі виявлення несправностей негайно повідомте відповідального за охорону праці та технічне обслуговування.
- Регулярно проходите медичні огляди та тренінги з охорони праці.

4.2 Розрахунок загального рівномірного освітлення люмінесцентними лампами

Як було зазначено в п. 4.1 у розглянутому виробничому приміщенні відсутнє загальне рівномірне штучне освітлення, тому виконаємо розрахунки одного із можливих варіантів його реалізації.

В якості розрахункового методу приймемо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Послідовність розрахунку з необхідними довідковими даними приведено у методичних вказівках [33].

Для виконання розрахунків використовуються такі характеристики виробничого приміщення: довжина $a = 10$ м, ширина $b = 6$ м, висота $H = 3,8$ м. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття стелі дорівнює $\rho_{\text{стін}} = 70\%$, а відповідно стелі $\rho_{\text{стелі}} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,78$ м (табл. 4.1).

Схему для виконання розрахунку загального рівномірного освітлення люмінесцентними лампами наведено на рис. 4.1.

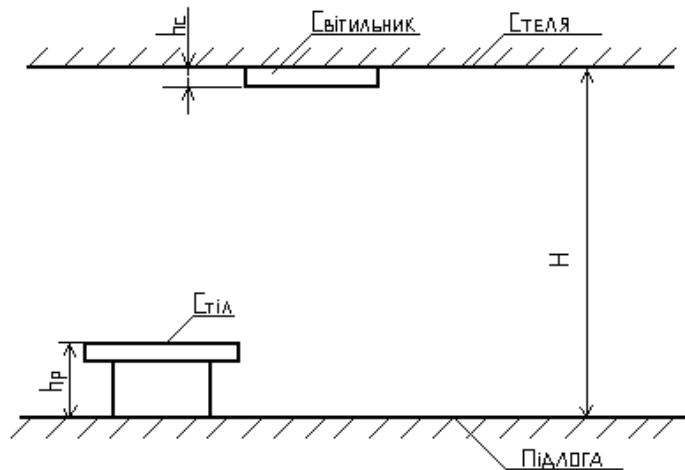


Рисунок 4.1 – Схема для розрахунку штучного освітлення

Розрахунок загального рівномірного освітлення виробничого приміщення люмінесцентними лампами виконується у такій послідовності:

1. Висота світильника над підлогою h_0 , м.

$$h_0 = H - h_c \quad 4.1$$

Слід зауважити, що в обраному виробничому приміщенні планується обладнання підвісної стелі. В такому випадку майже завжди зовнішня площина світильника співпадає з площиною стелі, тобто $h_c = 0$.

Тоді $h_0 = 3.8 - 0 = 3.8$ м.

1. Висота світильника над робочою поверхнею h , м.

$$h = h_0 - h_p \quad 4.2$$

При $h_p = 0,78$ м величина $h = 3.8 - 0.78 = 3,02$ м.

2. Показник приміщення i .

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{10 \cdot 6}{3,02 \cdot (10 + 6)} = 1,24 \quad 4.3$$

4. Осереднене значення коефіцієнтів відбиття стелі та стін $\bar{\rho}$, %.

$$\bar{\rho} = 0,5 \cdot (\rho_{стелі} + \rho_{стін}) = 0,5 (70 + 50) = 60 \%. \quad 4.4$$

5. Коефіцієнт використання світлового потоку η , %.

Значення коефіцієнта використання світлового потоку можна оцінити за допомогою залежності $\eta = f(i, \bar{\rho})$, представленої на рис. 4.2 [33].

При $i = 1,24$ та $\bar{\rho} = 50\%$ коефіцієнта використання світлового потоку дорівнює $\eta = 50\%$.

6. Нормоване значення освітленості E_n , лк.

Для зорових робіт середньої та малої точності може прийматися

$$E_n = 200 \text{ лк.}$$

7. Коефіцієнт запасу, що використовується при розрахунку штучного освітлення κ_z .

Визначається в залежності від призначення приміщення, режиму чистоти в ньому та кількості чищень світильників протягом року $n_{\text{ч}}$.

