

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій**  
**Кафедра аерокосмічних систем управління**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри АКСУ

\_\_\_\_\_ Юрій МЕЛЬНИК

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ**

**"БАКАЛАВР"**

Тема: «Система автономного управління БПЛА на основі ортофотопланів»

Виконавець:

Романовський Ернест Русланович

Керівник: Завідувач кафедри

Мельник Юрій Віталійович

Нормоконтролер:

Дивнич Микола Полікарпович

Консультант з «Охорони праці»:

Козлітін Сергій Олексійович

Консультант з «Охорони навколишнього  
середовища»:

Дмитруха Тетяна Іллівна

Київ 2024

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра: аерокосмічних систем управління

Спеціальність: 151 «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКСУ

\_\_\_\_\_ Мельник Ю.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

**на виконання кваліфікаційної роботи**

**Романовського Ернеста Руслановича**

1. Тема кваліфікаційної роботи «Система автономного управління БПЛА на основі ортофотопланів» затверджена наказом ректора від 13.04.2024 №507/ст .
2. Термін виконання роботи: з 08.05.2024 по 11.06.2024.
3. Вихідні дані до роботи:
4. Зміст пояснювальної записки:
5. Перелік ілюстративного матеріалу презентації:
6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Ознайомлення з літературою.	02.04.24-10.05.24	

2	Ознайомлення з методами дослідження та написання першого розділу.	11.05.24	
3	Проведення розрахунків та написання другого розділу.	19.05.24	
4	Перевірка отриманої програми та написання третього розділу, реферату, вступу та висновків.	26.05.24-01.06.24	
5	Оформлення дипломної роботи та підготовка презентації.	02.06.24-11.06.24	

#### 7. Консультанти з окремих розділів кваліфікаційної роботи

Назва розділу роботи		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Консультант старший викладач Козлітін Сергій Олексійович		
Охорона навколишнього середовища	Консультант Дмитруха Тетяна Іллівна		

8. Дата видачі завдання: 13.04 “ 2024 р.”

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Мельник Ю.В.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Романовський Е.Р.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Адаптивна система автоматичного управління безпілотним літальним апаратом»: 68 сторінок, 18 рисунки, 10 використаних джерел.

*Об'єкт дослідження:* мультироторний безпілотний літальний апарат в автономному режимі

*Предмет дослідження:* спосіб оминання перешкод в горизонтальній площині

*Мета роботи:* розробити спосіб оминання перешкод в горизонталі в автономному режимі.

*Методи дослідження:* аналіз літератури, порівняльний аналіз, моделювання і перевірки результатів.

*Отримані результати та їх новизна:* зроблений аналіз способів реалізації способів оминання в автономному режимі, розглянуто застосування датчиків для оминання перешкод і планування маршруту, розроблений алгоритм реалізації автономного режиму польоту бпла, зроблено програму в матлаб, перевірено працездатність розробленого методу

*Ключові слова:* МУЛЬТИРОТОРНИЙ БПЛА, ОМИНАННЯ ПЕРЕШКОД, АВТОНОМНИЙ РЕЖИМ, ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ОМИНАННЯ, ЛІДАР, КАРТИ МІСЦЕВОСТІ.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ .....	2
РЕФЕРАТ .....	4
ЗМІСТ .....	5
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1: Аналіз методів обминання перешкод БПЛА (Вибір, аналіз , теорії і рішення) .....	9
1.1 Аналіз БПЛА .....	9
1.2 Вибір БПЛА .....	12
1.3 Аналіз методів рішення обминання перешкод БПЛА .....	16
1.4 Автономний режим БПЛА .....	24
1.5 Попередня постановка задачі дослідження .....	32
1.6 Алгоритм системи контролю за станом посівів .....	33
1.7 Висновок по першому розділу.....	37
РОЗДІЛ 2: Підготовка програми .....	38
2.1 Використання цифрових карт місцевості в БПЛА .....	38
2.2 Алгоритм перестройки .....	42
2.3 Пошук точки .....	43
2.4 Датчики для виконання задачі .....	47
2.5 Твердотільні гіроскопи .....	47
2.6 Лідари .....	49
2.7 Тепловізорні камери .....	50
2.8 Програма для уникнення перешкод .....	51

2.9 Висновок по другому розділу .....	53
РОЗДІЛ 3: Перевірка методу, аналіз, результати моделювання .....	56
3.1 Аналіз .....	56
3.2 Удосконалення програми .....	57
3.3 Точність .....	62
3.4 Результати .....	66
3.5 Висновок по третьому розділу .....	68
РОЗДІЛ 4: Охорона праці .....	70
1. Вступ .....	70
2. Аналіз умов праці .....	71
2.1 Організація робочого місця .....	71
2.2 Шкідливі та небезпечні виробничі чинники .....	72
2.3 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників .....	73
3. Заходи з охорони праці .....	75
3.2. Виробниче освітлення .....	75
4. Пожежна безпека .....	76
5. Розрахункова частина .....	77
РОЗДІЛ 5: Охорона навколишнього середовища .....	80
1. Характеристика забруднення навколишнього середовища .....	80
2. Небезпечний вплив на навколишнє середовище .....	83
3. Шляхи вирішення .....	85
ВИСНОВКИ .....	89
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

## ВСТУП

Актуальність теми. Сьогоднішній день важко уявити без систем автоматизації. Вони проникали в усі сфери життя: від побуту до високоточних наукових досліджень. Людство щодня намагається полегшити процеси дослідження навколишніх процесів, детальніше проаналізувати помилки минулого та зробити своє життя кращим. Необхідність створення високоточних автоматизованих систем була викликана рядом факторів.

Сучасна авіаційна промисловість є високотехнологічною галуззю, де вдосконалення систем управління польотом має важливе значення для забезпечення безпеки, ефективності та надійності польотів. Враховуючи високу ступінь непередбачуваності та динамічності умов, що виникають під час виконання авіаційних завдань, виконання завдань у непередбачуваних умовах стає ключовим аспектом сучасної авіаційної техніки. Режим автономного виконання завдань є надійним і ефективним способом керування літаком в умовах, коли втручання людини може бути обмеженим або неможливим.

Завдання забезпечення безпеки та точності виконання польотних завдань потребують високого рівня технологічної складності та застосування спеціальної техніки. Використання карт, датчиків, алгоритмів і корекції координат стає необхідністю для забезпечення оптимальної навігації та взаємодії з навколишнім середовищем. Такі технічні рішення визначають новий рівень авіаційних технологій і відкривають перспективи для подальшого розвитку систем управління та навігації в авіації.

<b>Кафедра АКСУ</b>					<b>НАУ 23.17.56.000ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ВСТУП</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Виконав.		Романовський Е.Р.					7	90
Керівник		Мельник Ю.В.						
Консульт.		Мельник Ю.В.						
Контрол.		Дивнич М.П.						
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						
						<b>151-313-СУ</b>		

Дисертація спрямована на розгляд важливих аспектів виконання завдань у непередбачуваних умовах, вдосконалення автономного режиму та оптимізації використання спеціальних методів з метою досягнення високих стандартів ефективності та безпеки в авіаційній промисловості.

Мета роботи: розробити спосіб обходу горизонтальних перешкод в автономному режимі.

Об'єкт дослідження: багатороторний безпілотний літальний апарат в автономному режимі

Предмет дослідження: спосіб обходу перешкод у горизонтальній площині

Методи дослідження: аналіз літератури, порівняльний аналіз, моделювання і перевірте результати.



# РОЗДІЛ 1: Аналіз методів обминання перешкод БПЛА (Вибір, аналіз , теорії і рішення)

## 1.1 Аналіз БПЛА

Перші спроби створення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) були зроблені в 19 столітті, коли в 1849 році для авіабомбардування використовувалися австрійські повітряні кулі. Однак повноцінний розвиток БПЛА став можливим завдяки винаходам в електриці та радіозв'язку.

Історія розвитку БПЛА свідчить про їх спеціалізацію за військовими підрозділами. Під час Першої світової війни були розроблені дрони для підйому вибухівки. У міжвоєнний період проводилися експерименти з різними методами запуску та посадки БПЛА. Але справжній прорив у розвитку безпілотних літальних апаратів став можливим завдяки винаходу системи GPS, яка дозволила використовувати БПЛА для різноманітних завдань, таких як спостереження, зйомка та розвідка.

Безпілотні літальні апарати поділяються на кілька категорій за масою та конструкцією. Невеликі БПЛА вагою до 30 кг часто використовуються для спостереження і вимагають менших обмежень у використанні. Вони можуть бути авіаційного або багатороторного типу.

БПЛА (безпілотні літальні апарати) бувають різних розмірів, конфігурацій і призначень. Ось деякі види БПЛА (рис. 1):

1. Мультироторні (квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери): ці БПЛА мають багато гвинтів і використовують їх для повороту та перебування в повітрі.

Кафедра АКСУ								
Змн.	рк.	докум.	опис	Дата				
Виконав.		омановський Е.Р.			Аналіз методів обминання перешкод БПЛА (Вибір, аналіз , теорії і рішення)			шів
Керівник		Ю.В.Мельник Ю.В.						
Консульт.		Мельник Ю.В.						
Контрол.		Дивнич М.П.						
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						
						151-313-СУ		

Вони дуже стійкі та здатні до точних маневрів, але час їх польоту обмежений змінним живленням батарей.

2. Літаки з нерухомим крилом (дронолітаки): ці БПЛА мають нерухомі крила, подібні до звичайних літаків. Зазвичай вони мають більший час польоту і можуть працювати на значній відстані від оператора.

3. Гібриди (VTOL - вертикальний зліт і посадка): деякі БПЛА можуть злітати і приземлятися вертикально, а потім переходити в горизонтальний політ, подібно до літака. Це поєднання переваг обох типів.

4. Планерування: деякі дрони мають режим планування, який дозволяє їм вимикати двигуни та економити енергію під час зниження.

Ці типи БПЛА мають різні характеристики та можливості, і вони використовуються в різних областях, від цивільного застосування до військового використання та досліджень.