Для приміщень з нормальними умовами праці (кабінети та робочі приміщення, лабораторії, навчальні приміщення і т. ін.) при рекомендованій кількості чищень $n_q = 1-2$ коефіцієнт запасу складає $k_3 = 1,4$ [34].

8. Коефіцієнт нерівномірності світлового потоку Z .

Згідно з рекомендаціями при освітленні люмінесцентними лампами

$$Z = 1,1 \quad 4.5$$

9. Площа підлоги виробничого приміщення $S_{\text{підл}}$, м².

$$S_{\text{підл}} = a \cdot b = 10 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2 \quad 4.6$$

10. Світловий потік однієї лампи Φ_l , лм.

Визначається за технічними даними деяких люмінесцентних ламп.

Для люмінесцентних ламп типу ЛБ20 потужністю 20 Вт $\Phi_l = 1200$ лм [37].

10. Необхідна кількість світильників у виробничому приміщенні при кількості n (шт.) ламп в кожному N , шт.

$$N = \frac{E \cdot k_3 \cdot S_{\text{підл}} \cdot Z \cdot 100}{n \cdot \Phi_l \cdot \eta} \quad 4.7$$

Тоді при кількості ламп у світильнику $n = 4$ шт.

$$N = \frac{200 \cdot 1,4 \cdot 60 \cdot 1,1 \cdot 100}{4 \cdot 1200 \cdot 0,45} = 8,6 \quad 4.8$$

Зазвичай отриманий результат слід округлити до більшого парного значення. У даному випадку, враховуючи значну відносну протяжність приміщення, буде логічним однорядне розташування світильників у кількості $N = 9$ шт.

11. Потужність загального штучного освітлення люмінесцентними лампами у виробничому приміщенні $P_{\text{заг}}$, Вт.

$$P_{\text{заг}} = P_l \cdot N \cdot n = 20 \cdot 9 \cdot 4 = 720 \text{ Вт} \quad 4.9$$

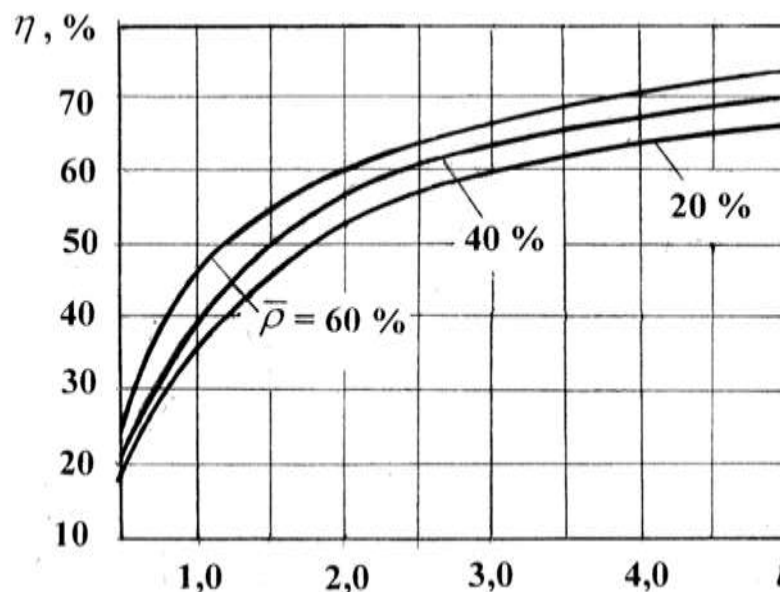


Рисунок 4.2 – Залежність коефіцієнта використання світлового потоку η від показника приміщення i та осередненого значення коефіцієнтів відбиття стелі та стін $\bar{\rho}$

4.3 Заходи безпека у надзвичайних ситуаціях

4.3.1 Пожежна безпека

У сучасних комп'ютерах дуже висока щільність розміщення елементів електронних систем, в безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, комунікаційні кабелі, що може посприяти небезпеці різного роду загорянь. При цьому можливі оплавлення ізоляції сполучних проводів, їх оголення і, як наслідок, коротке замикання, яке супроводжується іскрінням, яке веде до неприпустимих перевантажень елементів електронних схем. При перенагріванні, вони згорають з розбризкуванням іскор.

Системи вентиляції служать для відводу надлишкового тепла від ЕОМ. Однак ці системи також представляють додаткову пожежну небезпеку для машинного залу та інших приміщень, так як, з одного боку, вентиляція забезпечує подачу кисню, що є окислювачем, в усі приміщення, а з іншого – при виникненні пожежі швидко поширюють вогонь і продукти горіння по всіх

приміщеннях і пристроїв, з якими вони пов'язані. Струм до електроустановок подається по кабельних лініях, які становлять особливу пожежну небезпеку. Наявність пального ізоляційного матеріалу, ймовірних джерел запалювання в вигляді електричних іскор і дуг, розгалуженість і важко доступність роблять кабельні лінії місцями найбільш ймовірного виникнення і розвитку пожежі.

У разі пожежі спрацьовує знаходиться в приміщеннях автоматична установка пожежогасіння (АУП). Найчастіше застосовуються газові АУП вони забезпечені світловою та звуковою сигналізацією. Для запобігання поширенню вогню під час пожежі з однієї частини будівлі на іншу влаштовують протипожежні перепони у вигляді протипожежних стін, перегородок, перекриттів, зон, тамбурів-шлюзів, дверей, вікон, люків, клапанів. У будівлі на випадок виникнення пожежі передбачається не менше двох евакуаційних виходів; але через машинний зал, який має теж менше двох виходів, не повинні проходити шляхи евакуації співробітників, працюючих в інших підрозділах.

Проходи, коридори і робочі місця не слід захищувати архівними матеріалами, папером. На евакуаційних шляхах встановлюють як природне, так і штучне аварійне освітлення. В інших виробничих приміщеннях допускається проектувати один вихід, якщо відстань від найбільш віддаленого місця до виходу не перевищує 25 м, а кількість працюючих в зміні не більше 25 осіб. Для зберігання носіїв інформації використовуються вогнетривкі металеві шафи, двері в сховище також повинні бути вогнетривкими. Комплекс організаційних і технічних заходів пожежної профілактики дозволяє запобігти пожежі, а в разі його виникнення забезпечити безпеку людей, обмежити поширення вогню, а також створити умови для успішного гасіння пожежі.

4.3.2 Дії в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру

У зв'язку з реалізацією загрози військового вторгнення Росії в Україну [35] актуальним стає безпека людей в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Воєнний час характеризується використанням великої кількості звичайної зброї, можливістю застосування зброї масового знищення та впливом, що дорівнює розмірам стихійних лих або й перевищує їх.

При першій можливості необхідно покинути разом із сім'єю небезпечну зону. У разі неможливості виїхати особисто, відправити дітей і родичів похилого віку до родичів, знайомих. Необхідно взяти із собою всі документи, коштовні речі і цінні папери.

Підготовку до можливого перебування у зоні надзвичайної ситуації доцільно починати завчасно. Необхідно підготувати "екстрену валізку" з речами, які можуть знадобитись при знаходженні у зоні НС або при евакуації у безпечні райони.

Важливо зберігати особистий спокій, не реагувати на провокації. Неможна сповіщати про свої майбутні дії (плани) малознайомих людей, а також знайомих з ненадійною репутацією.

Рекомендується вживати наступних заходів [36]:

- 1) завжди мати при собі документ (паспорт), що засвідчує особу, відомості про групу крові свою та близьких родичів, можливі проблеми зі здоров'ям (алергію на медичні препарати тощо);
- 2) знати місце розташування захисних споруд цивільної оборони поблизу місця проживання, роботи, у місцях частого відвідування (магазини, базар, дорога до роботи, медичні заклади тощо);
- 3) при виході із приміщень, пересуванні сходами багатоповерхівок або до споруди цивільної оборони (сховища) дотримуватись правила правої руки (як при русі автомобільного транспорту) з метою уникнення тисняви;
- 4) уникати місць скупчення людей;
- 5) не вступати у суперечки з незнайомими людьми, уникати можливих провокацій;
- 6) у разі отримання будь-якої інформації від органів державної влади