Щоб підняти в повітря безпілотні літальні апарати (БПЛА), інженери використовують кілька ефективних і перевірених методів.

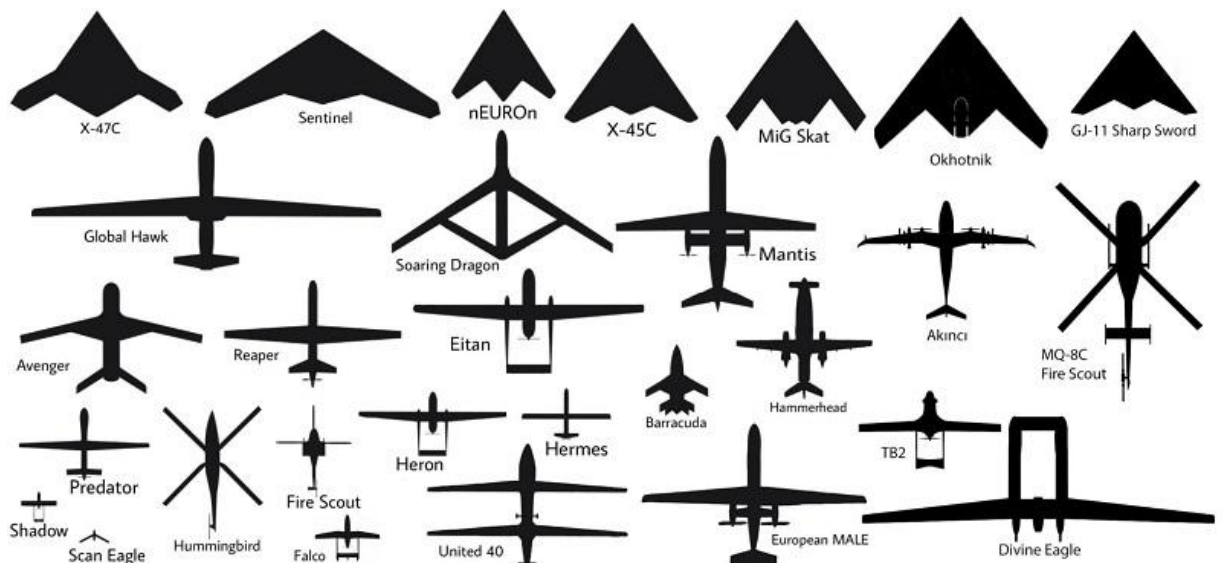


Рис. 1 Типи БПЛА

Багатороторні БПЛА (рис. 2):

Розглядаючи питання про те, що таке БПЛА, найчастіше мають на увазі звичайні цивільні дрони з пропелерами або мультикоптери. Мультикоптери є найпоширенішим видом. Вони можуть бути оснащені від 3 до 12 двигунів з пропелерами. Під час польоту вони зберігають горизонтальне положення

відносно поверхні землі і мають здатність зависати над певною точкою, рухатися в різних напрямках (вперед, назад, вгору, вниз) і обертатися навколо власної осі. Це досягається шляхом регулювання сили обертання в кожному з двигунів.



Рис. 2 багатороторні БПЛА

Аналіз безпілотних літальних апаратів (БПЛА) може включати різні аспекти, включаючи їх технологічну структуру, застосування, переваги та недоліки. Ось кілька ключових моментів для аналізу БПЛА:

#### 1. Технічні характеристики:

- Розмах крил, максимальна швидкість і практична стабільність у повітрі.
- Максимальна дальність польоту та тривалість польоту на одному заряді акумуляторів або палива.
- Опції та обладнання, таке як камери, датчики, GPS тощо.
- Вага, розміри та портативність пристрою.

#### 2. Застосування:

- Для яких цілей використовуються БПЛА (наприклад, аерофотозйомка, сільське господарство, військові дії, пошук і порятунок, наукові дослідження тощо).
- Конкретні завдання, для вирішення яких призначені конкретні моделі.

#### 3. Переваги:

- Ефективність порівняно з традиційними методами.
- Зменшення ризиків для людей (наприклад, військові БПЛА можуть вести розвідку без небезпеки для військових).
- Можливість доступу до важкодоступних місць.

#### 4. Недоліки:

- Обмежений час польоту.
- Обмежена вантажопідйомність.
- Занепокоєння щодо конфіденційності та приватності через потенційне використання для стеження.

Цей аналіз може допомогти визначити, чи підходить БПЛА для конкретних завдань і які питання необхідно враховувати при його використанні. Також важливо завжди дотримуватися законів і правил, пов'язаних із використанням БПЛА у вашому регіоні.

## 1.2 Вибір БПЛА

Безпілотні літальні апарати (дрони) - це літальні апарати, які можуть працювати дистанційно або автономно. Залежно від конфігурації їх зазвичай ділять на три основні види:

1. Багатороторні дрони, які базуються на вертикальному зльоті та посадці, здатні залишатися в статичному положенні та забезпечувати постійне стільникове покриття у вибраних областях. Їхнє використання можливе для точних місій у закритих зонах, хоча їх мобільність обмежена, а енергоспоживання високе.

2. Безпілотники з нерухомим крилом, що характеризуються високою енергоефективністю порівняно з багатороторними безпілотниками. Однак їх обмеженнями є необхідність злітно-посадкової смуги для горизонтального зльоту та посадки, а також менша мобільність і вантажопідйомність.

3. Безпілотники з гібридним крилом, які нещодавно з'явилися на ринку. Вони можуть швидко долати відстань, ковзаючи по повітрю та зависаючи за допомогою роторів.

Два основних типи дронів, які зараз використовуються в усьому світі, — це літаки (наприклад, eBee Ag від SenseFly) і багатороторні (наприклад, різні моделі квадрокоптерів Phantom від DJI). Багатороторні дрони залежно від кількості гвинтів (роторів) можуть бути трьох-, чотирьох-, шести- або восьмигвинтовими.

За джерелом живлення дрони можуть бути електричними та бензиновими. Електричні дрони більш функціональні, хоча потребують постійної зарядки. Бензинові дрони відрізняються довговічністю, але мають свої недоліки, такі як велика вага та потенційна небезпека падіння.

Для поставленого завдання було обрано розробку багатороторного дрона, який використовує інфрачервоний датчик для виявлення людей, які потребують допомоги.

Обґрунтування вибору дослідження багатороторних БПЛА може базуватися на кількох ключових факторах:

1. Гнучкість: багатороторні БПЛА мають здатність рухатися в будь-якому напрямку, що робить їх ефективними для використання в різних сферах, таких як доставка, агрономія, дослідження та безпека. Така гнучкість робить їх особливо привабливими для транспортних і логістичних рішень.

2. Точність: Багатороторні БПЛА можуть забезпечити високу точність управління, що робить їх корисними для завдань, де важливі маневреність і стабільність у точному позиціонуванні.

3. Простота керування: порівняно з іншими типами БПЛА, багатороторними гелікоптерами відносно легко керувати, що робить їх доступними для широкого кола користувачів, у тому числі тих, хто не має великого авіаційного досвіду.

4. Розміри. Багатороторні БПЛА зазвичай мають компактні розміри, що дозволяє їм працювати в тісних або унікальних місцях, де доступ до більших літаків може бути обмеженим.

5. Ефективність: вони можуть бути ефективними у споживанні палива чи енергії, що робить їх екологічно чистими альтернативами традиційним літкам чи гелікоптерам.

6. Інновація: розвиток багатороторних БПЛА не припиняється, і вони використовуються в нових сферах, таких як медичне обслуговування, дослідження важкодоступних місць, а також у військовій та охоронній промисловості.

Оскільки багатороторні БПЛА мають широкий спектр застосування та відомі своєю гнучкістю та ефективністю, дослідження в цій галузі можуть призвести до важливих удосконалень у різних областях, які вимагають високої маневреності та точності.

Розробка багатороторного дрона з інфрачервоним датчиком для виявлення людей, які потребують допомоги, є важливим кроком у вдосконаленні сучасних систем допомоги та порятунку. Проте під час реалізації такого проекту можуть виникнути певні виклики та труднощі, які необхідно враховувати.

Основні виклики для сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та дронів включають:

1. Навігація та стабільність: утримувати дрон стабільним за різних погодних умов, особливо за сильного вітру чи складних погодних умов, може бути складним завданням. Розробники повинні забезпечити надійну навігаційну систему, яка дозволить дрону ефективно та безпечно маневрувати в різних ситуаціях.

2. Довгострокова автономність: одна з головних проблем полягає в тому, щоб забезпечити дрон достатнім запасом енергії для більш тривалого перебування в повітрі. Оптимізація акумуляторів і розробка більш ефективних систем зарядки можуть бути ключовими аспектами досягнення довгострокової автономності.

3. Сенсорна система та обробка даних: для ефективного виявлення людей, які потрапили в біду, потрібна точна та надійна сенсорна система, яка може ефективно реагувати на зміни в навколишньому середовищі. Обробка даних з інфрачервоного датчика має бути швидкою та ефективною, щоб дрон міг швидко зреагувати на небезпеку та надати допомогу.

4. Безпека та правові аспекти: Забезпечення безпеки під час польотів безпілотників на невідомих територіях є однією з головних проблем. Крім того, є

питання щодо законодавчих обмежень щодо використання безпілотних літальних апаратів у громадських місцях.

5. Інтеграція з системами зв'язку: щоб ефективно спілкуватися та передавати дані про місцезнаходження жертв, дрон повинен мати можливість інтегруватися з системами зберігання даних та зв'язку, що може бути технічною проблемою.

Загалом успішне впровадження багатороторного дрона з інфрачервоним датчиком для виявлення людей, які потребують допомоги, вимагає комплексного підходу, який враховує технічні, безпекові та правові аспекти, пов'язані зі створенням та експлуатацією БПЛА.

Для того щоб взаємодія всіх систем безпілотного літального апарату (БПЛА) ефективно вирішувала основне завдання – пошук людей – необхідні ретельно розроблені схеми застосування, аналіз їх роботи та функціональні схеми. Ось загальна схема взаємодії систем для досягнення поставленої мети:

#### 1. Інфрачервоний датчик і система обробки сигналу:

- Функція: інфрачервоний датчик сприймає теплове випромінювання від тіла людини, навколишнього середовища та предметів. Система обробки сигналів аналізує ці дані, виділяє теплові сигнали, які можуть бути пов'язані з людьми, і генерує відповідні сигнали для системи керування.

#### 2. Система управління та навігації:

- Функція: Система управління забезпечує координацію руху БПЛА в напрямку виявлених теплових сигналів. Він враховує динаміку польоту, дозволяючи БПЛА ефективно маневрувати в залежності від змін спостережуваних об'єктів, а також погодних умов і рельєфу.

#### 3. Система передачі та обробки даних:

- Функція: ця система відповідає за передачу та обробку даних, отриманих від датчиків і систем керування, до центрального пункту керування або оператора. Він забезпечує безперебійний потік інформації та дозволяє аналізувати в реальному часі.

#### 4. Система зв'язку:

- Функція: дозволяє передавати дані про виявлення та місцезнаходження потенційних жертв на землю для швидкого реагування з командних центрів або рятувальних служб. Це включає передачу координат розташування та візуалізацію даних для полегшення оцінки ситуації.

#### 5. Система безпеки та надійності:

- Функція: ця система відповідає за запобігання можливих аварій або втрати зв'язку з БПЛА. Він включає системи автоматичного запасу енергії, механізми автоматичного повернення при втраті зв'язку, а також сенсорні системи, що забезпечують уникнення зіткнення з перешкодами.

Ці системи працюють разом, щоб забезпечити ефективний пошук і порятунок людей за допомогою безпілотного літального апарату. Оптимізація цих систем з урахуванням функціональних вимог дозволить удосконалити процес пошуку та порятунку людського життя в небезпечних ситуаціях.

### **1.3 Аналіз методів рішення обминання перешкод БПЛА**

Обхід перешкод в автономному режимі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) може здійснюватися як горизонтально, так і вертикально в залежності від типу БПЛА та його конфігурації. Ось кілька основних методів обходу перешкод:

Обхід по горизонталі:

1. Виявлення та уникнення: багато сучасних БПЛА оснащено датчиками, такими як лідари, радары та камери, які дозволяють їм виявляти перешкоди на своєму шляху. У разі виявлення перешкоди програмне забезпечення може розрахувати альтернативний маршрут для об'їзду.

2. Автоматичний маршрут: Оператор може надіслати БПЛА заздалегідь розробленим маршрутом, який враховує відомі перешкоди. БПЛА слідуватиме цим маршрутом, уникаючи перешкоди.

3. Використання GPS: GPS можна використовувати для автоматичного вибору альтернативного маршруту, якщо виявлено перешкоду.



Обхід БПЛА (безпілотного літального апарату) перешкод по горизонталі здійснюється засобами управління повітряним рухом з використанням різних технологій і методів.

Ось кілька загальних стратегій уникнення перешкод:

1. Системи датчиків і обробки інформації: БПЛА може бути оснащений такими сенсорними системами, як радар, лазерний сканер або камери для обробки зображень, які допомагають йому виявляти перешкоди на своєму шляху.

2. Системи запобігання зіткненням: багато сучасних БПЛА мають вбудовані системи запобігання зіткненням, які дозволяють їм виявляти та уникати перешкод, автоматично регулюючи траєкторію польоту.

3. Автоматичне планування маршруту: перед польотом БПЛА може обробляти дані карти та іншу інформацію, щоб спланувати оптимальний маршрут, який дозволяє уникнути перешкод.

4. Контроль траєкторії: під час польоту оператор або вбудовані алгоритми можуть змінювати траєкторію польоту, щоб уникнути перешкод або об'єктів.

5. Точне позиціонування та навігація: використання систем точного позиціонування, таких як GPS або інші супутникові системи, може допомогти БПЛА точно визначити своє місцезнаходження та уникнути перешкод.

Ці стратегії можна використовувати окремо або в комбінації для забезпечення безпечного та ефективного горизонтального руху БПЛА навколо перешкод.

Конкретним прикладом може бути система запобігання зіткненням, яка використовується в комерційних дронах. Наприклад, деякі моделі дронів, які призначені для зйомок в обмеженому просторі, оснащені ультразвуковими датчиками, інфрачервоними датчиками або камерами з комп'ютерним зором.

Коли дрон під час польоту наближається до перешкоди, такої як стіна або дерево, активується вбудована система запобігання зіткненням. Він може виявити перешкоду на своєму шляху, виміряти відстань до неї та змінити траєкторію польоту, щоб уникнути зіткнення. Деякі сучасні системи також можуть

автоматично розпізнавати об'єкти та будувати об'їзд перешкоди, щоб дрон міг безперешкодно продовжувати свій політ.

Такі системи дозволяють безпілотникам автономно виконувати завдання в умовах обмеженого простору або в місцях з великою кількістю перешкод, забезпечуючи безпеку польоту та уникаючи зіткнень з навколишніми предметами.

Є кілька алгоритмів, які використовуються в реальних безпілотних літальних апаратах (БПЛА) для горизонтальної навігації через перешкоди. Деякі з них включають:

1. Алгоритми штучного інтелекту (ШІ): деякі сучасні БПЛА використовують алгоритми штучного інтелекту, навчені даними, такі як нейронні мережі, щоб аналізувати оточення та приймати рішення про найбезпечніший шлях об'їзду перешкод.

2. Алгоритми обмеження локальної зони (LIDAR): Деякі БПЛА використовують датчики LIDAR (лазерний сканер) для створення точних тривимірних карт навколишнього простору. Алгоритми LIDAR дозволяють автомобілям розробляти оптимальний шлях і уникати перешкод на основі цих даних.

3. Алгоритми потенційного поля: Цей метод базується на ідеї моделювання руху частинок у фізичному полі. БПЛА визначає шлях навколо перешкод, якщо вони змодельовані як точки в потенційному полі.

4. Методи навігації за допомогою GPS: деякі БПЛА використовують алгоритми на основі GPS для планування маршрутів і уникнення перешкод.

Ці алгоритми часто поєднуються зі спеціальним обладнанням, таким як датчики відстані, системи комп'ютерного зору та інші сучасні технології, щоб забезпечити надійне уникнення горизонтальних перешкод. Однак конкретний алгоритм може відрізнятися залежно від виробника БПЛА та його визначення.

Обхід по вертикалі:

1. Автономний підйом і спуск: деякі БПЛА можуть автоматично підніматися або знижуватися, щоб уникнути перешкод у режимі автономного польоту.

2. Вертикальна навігація: за допомогою барометрів та інших датчиків БПЛА може точно контролювати свою висоту.

3. Автоматичне уникнення вертикальних перешкод: деякі БПЛА можуть автоматично змінювати висоту, якщо виявляють перешкоду на своєму шляху, щоб уникнути зіткнення.

Інтеграція датчиків і програмного забезпечення важлива для ефективного уникнення перешкод. Точність цих систем може істотно вплинути на безпеку та ефективність автономного режиму БПЛА, особливо в складних умовах.

Уникнення перешкод безпілотним літальним апаратом (БПЛА) у вертикальному положенні потребує додаткових функцій і систем, оскільки уникнення перешкод у трьох вимірах потребує точного керування. Ось кілька стратегій, які використовуються для уникнення вертикальних перешкод:

1. Автономний контроль висоти: БПЛА може мати вбудовані системи автоматичного контролю висоти, які дозволяють йому автоматично змінювати висоту польоту, щоб уникнути перешкод.

2. Системи визначення відстані: такі датчики, як ультразвукові, інфрачервоні або лазерні датчики, можна використовувати для виявлення перешкод попереду автомобіля та уникнення зіткнень шляхом зміни висоти.

3. Візуальне сприйняття та навігація: використання камер обробки зображень або систем комп'ютерного бачення може допомогти БПЛА виявляти перешкоди на своєму шляху та відповідно регулювати висоту польоту.

4. Геодезичні дані та картографічна інформація: БПЛА може використовувати геодезичні дані та картографічну інформацію для планування оптимального маршруту, що дозволяє уникнути вертикальних перешкод.

5. Системи висотомірів: Вимірювання висоти над рівнем моря за допомогою систем висотомірів може допомогти визначити точне положення БПЛА та контролювати висоту його польоту.

Ці стратегії можна використовувати разом для забезпечення безпечного вертикального польоту БПЛА та уникнення перешкод у трьох вимірах.

Конкретним прикладом може бути автономна система контролю висоти, яка використовується у військових або комерційних дронах. Наприклад, у випадку військових безпілотників, які використовуються для розвідки або спостереження за небезпечними районами, автономні системи контролю висоти можуть стати критичним фактором успішного виконання завдань.

Під час польоту над нерівною місцевістю або в середовищах, де можна зустріти високі будівлі або гори, дрон може використовувати вбудовані висотоміри та барометри для вимірювання висоти. У разі наближення до перешкоди, яка може становити загрозу, система автоматично змінює висоту польоту, щоб уникнути зіткнення.

Це дозволяє безпілотникам уникати перешкод і літати в обмеженому просторі або на складній місцевості, забезпечуючи безпечний політ і ефективне виконання завдань, які можуть вимагати зміни висоти, щоб уникнути перешкод.

Деякі алгоритми, які використовуються для уникнення вертикальних перешкод у реальних безпілотних літальних апаратах (БПЛА), включають:

1. PID-контролери висоти: пропорційно-інтегрально-диференціальні (PID) контролери широко використовуються для точного контролю висоти БПЛА. Вони дозволяють БПЛА підтримувати стабільну висоту над поверхнею, уникати перешкод і змінювати потужність двигуна відповідно до зміни висоти.

2. Оптимальне керування: деякі БПЛА використовують оптимальні алгоритми керування, щоб визначити оптимальний шлях до місця призначення та уникнути вертикальних перешкод. Ці алгоритми можуть враховувати фізичні обмеження БПЛА, такі як обмеження швидкості або прискорення.