про можливу небезпеку або заходи щодо підвищення безпеки передати її іншим людям (за місцем проживання, роботи тощо);

7) при появі озброєних людей, військової техніки, заворушень негайно покинути цей район;

8) посилити увагу і за можливості також залишити цей район у разі появи засобів масової інформації сторони-агресора;

9) про людей, які не орієнтуються на місцевості, розмовляють з акцентом, мають нехарактерну зовнішність, здійснюють протиправні і провокативні дії, здійснюють незрозумілу роботу, тощо, – негайно поінформувати органи правопорядку, місцеву владу, військових;

10) у разі потрапляння у район обстрілу – сховатись у найближчу захисну споруду цивільної оборони, сховище (укриття). У разі відсутності пристосованих сховищ, для укриття використовувати нерівності рельєфу (канави, окопи, заглиблення від вибухів тощо). У разі раптового обстрілу та відсутності поблизу споруд цивільного захисту, сховища і укриття – ляжте на землю головою в бік, протилежний вибухам. Голову слід прикрити руками (за наявності для прикриття голови використовувати валізу або інші речі). Не виходьте з укриття до кінця обстрілу;

11) надавати першу допомогу іншим людям у разі їх поранення. Визвати швидку допомогу, представників ДСНС України, органів правопорядку, за необхідності – військових;

12) у разі, якщо ви стали свідком поранення або смерті людей, протиправних до них дій (арешт, викрадення, побиття тощо), слід постаратися з'ясувати та зберегти якнайбільше інформації про них та обставини події для надання допомоги, пошуку, встановлення особи тощо.

4.3.2 Цивільний захист персоналу в надзвичайних ситуаціях

Опис робочого підрозділу

Підрозділ з управління автоматизованою системою БПЛА знаходиться в офісі. Персонал підрозділу складається з операторів, технічного

обслуговування та адміністративного персоналу. У зв'язку з сучасними викликами, такими як відключення електроенергії, збої в системах опалення та інші надзвичайні ситуації, необхідно розробити план дій для забезпечення безпеки та виживання персоналу.

План дій у разі відключення електроенергії

1) Попередження персоналу: відповідальний за цивільний захист повинен негайно повідомити всіх працівників про відключення електроенергії.

2) Аварійне освітлення: в приміщенні повинні бути встановлені аварійні світильники, які автоматично вмикаються при відключенні основного освітлення.

3) Безперебійне живлення: встановлення джерел безперебійного живлення (UPS) для критично важливого обладнання, яке забезпечить роботу протягом необхідного часу для безпечного завершення операцій з БПЛА.

4) Інструктаж персоналу: регулярні тренінги щодо дій у разі відключення електроенергії, включаючи використання аварійного обладнання та евакуаційні маршрути.

5) Запасні джерела енергії: наявність портативних зарядних пристроїв для мобільних телефонів та іншого комунікаційного обладнання.

План дій у разі відключення опалення

1) Моніторинг температури: встановлення датчиків температури, які сповіщають про критичне зниження температури в приміщенні.

2) Теплий одяг та ковдри: забезпечення персоналу теплим одягом та ковдрами на випадок тривалого відключення опалення.

3) Альтернативні джерела тепла: використання обігрівачів, які працюють на газу або інших альтернативних джерелах енергії.

4) Інструктаж персоналу: навчання працівників діям у разі відключення опалення, включаючи правила безпеки при використанні альтернативних джерел тепла.

Евакуація та перша допомога

- 1) План евакуації: розробка та регулярне оновлення плану евакуації з приміщення у разі надзвичайної ситуації. Проведення тренувань з евакуації.
- 2) Медична допомога: наявність аптечки першої допомоги та навчання персоналу основам надання першої допомоги.
- 3) Засоби зв'язку: забезпечення наявності резервних засобів зв'язку, таких як радіостанції, для підтримання комунікації під час надзвичайної ситуації.