3. Алгоритми навігації з використанням барометричних датчиків: барометричні датчики вимірюють атмосферний тиск, що дозволяє БПЛА точно вимірювати зміни висоти. Алгоритми навігації використовують ці дані, щоб підтримувати стабільну висоту й уникати вертикальних перешкод.

4. Системи контролю наближення: деякі БПЛА можуть використовувати системи контролю наближення, які включають ультразвукові датчики або датчики

відстані для виявлення перешкод і уникнення зіткнень шляхом автоматичного вертикального руху.

Ці алгоритми можна поєднувати з іншими сенсорними системами та вбудованими технологіями для забезпечення безпечного та точного уникнення вертикальних перешкод під час польоту БПЛА.

Уникнення перешкод може відрізнятися залежно від типу та конфігурації безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ось розбивка в залежності від типу БПЛА та можливих методів обходу перешкод:

#### 1. Багатороторні БПЛА (квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери):

- Виявлення та уникнення: багатороторні БПЛА можуть використовувати лідари, радари та камери, щоб виявляти перешкоди в реальному часі та уникати їх, змінюючи шлях.

- Системи запобігання зіткненням: багато сучасних багатороторних БПЛА обладнані системами автоматичного запобігання зіткненням, які реагують на перешкоди та виконують маневри запобігання зіткненням.

- Датчики висоти та відстані: багатороторні БПЛА можуть використовувати барометри та датчики відстані, щоб точно контролювати висоту й уникати нерухомих перешкод на землі.

#### 2. БПЛА (дрони):

- Автоматичний план маршруту: БПЛА з нерухомих крилом можуть попередньо скласти плани маршруту з урахуванням відомих перешкод. Вони можуть обійти їх, змінивши шлях.

- Автоматичний підйом і спуск: БПЛА з нерухомих крилом можуть підніматися на велику висоту, щоб уникнути перешкод або змінити своє розташування, а потім повернутися на рівень, щоб продовжити політ.

#### 3. Гібридні (VTOL) БПЛА:

- Перехід в режим вертикального зльоту і посадки: гібридні БПЛА можуть злітати і приземлятися вертикально, щоб уникнути перешкод, а потім переходити в режим горизонтального польоту, щоб подолати великі відстані.

#### 4. Військові та спеціалізовані БПЛА:

- Використання засобів протидії вторгненню: деякі військові БПЛА можуть використовувати методи ухилення від бою, такі як використання систем протидії вторгненню, для нейтралізації загроз противника.

#### 5. Автономні планери:

- Автоматичне планування маршруту: планери можуть автоматично вибрати оптимальний маршрут, щоб уникнути перешкод на землі або в повітрі

Ці способи загородження можуть використовуватися як окремо, так і в комплексі, залежно від завдань і конфігурації конкретного БПЛА.

Уникнення перешкод за допомогою багатороторного безпілотного літального апарату (БПЛА) вимагає спеціальних стратегій і алгоритмів, оскільки багатороторні БПЛА мають особливі характеристики в поведінці та керуванні порівняно з іншими типами БПЛА. Ось деякі методи, які використовуються для обходу перешкод за допомогою багатороторних БПЛА:

1. Датчики відстані та ультразвукові датчики: багатороторні БПЛА часто оснащені датчиками відстані, такими як ультразвукові датчики або лазерні датчики, щоб допомогти визначити відстань до перешкод і уникнути зіткнень шляхом коригування траєкторії.

2. Відеокамери та обробка зображень: вбудовані відеокамери можна використовувати для виявлення перешкод на шляху БПЛА. Сучасні алгоритми обробки зображень можуть допомогти визначити перешкоди та спланувати безпечний об'їзний маршрут.

3. Алгоритми штучного інтелекту: використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє багатороторним БПЛА ефективніше аналізувати та реагувати на навколишнє середовище, включаючи перешкоди.

4. Системи контролю положення та орієнтації (IMU): Інерціальні вимірювальні системи (IMU) допомагають визначити положення та орієнтацію

БПЛА в просторі, дозволяючи йому ефективно реагувати на зміни в навколишньому середовищі та уникати перешкод.

Ці стратегії можна використовувати окремо або в комбінації для забезпечення безпечного та ефективного уникнення перешкод багатороторними БПЛА.

Програми для уникнення перешкод для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зазвичай включають різні алгоритми та методи, які допомагають БПЛА уникати зіткнення з перешкодами під час польоту. Ось деякі програмні компоненти та методи, які можна включити в систему уникнення перешкод:

1. Датчики перешкод. Багато сучасних БПЛА оснащені різними типами датчиків, такими як лідари (лазерні радари), радари, інфрачервоні камери та відеокамери. Ці датчики збирають дані про навколишнє середовище.

2. Алгоритми виявлення перешкод: програмне забезпечення аналізує дані, отримані від датчиків, щоб виявити можливі перешкоди на шляху БПЛА.

3. Алгоритми уникнення перешкод: коли виявляються перешкоди, програмне забезпечення використовує алгоритми уникнення перешкод, щоб обчислити оптимальний маневр для уникнення зіткнення. Це може включати зміну шляху, висоти, швидкості або всіх цих параметрів.

4. Контроль руху: після розрахунку оптимального маневру програма контролює рух БПЛА, щоб виконати цей маневр і уникнути перешкоди.

5. Попередження та виявлення загроз: крім уникнення перешкод, програмне забезпечення може генерувати попередження або відображати оператору інформацію про можливі загрози та перешкоди.

6. Планування маршруту: у деяких випадках, коли важко уникнути перешкоди в реальному часі, програмне забезпечення може розробити альтернативний маршрут навколо перешкоди.

Ці програмні компоненти можуть бути інтегровані в автопілот БПЛА або програмне забезпечення дистанційного керування. Точність і ефективність системи уникнення перешкод є важливою, особливо у випадках, коли БПЛА повинні працювати в обмеженому або невідомому середовищі.

## 1.4 Автономний режим БПЛА

Режим автономного керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) передбачає можливість блоку приймати рішення та виконувати завдання без безпосереднього втручання оператора. Такий спосіб роботи стає все більш поширеним завдяки розвитку сучасних технологій. До основних аспектів режиму автономного керування БПЛА відносяться:

1. Навігація: БПЛА може використовувати GPS, датчики, комп'ютерне бачення або інші методи для визначення свого місцезнаходження та навігації в просторі. Важливою частиною автономної навігації є можливість уникати перешкод і контролювати маршрут. Ключовим елементом управління лініями електропередач є навігація безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у просторі. Завдяки здатності БПЛА швидко рухатися в трьох вимірах, система управління повинна ефективно забезпечувати навігаційні функції протягом обмеженого періоду часу, зменшуючи можливість помилкового збору даних. Для цього було визначено використання двох основних навігаційних систем: інерціальної навігаційної системи (INS) і глобальної системи позиціонування (GPS).

2. Незалежне прийняття рішень: БПЛА можна запрограмувати на виконання різних завдань, таких як автоматичне виявлення об'єктів, фотографування та відеозйомка, збір даних тощо. Відповідно до вбудованої логіки або алгоритмів, він може приймати рішення щодо виконання цих завдань. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) в автономному режимі можуть приймати рішення за допомогою різних алгоритмів і систем штучного інтелекту. Ось кілька способів, якими вони можуть самостійно приймати рішення:

Алгоритми штучного інтелекту (AI): БПЛА можуть використовувати алгоритми штучного інтелекту, навчені даними, для аналізу та інтерпретації інформації від датчиків, які допомагають йому виконувати різноманітні завдання, такі як навігація, виявлення перешкод, спостереження тощо;



Системи прийняття рішень на основі правил: деякі БПЛА можуть мати вбудовані системи на основі правил, які дозволяють їм приймати рішення відповідно до певних параметрів або обмежень.;

Оптимальні алгоритми керування: БПЛА можуть використовувати оптимальні алгоритми керування для вибору оптимальних дій на основі вхідних даних від датчиків та інших джерел інформації.;

Системи прогнозування: враховуючи історичні дані та поточні умови, деякі БПЛА можуть використовувати системи прогнозування для прогнозування подій і прийняття рішень, які оптимізують їхні дії.

Ці методи дозволяють БПЛА ефективно працювати в автономному режимі, вирішуючи завдання та реагуючи на зміни навколишнього середовища без необхідності постійного контролю з боку оператора.

Включає алгоритм нейронної мережі з глибоким підкріпленням із методом пропорційної оптимізації (DRL PPO), налаштування середовища, спостереження та дії для забезпечення навігації та уникнення перешкод безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Робота з алгоритмом глибокого навчання з підкріпленням[1].

Взаємодіючи з навколишнім середовищем, агенти DRL в дискретний час генерують такі траєкторії:

$$\tau_i = \{s_0, a_0, r_0, s_1, a_1, r_1, s_2, \dots\}. \quad (1)$$

Де в попередньому виразі:  $s_t$ - поточний стан; побічна дія;

$r_t$ -отримана винагорода на кроці часу  $t$ .

Якщо всі траєкторії відповідають поточному стану, а винагорода залежить виключно від попереднього стану, тоді відповідна система класифікується як процес прийняття марковських рішень (MDP), який використовується для взаємодії дрона з навколишнім середовищем. На малюнку показано взаємодію БПЛА та ПМД.

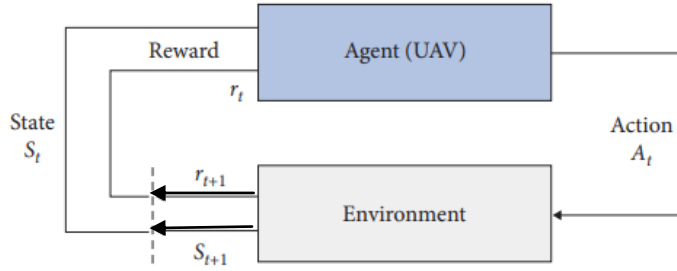


FIGURE 1: The whole MDP framework for the UAV interacts with the environment.