Висновки до четвертого розділу

1. У першому підрозділі було розглянуто питання охорони праці на робочому місці для управління автоматизованою системою літальних апаратів, зокрема забезпечення належних мікрокліматичних умов та електробезпеки. Було розроблено правила охорони праці для операторів, що працюють з БПЛА.
2. Виконано аналіз факторів виробничого середовища в офісі. Встановлено, що більшість з них відповідають санітарно-гігієнічним вимогам. Існують деякі зауваження щодо природного та штучного освітлення.
3. Виконано проектування системи штучного загального рівномірного освітлення люмінесцентними лампами методом коефіцієнта використання світлового потоку. Нормоване освітлення забезпечується 9 люмінесцентними світильниками типу ЛПО з чотирма лампами типу ЛБ20 у кожному.
4. Робочі місця операторів повинні мати достатній рівень освітлення, який становить 300-500 люкс. Використання природного освітлення бажане, але при необхідності повинні бути встановлені лампи з регульованою яскравістю.
5. У другому підрозділі розглянуто питання цивільного захисту персоналу підрозділу на випадок надзвичайних ситуацій, таких як

відключення електроенергії та опалення. Розроблено план дій для забезпечення безпеки та виживання персоналу в таких ситуаціях, включаючи інструктаж та забезпечення необхідними засобами.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи:

1. На основі проведеного аналізу сучасних технологій безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та систем виявлення об'єктів, а також вивчення технічних рішень за даними літературних джерел та патентної інформації, була виявлена нагальна потреба в удосконаленні існуючих та розробці принципово нових автоматизованих систем для сканування земельних ділянок. Це можна здійснити шляхом впровадження інноваційних рішень, сформульованих у цій роботі.

2. На основі вивчених характеристик гексакоптера та враховуючи переваги та недоліки різноманітних датчиків для виявлення об'єктів, було обрано оптимальну конфігурацію датчиків: інфрачервону камеру, лідар та магнітометр. Це рішення дозволяє значно підвищити точність та ефективність сканування земельної ділянки, забезпечуючи комплексний підхід до збору даних. Додатково було враховано конструктивні особливості гексакоптера, що забезпечує його стабільність та маневреність під час виконання завдань.

3. На основі створеної комплексної моделі динаміки гексакоптера з урахуванням властивостей його приводу та сенсорних систем, було змодельовано вплив динамічних характеристик на точність виявлення об'єктів. Це дозволило врахувати можливість визначення прискорень та маневрів гексакоптера під час переходу з одного режиму польоту на інший.

4. Досліджено різні типи дронів і обрано гексакоптер який є оптимальним варіантом завдяки його стабільності, потужності, маневреності та безпеці.

5. Визначено основні компоненти, які забезпечують надійність і ефективність гексакоптера.

6. Обрано ключові електронні компоненти, сумісні між собою, такі як польотний контролер та плата розподілу живлення.

7. Забезпечено взаємозалежність між компонентами, що дозволяє досягти високої ефективності та надійності системи.

6. Виконано проектування системи штучного загального рівномірного освітлення люмінесцентними лампами методом коефіцієнта використання світлового потоку. Нормоване освітлення забезпечується 9 люмінесцентними світильниками типу ЛПО з чотирма лампами типу ЛБ20 у кожному.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Застосування безпілотних літальних апаратів в сільському господарстві – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55517314/pw0491-libre.pdf?1515747728=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D55517314.pdf&Expires=1714315491&Signature=coN7uFBzXB8IBwnen1PxEadOlZQtsvMnM7coKhugNbHcRbWYV2gRJ2fBgyD1HgNFzrN9yimDuRi~1s5rR4XOYDGiFxCft70DDoayx1aqUx4fNnh4KLM=c~eECKm6rPxTFh3LLxDgh3xYg1EsW86Otk9qyjPqGp~otH2dTPetcoZJ89TEIPYCfP5WTz2Do~eyXg0GHYomz13JY0pMA0IOYI8er~s12Mru2LgqiWXZzOkmU5isKouAfxQ6FMQCq96oH3ggNILmy0ee5HqxxYyw1bJJIElOUCY8pEst0YZ6y6igYs26HuJKwge4AsSAw~wpJasqvC3ABe9Um~JoDztXKg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA (дата звернення: 15.05.2024).
2. Electrical Resistivity Tomography – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://cluin.org/characterization/technologies/default2.focus/sec/Geophysical_Methods/cat/Electrical_Resistivity_Tomography/#:~:text=Electrical%20Resistivity%20Tomography%20\(ERT\)%20is,electrical%20resistivity%20in%20the%20subsurface](https://cluin.org/characterization/technologies/default2.focus/sec/Geophysical_Methods/cat/Electrical_Resistivity_Tomography/#:~:text=Electrical%20Resistivity%20Tomography%20(ERT)%20is,electrical%20resistivity%20in%20the%20subsurface) (дата звернення: 15.05.2024).
3. Gravimetry – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG_Geophysik/Bodengeophysik/Gravimetrie/gravimetrie_node_en.html#:~:text=In%20applied%20geophysics%2C%20gravimetry%20is,Gravity%20is%20measured%20with%20gravimeters (дата звернення: 15.05.2024)..
4. Magnetometry Theory – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.geometrics.com/resource-sub/magnetometry-theory/> (дата звернення: 15.05.2024).