Оцінка всіх можливих майбутніх винагород, які дрон може отримати в поточний момент часу, позначається  $R(\tau)$ , і визначається наступним чином:

$$R(\tau) = r_t + \gamma r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + \dots = \sum_{i=0}^T \gamma^i r_{t+i}, \quad (2)$$

Де  $\gamma \in [0, 1]$  це ставка дисконту, яка визначає поточну вартість майбутніх винагород.  $T$  вказує завершений часовий крок дрона на треку. Основна мета навчання підкріплення RL полягає в тому, щоб дрон навчився та використовував стратегію  $\pi_\theta$  для максимізації винагороди. Відповідно до цієї стратегії дрон досліджує навколишнє середовище протягом кількох ітерацій і отримує загальну винагороду за цей період:

$$R_\theta = \sum_{\tau} R_{\tau} \pi_{\theta}(\tau) = E_{\tau \sim \pi_{\theta}(\tau)} [R(\tau)]. \quad (3)$$

Метод градієнтного спуску можна використовувати для покращення прийняття рішень дроном, щоб оновлена стратегія отримувала вищу винагороду. Цей алгоритм називається алгоритмом посилення:

$$\nabla R_\theta = E_{\tau \sim \pi_{\theta}(\tau)} [R(\tau)] = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^{T_n} R(\tau^n) \nabla \log \pi_{\theta}(a_t^n | s_t^n). \quad (4)$$

У попередньому рівнянні  $N$  — загальна кількість траєкторій, якими дрон взаємодіє з навколишнім середовищем, а  $T_n$  — кількість усіх кроків на траєкторії. РРО реалізовано за допомогою фреймворку актор-критика, де мережа критиків використовується для оцінки винагороди, яку можна отримати в майбутньому відповідно до поточного стану  $s_t$ , а мережа акторів використовується для

генерації дій агента за параметрами критична мережа представлена ф. Ми оцінюємо стан мережі критика, який контролює оптимізацію мережі актора.

$$V_{\phi}(s_t) = r_t + \gamma r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + \dots + \gamma^n V_{\phi}(s_{t+n}). \quad (5)$$

Значення загальної винагороди шляху в поточному стані  $s_t$  можна оцінити за допомогою функції значення  $V(s_t)$ , яка може замінити  $R(\tau)$ . Рівняння (6) представляє функцію втрат критичної мережі, а вибір параметрів нейронної мережі в основному досягається завдяки історичним даним, вивченим дронами.

$$\text{Loss}(\phi) = -\sum_{t=1}^T (\sum_{t' > t} \gamma^{t'-t} r_{t'} - V_{\phi}(s_t))^2. \quad (6)$$

Для більш ефективного навчання агентської мережі алгоритм PPO вводить рівняння переваги  $A_t$ , як показано в рівнянні (7). Представити перевагу дії дрона порівняно із середнім значенням у першому стані.

$$\hat{A}_t = \sum_{t' > t} \gamma^{t'-t} r_{t'} - V_{\phi}(s_t). \quad (7)$$

Крім того, алгоритм PPO вводить важливість вибірки для підвищення ефективності досвіду агента шляхом використання співвідношення між досвідом поточної політики та досвідом попередньої політики, як показано в рівнянні (8).

$$r_t(\theta) = \frac{\pi_{\theta}(a_t | s_t)}{\pi_{\theta_{\text{old}}}(a_t | s_t)}. \quad (8)$$

Рівняння (6) представляє мережеву цільову функцію алгоритму PPO. Алгоритм PPO вводить параметр  $\epsilon$  для обмеження значення цільової функції. Якщо значення цільової функції перевищує верхню межу, виконується операція усікання. Перевага цього підходу полягає в тому, що він може обмежити розмір градієнта зворотного поширення і таким чином забезпечити більш стабільне навчання мережі.

$$J_{\text{PPO}}^{\text{clip}}(\theta) = \sum_{t=1}^T \min\left(r_t(\theta)\hat{A}_t, \text{clip}(r_t(\theta), 1 - \epsilon, 1 + \epsilon)\hat{A}_t\right). \quad (9)$$

## Налаштування середовища.

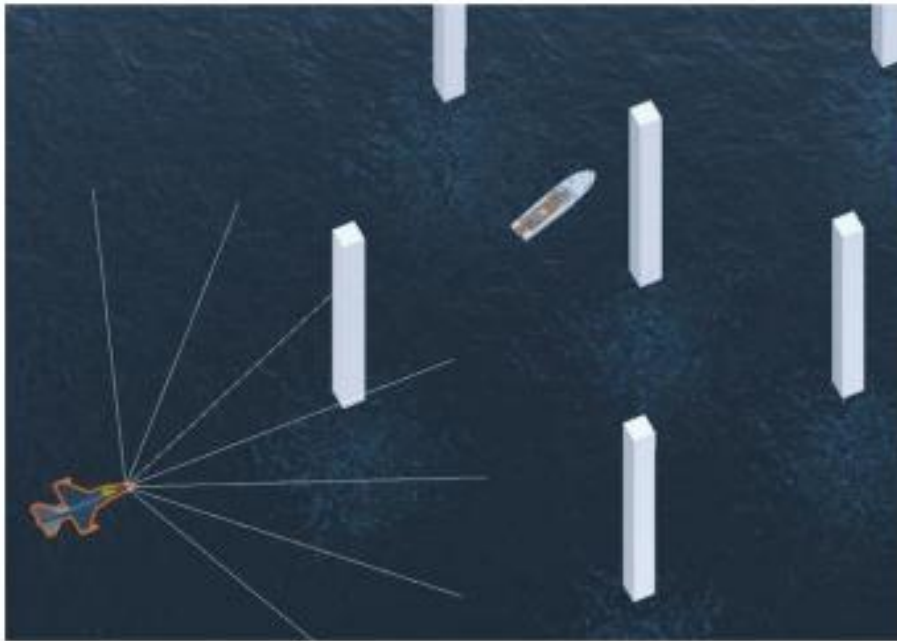


Рис. 3 Схема на основі Unity3D

На рис. 3 показана схема автономної навігації та уникнення перешкод для БПЛА на базі Unity3D. У встановленій обстановці фіксуємо висоту БПЛА і ціль знаходиться на певній відстані від БПЛА. На початковому етапі БПЛА знаходиться на певній відстані від цільової позиції, він повинен оминати перешкоди і досягти цілі. БПЛА використовує датчик променя для виявлення перешкод, а максимальна дальність виявлення датчика становить  $d$ . Це означає, що БПЛА наближається до перешкоди, коли відстань до перешкоди, отримана датчиком променя, менше певного порогу. Навігаційна місія БПЛА вважається успішною, якщо відстань між БПЛА та цільовою точкою менше певного порогу.

Схема обмежена фіксованою областю тривимірного простору, де має бути фіксована висота БПЛА, а кількість фіксованих прямокутників випадковим чином розміщені як перешкоди; крім того, нерухоме судно встановлено як позицію. Коли БПЛА перпендикулярно до корабля, це означає, що він досяг цільової позиції.

Простір спостережень і дій.

Основою задачі навігації та подолання перешкод БПЛА є пошук оптимального шляху без зіткнень. Для автономного прийняття рішень під час

виконання завдань з навігації та подолання перешкод БПЛА повинні спостерігати інформацію про навколишнє середовище за допомогою датчиків. У наведеному завданні основною сенсорною інформацією БПЛА є координати цілі та інформація про перешкоди, що сприймаються датчиком променя. На кожному часовому етапі час спостереження датчика променя перешкод БПЛА визначається наступним чином:

$$O_{\text{sensor}} = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_n], \quad (10)$$

де  $d_{1-n}$  позначає відповідне показання датчика променя, а  $d_n = 0$ , коли перешкоди не виявлено, інакше  $d_n$  є скаляром між 0 і  $L$ , що вказує відстань між БПЛА та перешкодою. Інформація про стан самого БПЛА включає інформацію про швидкість, інформацію про положення та інформацію про кути повороту, крену та тангажу, які представлені таким чином:

$$\text{UAV}_{\text{status}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \dot{v} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\delta} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Для спрощення ми фіксуємо висоту польоту БПЛА, тому прибираємо інформацію про кути тангажу та крену та залишаємо інформацію про кут повороту. Спрощену інформацію про стан БПЛА наведено нижче:

$$\begin{bmatrix} x(t+1) \\ y(t+1) \\ v(t+1) \\ \psi(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t) + v(t)\Delta t \cos \psi \\ y(t) + v(t)\Delta t \sin \psi \\ v(t) + a(t)\Delta t \\ \psi(t) + w(t)\Delta t \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Враховуючи масштабованість і узагальнення алгоритму, я спрощую інформацію про сприйняття БПЛА, включаючи відносну відстань і напрямок між БПЛА та цільовою точкою в інформації сприйняття, і вилучаю позицію БПЛА та цільову позицію. Повна інформація про сприйняття БПЛА після спрощення наведена нижче:

$$O = [\psi(t), \text{dis}(t), v(t), d_1, d_2, d_3, \dots, d_n]. \quad (13)$$

У попередньому рівнянні  $\psi(t)$  – кут повороту між проекцією БПЛА та ціллю,  $\text{dis}(t)$  – відстань між БПЛА та ціллю,  $v(t)$  – швидкість БПЛА, а  $d_n$  – спостереження БПЛА - датчика про перешкоди в навколишньому середовищі.

Для виконання навігаційного завдання БПЛА повинен мати достатню швидкість, а також стабільний курс. Для цього розроблений контролер дій БПЛА таким чином, що дії, що виконуються БПЛА, визначені нижче:

$$a_t = [v(t), \psi(t)]. \quad (14)$$

У момент часу  $t$  вихідними даними БПЛА є швидкість  $v(t)$  і кут повороту  $\psi(t)$ , а положення БПЛА контролюється за допомогою спільного рівняння (12). Після отримання інформації про положення БПЛА розраховується інформація про власний стан БПЛА в поточний момент часу. У реальних тренуваннях швидкість БПЛА фіксується для швидкого планування оптимальної траєкторії, а БПЛА покладається на кермове керування  $\psi(t)$  для виконання операції уникнення перешкод [1].

3. Контроль повітряного простору. Унікальною особливістю автономних БПЛА є їх здатність уникати інших літаків і відповідати вимогам безпеки повітряного простору.

4. Зв'язок із землею: через радіоканал або інші засоби зв'язку БПЛА може повідомляти про свій статус, надсилати дані та отримувати команди від оператора або центральної системи управління.

5. Планування маршруту: автономний БПЛА може розробляти маршрути для завдань або подорожей, які можуть включати пункти відправлення, шляхові точки та пункти призначення.

6. Системи обробки помилок: для забезпечення безпеки в автономному режимі БПЛА може мати системи, які реагують на збій обладнання або інші непередбачені обставини, намагаючись забезпечити повернення транспортного засобу в безпечне місце.

Режим автономного керування робить БПЛА корисними для різних застосувань, включаючи сільськогосподарську промисловість, картографію, дослідження, рятувальні операції та багато іншого. Важливою частиною розвитку цієї технології є забезпечення безпеки.

Створення ортофотоплощини як один із методів навігації[2]

Ортофотоплан (рис. 4) — це графічне зображення конкретної земельної ділянки, отримане за допомогою аерофотозйомки та після подальшої обробки зображень методами ортотрансформації. Його суть полягає в тому, що він складається з великої кількості фотографій, зроблених з великої висоти вертикально вниз, що дозволяє досягти найбільш точного зображення земної поверхні.



Рис. 4 Зображення БПЛА (ортофотоплан)

Компанії використовують зображення, отримані з дронів, для створення ортофотопланів з необхідною точністю та в системі координат відповідно до вимог проекту. Ортофотоплани використовують для створення топографічних карт і планів, виконання кадастрових робіт, інвентаризації земель, а також для об'єктів капітального будівництва та інших цілей.

При створенні ортофотоплощини кожне вихідне зображення обробляється для усунення спотворень, викликаних рельєфом місцевості та способом отримання. У результаті кожне зображення перетворюється на площинну проекцію, де кожна точка на місцевості розглядається вертикально. Потім набір зображень об'єднується в одне зображення.

Використання ортофотоплощини є невід'ємною частиною картографічних матеріалів і визначення координат об'єктів. Завдяки використанню дронів вдалося здешевити аерофотозйомку та значно підвищити якість отриманих результатів.

Створення ортофотоплощини відбувається в кілька етапів:

– Підготовчий етап: збір необхідної інформації. На цьому етапі фахівець формулює завдання аерофотозйомки, визначає необхідний масштаб на карті, задає координати опорних точок на місцевості. Також на цьому етапі формується маршрут дрона, де задається оптимальна швидкість, висота, роздільна здатність знімків і стартова точка.

– Наступний крок: аерофотозйомка. Початкова і кінцева точки польоту вже встановлені на потрібній місцевості, а процес автоматичної зйомки відбувається за заданими координатами і опорними об'єктами.

– Завершальний етап: обробка даних. Отримані кадри імпортуються в спеціальну програму. У ньому фахівець задає координати та встановлює необхідні опорні точки, усуває всі дефекти на знімках і на їх основі будує ортофотоплан. Готовий ортофотоплан доступний у різних форматах.

## **1.5 Попередня постановка задачі дослідження**

Створення програми блокування автономного безпілотної літального апарату (БПЛА) є складним завданням, яке вимагає досвіду програмування, обробки сигналів і машинного навчання. Проте я можу дати загальний огляд кроків, які можуть бути включені до такої програми:

1. Збір даних про навколишнє середовище:

- Використання датчиків, таких як лідари, радары, інфрачервоні та візуальні камери, для збору інформації про навколишнє середовище, включаючи місцевість, перешкоди та інші об'єкти.

2. Обробка та аналіз даних:



- Програмне забезпечення повинно обробляти та аналізувати отримані дані, щоб визначити потенційні перешкоди та їх характеристики, такі як розмір і відстань.

### 3. Планування маршруту:

- Алгоритми планування маршруту визначають оптимальний шлях для БПЛА з урахуванням виявлених перешкод і цілей місії.

### 4. Алгоритми обходу перешкод:

- Розробка алгоритмів обходу перешкод, які визначають, як БПЛА повинен відступати, обходити або уникати перешкод. Ці алгоритми можуть використовувати штучний інтелект, машинне навчання або програмування на основі правил.

### 5. Контроль дорожнього руху:

- Програмне забезпечення контролює рух БПЛА та виконує відповідні маневри, щоб уникнути перешкод.

### 6. Розгляд динаміки та обмежень:

- Розрахунки повинні враховувати фізичні обмеження БПЛА, такі як максимальна швидкість, радіус повороту та інші фактори динаміки.

### 7. Перевірка безпеки:

- Переконайтеся, що алгоритми уникнення перешкод не призводять до небезпечних ситуацій і збалансують безпеку з виконанням місії.

### 8. Постійний моніторинг і корекція:

- Програма повинна постійно контролювати ситуацію і, якщо необхідно, коригувати маршрут БПЛА, щоб уникнути нових перешкод або змінених умов.

## **1.6 Алгоритм системи контролю за станом посівів**

Розглянемо на прикладі систему моніторингу стану посівів, яка складається з двох основних підсистем: підсистеми моделювання та автопілотування безпілотного авіаційного комплексу та інформаційної підсистеми мультиспектрального аналізу аерофотознімків [3]. Спочатку розглянемо

послідовність дій, що описують роботу системи в цілому, і закінчимо передачею готового звіту про аналіз стану посівів. Схема діаграми діяльності системи в цілому виглядає так:

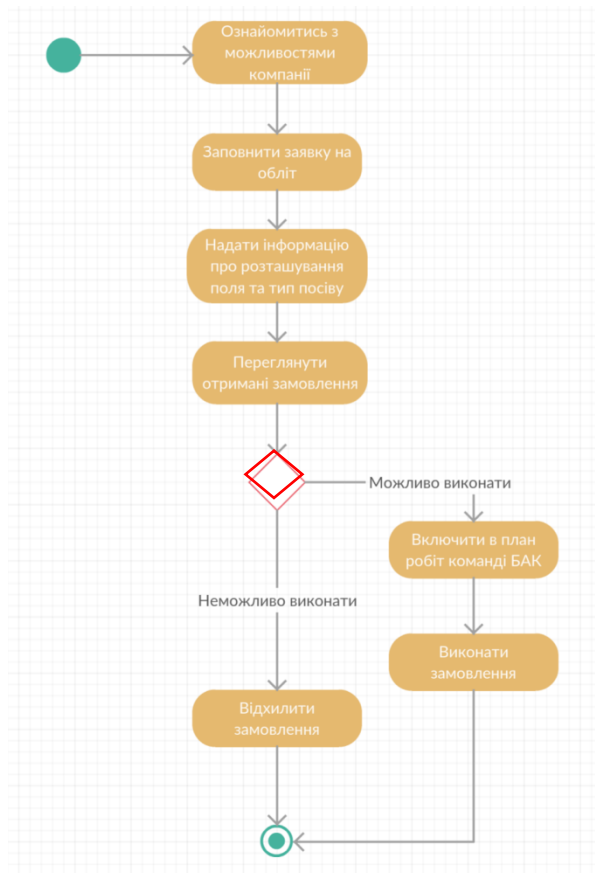


Рис. 5 Схематична схема діяльності системи

Структура інформаційної підсистеми мультиспектрального аналізу аерофотознімків безпілотних літальних комплексів. Ця підсистема використовує інформацію, отриману під час обльоту полів, для створення ортофотоплану та аналізу даних, які є основою для підготовки звіту. На діаграмі активності (рис. 6) показано послідовний аналіз вхідних даних підсистеми мультиспектрального аналізу аерофотознімків.

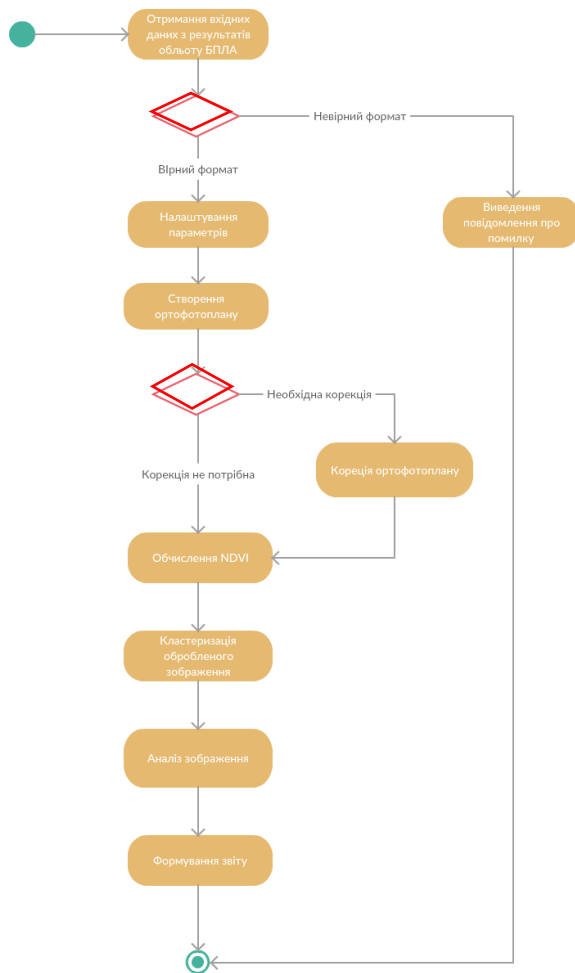


Рис. 6 Діаграма активності послідовного аналізу

Розглянемо алгоритми DBSCAN і OPTICS.