5. Geophysical Methods – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://cluin.org/characterization/technologies/default2.focus/sec/Geophysical_Methods/cat/Ground_Penetrating_Radar/ (дата звернення: 15.05.2024).
6. IR sensor – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.infratec.eu/sensor-division/service-support/glossary/infrared-sensor/#:~:text=An%20infrared%20sensor%20\(IR%20sensor,systems%20to%20detect%20unwelcome%20guests](https://www.infratec.eu/sensor-division/service-support/glossary/infrared-sensor/#:~:text=An%20infrared%20sensor%20(IR%20sensor,systems%20to%20detect%20unwelcome%20guests) (дата звернення: 15.05.2024)..
7. Lidar – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar> (дата звернення: 15.05.2024).
8. Типи дронів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/> (дата звернення: 15.05.2024).
9. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.viewprouav.com/product/herc-m180-hexacopter-multipurpose-heavy-lift-drone.html> (дата звернення: 15.05.2024).
10. Agras T10 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dji.com/global/t10> (дата звернення: 15.05.2024).
11. Perimeter 8 UAS – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://skyfront.com/perimeter-8?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw57exBhAsEiwAaIxaZm6K7cDZ1-bMnIFfgqLyy0DxmDsR43C55fdA-Rl-WG9hxs8p_kzGCRoCfZYQAvD_BwE (дата звернення: 15.05.2024).
12. Toolkit Carrying Drone For Maintenance Of High Altitude Transmission Lines – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Toolkit Carrying Drone For Maintenance Of High Altitude Transmission Lines \(itm-conferences.org\)](https://itm-conferences.org/) (дата звернення: 15.06.2024).
13. Matek F405-STD flight controller with built-in barometer – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Buy Matek F405-STD flight controller](https://www.buymatek.com/product/matek-f405-std-flight-controller-with-built-in-barometer/)

[with built-in barometer - Online store for quadcopters in Ukraine. \(flymod.net\)](https://flymod.net) (дата звернення: 15.06.2024).

14. MATEKSYS FCHUB-6S PDB – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Matek FCHUB-6S PDB \(getfpv.com\)](https://getfpv.com) (дата звернення: 15.06.2024).

15. GPS модуль NEO-7M – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [GPS ublox модуль NEO-7M купити Киев Украина \(uamper.com\)](https://uamper.com) (дата звернення: 15.06.2024).

16. MPU-6050 GY-521 модуль 6DOF – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Акселерометр и гироскоп MPU-6050 GY-521 модуль 6DOF купити в Киеве и Украине \(arduino.ua\)](https://arduino.ua) (дата звернення: 15.06.2024).

17. Brushless motors EMAX ECO 2207 1700KV / 2400KV – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Buy brushless motors EMAX ECO 2207 1700KV / 2400KV - Online store for quadcopters in Ukraine. \(flymod.net\)](https://flymod.net) (дата звернення: 15.06.2024).

18. Регулятор ходу (ESC) HobbyWing HobbyWing Flyfun-40A (FLP40A-V5) – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Регулятор ходу \(ESC\) HobbyWing HobbyWing Flyfun-40A FLP40A-V5 - купити в Києві | Ціна, відгуки, характеристики \(itbox.ua\)](https://itbox.ua) (дата звернення: 15.06.2024).