Перед використанням алгоритму DBSCAN (рис. 7) важливим кроком є попередня обробка даних. Під час цього процесу, який базується на об'єктах набору даних, може статися, що деякі значення в наборі даних відсутні. Тому з відсутніми значеннями слід працювати під час попередньої обробки, і якщо в наборі даних буде виявлено шум, його слід видалити [5]. Розбиття — це процес, за допомогою якого набір даних спочатку ділиться на чотири частини. Розбиття набору даних на дві або три частини може мати нечіткі межі, і вони можуть накладатися. Тому ми починаємо з найвищого рівня, тобто всього набору даних, і поступово розбиваємо його, поки не буде виконано критерії однорідності.

```

1 begin
2    $C \leftarrow 0$ 
3   for each point  $P$  in dataset  $D$  do
4     if  $P$  is visited then
5       | Continue to next  $P$ 
6     end
7     else
8       | mark  $P$  as visited
9       |  $nbrPts \leftarrow$  points in  $\varepsilon$ -neighborhood of  $P$  (distance function)
10      | if  $sizeof(nbrPts) < minPts$  then
11        | mark  $P$  as NOISE
12      | end
13      | else
14        |  $C \leftarrow NewCluster$ 
15        | Call Expand Cluster Function( $P, nbrPts, C, minPts$ )
16      | end
17    end
18  end
19 end

```

Рис. 7 Наведено псевдокод для алгоритму DBSCAN [5].

Після створення кластерів можуть залишитися об'єкти, які ще не були кластеризовані, і вони можуть бути шумовими або точками перетину. Тому це вимагає подальшої обробки. Деякі з кластерів можуть бути занадто малими, щоб вважатися окремими кластерами, тому необхідна подальша обробка. Ми можемо додати такі звуки до найближчого кластера, який має найменшу відстань. Може статися так, що одні шумові зони оточені іншими шумовими зонами і не мають прямого зв'язку з будь-якими кластерами. У цьому випадку ці регіони можна об'єднати лише після об'єднання їхніх сусідніх регіонів. Тому нам потрібно виконати кілька ітерацій, щоб об'єднати ці точки шуму. Ми також об'єднуємо кластери з суміжними кластерами, які мають найменшу відстань [5].

Алгоритм OPTICS (рис. 8) створює сортування даних, зберігаючи відстань від центру та діапазон для кожного об'єкта. Ця інформація дозволяє нам отримати всі кластери, побудовані за щільністю, щодо будь-якої відстані  $\varepsilon$ , меншої за відстань покоління  $\varepsilon$  цього порядку. На рис. 8 представлений основний цикл алгоритму OPTICS [4].

```

1 OPTICS(Objects, e, MinPts, OrderFile):
2   for each unprocessed obj in objects:
3     neighbors = Objects.getNeighbors(obj, e)
4     obj.setCoreDistance(neighbors, e, MinPts)
5     OrderFile.write(obj)
6     if obj.coreDistance != NULL:
7       orderSeeds.update(neighbors, obj)
8     for obj in orderSeeds:
9       neighbors = Objects.getNeighbors(obj, e)
10      obj.setCoreDistance(neighbors, e, MinPts)
11      OrderFile.write(obj)
12      if obj.coreDistance != NULL:
13        orderSeeds.update(neighbors, obj)

1 OrderSeeds::update(neighbors, centerObj):
2   d = centerObj.coreDistance
3   for each unprocessed obj in neighbors:
4     newRdist = max(d, dist(obj, centerObj))
5     if obj.reachability == NULL:
6       obj.reachability = newRdist
7       insert(obj, newRdist)
8     elif newRdist < obj.reachability:
9       obj.reachability = newRdist
10    decrease(obj, newRdist)

```

Рис. 8 Псевдокод для алгоритму OPTICS[4]

Кожен об'єкт з бази даних SetOfObjects передається в процедуру OpticsOrder, якщо об'єкт не був оброблений [4]. Вставленням у список початкових даних і обробкою доступності на відстані керує метод OrderSeeds::update(neighbors, centerObject). Доступність кожного об'єкта серед набору сусідів визначається відносно centerObject центрального об'єкта. Об'єкти, які ще не поставлені в чергу з пріоритетом OrderSeeds, просто вставляються з їх віддаленістю. Об'єкти, які вже знаходяться в черзі, переміщуються на початок черги, якщо їх новий діапазон менше попереднього [4].

## 1.7 Висновок по першому розділу

Глава 1 містить вичерпний огляд сучасних методів уникнення перешкод для БПЛА та визначає ключові аспекти, які будуть вивчені та розроблені в наступних розділах дослідження. Аналіз обраного БПЛА та його характеристик, а також огляд методів обходу перешкод є основою для подальших досліджень і розробки алгоритмів керування.

## РОЗДІЛ 2: Підготовка програми

### 2.1 Використання Цифрових карт місцевості в БПЛА

Використання цифрових карт рельєфу є важливим компонентом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) із різними застосуваннями, включаючи пошук і порятунок, картографію, військові операції та інші завдання. Деякі з ключових переваг використання цифрових карт рельєфу в БПЛА включають:

1. Навігація. Цифрові карти місцевості дозволяють ефективно орієнтуватися на БПЛА в різних географічних областях, забезпечуючи точне визначення місця розташування, оптимальне планування маршруту та уникнення перешкод.

2. Виявлення об'єктів: використовуючи цифрові карти високої роздільної здатності, БПЛА може ефективно виявляти такі об'єкти, як будівлі, дороги, водойми та інші важливі об'єкти місцевості, допомагаючи уникати небезпек і виконувати певні завдання.

3. Планування маршруту: цифрові карти дозволяють БПЛА оптимізувати маршрути для ефективного виконання завдань залежно від географічних обмежень, погодних умов та інших факторів, що впливають на політ.

4. Автономність: використання цифрових карт допомагає підвищити рівень автономності БПЛА, оскільки вони можуть самостійно аналізувати та реагувати на зміни рельєфу місцевості, що дає змогу зменшити залежність від операторів у реальному часі.

5. Аналіз даних: цифрові карти рельєфу дозволяють збирати дані про рельєф у реальному часі, уможлиблюючи детальний аналіз географічних об'єктів для різноманітних завдань, включаючи пошук і порятунок, картографію, моніторинг навколишнього середовища тощо.

Кафедра АКСУ					НАУ 23.17.56.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2			
Виконав.		Романовський Е.Р.			ПІДГОТОВКА ПРОГРАМИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Мельник Ю.В.					38	89
Консульт.		Мельник Ю.В.				151-313-СУ		
Контроль.		Дивнич М.П.						
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						

Загалом, використання цифрових карт місцевості в БПЛА покращує його продуктивність, забезпечуючи точнішу навігацію, планування маршруту та аналіз даних для ефективного виконання різноманітних завдань.

Використання цифрових карт рельєфу в безпілотних літальних апаратах (БПЛА) для ідентифікації людей, що зазнали лиха, може бути критично важливим під час аварійних, пошуково-рятувальних місій. Цифрові карти в поєднанні з сучасними технологіями обробки даних дозволяють БПЛА швидко та ефективно сканувати територію, виявляти потенційно небезпечні ситуації та знаходити людей, які потребують допомоги. Таке використання цифрових карт місцевості сприяє швидкому реагуванню на небезпеку та допомагає в організації швидких рятувальних операцій з мінімальним ризиком для персоналу.

В останні роки в багатьох галузях промисловості існує потреба в детальних геопросторових даних, які перевищують можливості традиційних топографічних карт в аналоговому та цифровому форматах. Для вирішення інженерних завдань необхідна детальна 3D інформація про просторове розташування об'єктів.

Джерелами для створення цифрових моделей є картографічні матеріали, аерофотознімки та дані польових зйомок. Аерофотозйомка з БПЛА має перевагу перед отриманням даних через космічні супутники та пілотовані атмосферні літальні апарати завдяки швидкодії, можливості зйомки з невеликої висоти та без ризику для пілотів.

Основними факторами, які впливають на точність створення 3D моделі місцевості, є сценарій зйомки конкретних об'єктів, висока роздільна здатність, тип об'єктива і точність калібрування камери.

Принципову схему способу створення 3D моделі місцевості на основі фото- та відеоданих з БПЛА можна описати так:

Побудова орієнтовної моделі: На цьому етапі відбувається автоматичне визначення спільних точок на зображеннях, відтворення проєкцій променів, визначення координат центрів фотозйомки та взаємної орієнтації зображень, а також розрахунок параметрів оптичної системи, викон.

Підключення моделі до зовнішньої системи координат: На цьому етапі коригуються всі параметри системи, включаючи координати центрів фотозйомки, опорні точки, кути орієнтації зображень і параметри оптичної системи. Як вагові коефіцієнти для вирівнювання використовуються похибки визначення координат та інші фактори.

Побудова полігональної моделі поверхні місцевості (рис. 9): На цьому етапі використовується тріангуляція спільних точок, отриманих на попередньому етапі, а також більш точні методи обробки для визначення просторового положення кожного пікселя на зображенні.

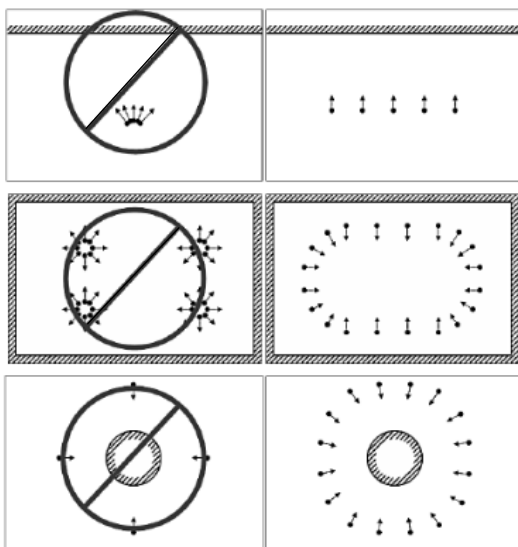


Рис. 9 Сценарії запису об'єктів місцевості

Ця техніка дозволяє створювати детальні 3D-моделі місцевості за допомогою фотографій і відео з безпілотних літальних апаратів. Для обробки даних зйомки використовується програмний пакет Agisoft PhotoScan, що забезпечує ефективне побудова та картографування моделей місцевості.