19. Акумулятор для FPV iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Акумулятор для FPV iFlight Fullsend E LiPo 6000mAh 22.2V 6S 45C XT60 \(ID#1999993850\), ціна: 3400 ₴, купити на Prom.ua](https://prom.ua) (дата звернення: 15.06.2024).

20. Raspberry Pi 3 Model – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [ВКупить Микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B+ с бесплатной доставкой по Украине! - evo.net.ua](https://evo.net.ua) (дата звернення: 15.06.2024).

21. Плата розширення Raspberry Pi LoRa HAT – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Плата розширення Raspberry Pi LoRa HAT \(16806\) придбати. Інтернет магазин мікрокомп'ютерів і аксесуарів Евоком.ЮА \(evo.net.ua\)](https://evo.net.ua) (дата звернення: 15.06.2024).

22. Analog thermal imaging camera 384CA – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Buy analog thermal camera 384CA/640CA - Online store for quadcopters in Ukraine. \(flymod.net\)](#) (дата звернення: 15.06.2024).
23. RoboSense 3D lidar RS-LiDAR-16 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [RoboSense 3D lidar RS-LiDAR-16 RoboSense 16-beam miniature LiDAR autonomous driving robots environment perception and mapping - AliExpress 44](#) (дата звернення: 15.06.2024).
24. Geometrics MagArrow – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Sensor Payloads | Skyfront | Leaders in long endurance hybrid drones](#) (дата звернення: 15.06.2024).
25. STM32F405 UAS Flight Controller Review – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Reddit - https://preview.redd.it/stm32f405-uas-flight-controller-review-v0-zy5m2ua5cp3b1.png?width=3507&format=png&auto=webp&s=61774aa382026d0e3ef31ae656e0c8247a60c66f](#) (дата звернення: 15.06.2024).
26. STM32F405RG Datasheet – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [STM32F405RG Datasheet\(PDF\) - STMicroelectronics \(alldatasheet.com\)](#) (дата звернення: 15.06.2024).
27. GPS-модуль GYGPSV5-NEO – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [GPS-модуль GYGPSV5-NEO на чипе NEO-M8N с активной керамической антенной \(mysku.club\)](#) (дата звернення: 15.06.2024).
28. MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Module – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [MPU6050 Module Pinout, Configuration, Features, Arduino Interfacing & Datasheet \(components101.com\)](#) (дата звернення: 15.06.2024).
29. Diagrams.net – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [Flowchart Maker & Online Diagram Software](#) (дата звернення: 15.06.2024).

30. DYNAMIC MODELING AND TRAJECTORY TRACKING – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [199938995.pdf \(core.ac.uk\)](http://199938995.pdf) (дата звернення: 15.06.2024).
31. M.Moussid, A.Sayouti, H.Medromi, “Dynamic modelling and control of a Hexarotor using linear and nonlinear methods,” International Journal of applied information systems ISSN: 2249-0868, vol. 9, no. 5, pp. 9-17, August 2015.
32. Tobias Magnusson, “Attitude control of a Hexarotor,” MSc thesis, Linköpings universitet, EE department, Sweden, 2014.
33. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин : затв. наказом Держгірпромнагляду України від 26.03.2010 № 65. URL : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0293-1> (дата звернення: 20.05.2023).
34. Щербак Ю. Г. Методичні рекомендації до практичних (семінарських) занять з дисципліни «Цивільний захист та охорона праці в галузі» / Ю. Г. Щербак, А. О. Алексєєва, О. В. Макарова, А. Л. Боженко. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ імені Петра Могили, 2019.– 98 с.
35. Загроза військового вторгнення Росії в Україну. Вебсайт URL: <http://www.eco-live.com.ua> (дата звернення: 01.02.2023).
36. Дії населення в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру. *Державна служба України з надзвичайних ситуацій* вебсайт. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Diyi-naselelnya-v-umovah-nadzvichaynih-situaciy-viyskovogo-harakteru.html> (дата звернення: 02.02.2023).