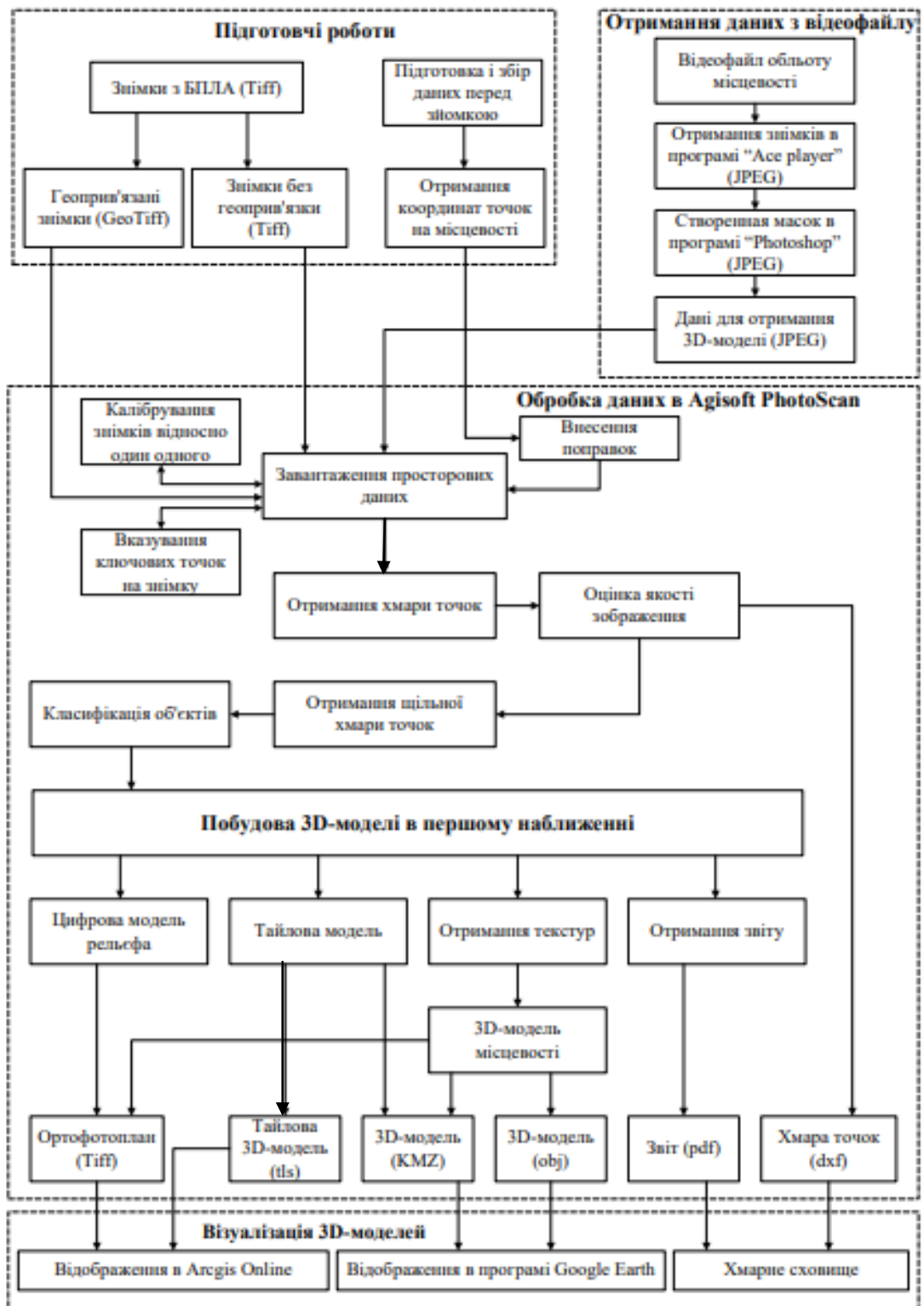


Рис. 10 Структурна схема методу побудови 3D моделі місцевості за даними аерофотозйомки БПЛА.

Запропонована методика дозволяє створювати 3D-моделі місцевості, цифрові моделі рельєфу, ортофотоплани, а також звіти з параметрами

реконструкції та характеристиками камер на основі бази даних, отриманих з безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

На рис. 10 наведено структурну схему методу побудови тривимірної моделі місцевості за даними аерофотозйомки з БПЛА [3].

## **2.2 Алгоритм перестройки**

Алгоритм реконструкції в цьому контексті може стосуватися процесу зміни або оптимізації структури, розташування об'єктів або внутрішньої логіки системи. Він може описувати серію кроків, що передбачають розробку, модифікацію або реструктуризацію певної системи, процесу або програмного забезпечення для підвищення ефективності, продуктивності або інших важливих характеристик.

Алгоритм переналаштування безпілотного літального апарату (БПЛА) в автономному режимі включає ряд кроків, які дозволяють БПЛА адаптуватися до нових умов або виконувати певні функції без безпосереднього втручання оператора. Це може включати зміну траєкторії польоту для уникнення перешкод або оптимізацію маршруту, перемикання на резервний режим польоту в разі проблем або автоматичне виконання певних маневрів для досягнення мети БПЛА.

Це включає комплексну систему інструкцій, які дозволяють БПЛА виконувати різні дії без прямого контролю з боку оператора. Такий алгоритм можна використовувати для різноманітних ситуацій, включаючи уникнення перешкод, адаптацію до мінливих погодних умов, виявлення та уникнення аварійних ситуацій, а також безпеку польотів.

У процесі розробки алгоритму реконструкції БПЛА в автономному режимі важливо враховувати різні фактори, такі як заданий контекст польоту, можливі перешкоди та небезпеки, параметри польоту, висота, швидкість та багато інших. Алгоритм має бути розроблений таким чином, щоб він забезпечував безпеку польоту та ефективність виконання польотних завдань, забезпечуючи при цьому високу точність та стабільність керування БПЛА.

Ключові етапи алгоритму можуть включати аналіз навколишнього середовища за допомогою датчиків на БПЛА, визначення перешкод і потенційно небезпечних об'єктів, прийняття рішення щодо подальших дій і виконання необхідних маневрів, щоб уникнути небезпеки. Таким алгоритмом може бути покрокова послідовність команд, які БПЛА виконує автономно відповідно до встановлених протоколів і параметрів. Оптимальний алгоритм налаштування в автономному режимі дозволяє забезпечити ефективне та безпечне керування БПЛА в різних умовах польоту.

### **2.3 Пошук точки**

У процесі навігації та обходу перешкод БПЛА важливо забезпечити ефективне орієнтування при уникненні перешкод. Цього можна досягти за допомогою ряду алгоритмів і стратегій, які дозволяють БПЛА ефективно визначати шлях до цілі, уникати перешкод і мінімізувати ризик зіткнення. Одним із таких алгоритмів є алгоритм пошуку найкоротшого шляху, який базується на графічному зображенні середовища.

Для початку необхідно зібрати інформацію про структуру навколишнього середовища, включаючи розташування перешкод, пункт призначення, а також можливі шляхи навігації БПЛА. Тоді алгоритми пошуку шляху, такі як  $A^*$ , Дейкстра або алгоритм RRT (Rapidly-exploring Random Tree) [6-9], можна використовувати для пошуку найкоротшого шляху до мети з урахуванням перешкод.

При використанні алгоритму  $A^*$  [7] необхідно враховувати ваги та відстані між вузлами графа, а також ефективно оцінювати витрати на переміщення до наступних вузлів для забезпечення оптимального шляху. Для більш складних і динамічних середовищ може бути корисним алгоритм RRT[8], оскільки він використовує випадкові точки для ефективного розгалуження та пошуку шляху в невідомому середовищі.

При роботі з алгоритмами визначення шляху також важливо враховувати динаміку руху БПЛА, зміну параметрів навколишнього середовища та інші фактори, які можуть вплинути на навігацію. Забезпечення безпеки та точності визначення дороги в умовах невизначеності допомагає запобігти можливим аваріям і зіткненням з перешкодами.

При плануванні траєкторії БПЛА також слід враховувати поточний стан і положення БПЛА, щоб уникнути неочікуваних перешкод і забезпечити ефективну навігацію. Цього можна досягти шляхом постійного моніторингу навколишнього середовища та оновлення шляху в режимі реального часу відповідно до мінливих умов навколишнього середовища.

Існує кілька способів реалізації алгоритмів визначення шляху та навігації для БПЛА. Деякі програми та середовища дозволяють інтегрувати ці алгоритми для забезпечення ефективної навігації та уникнення перешкод. Ось кілька кроків, які можна використати для реалізації алгоритмів навігації за допомогою програмного забезпечення:

1. Визначте оточення: почніть зі збору даних про структуру оточення, включаючи розташування перешкод, пункт призначення та потенційні шляхи для навігації.

2. Вибір програмного забезпечення: виберіть програмне забезпечення, яке підтримує пошук шляху та алгоритми навігації для БПЛА. Деякі популярні варіанти включають ROS (роботна операційна система), PX4 або ArduPilot, які надають інструменти для інтеграції цих алгоритмів.

3. Реалізація алгоритмів: Використовуйте документацію та ресурси вибраного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів навігації. Це може включати коригування параметрів алгоритму, визначення цілей і перешкод і встановлення необхідних датчиків для збору даних про навколишнє середовище.

4. Тестування та налагодження: Перевірте продуктивність алгоритмів шляху шляхом тестування в симуляторі або в контрольованому середовищі. Налаштуйте параметри та алгоритми для досягнення оптимальної навігації та уникнення перешкод.

5. Реалізація в реальному середовищі: після успішного тестування в симуляторі запровадьте навігаційні алгоритми в реальному середовищі. Переконайтеся, що БПЛА ефективно орієнтується, уникає перешкод і досягає цілей з мінімальними ризиками.

Цей процес допоможе вам реалізувати алгоритми навігації та уникнення перешкод для БПЛА, забезпечуючи ефективну та безпечну навігацію в змінних середовищах.

Ця програма є лише загальним прикладом і не містить фактичних алгоритмів навігації та уникнення перешкод. Це може слугувати основою для подальших досліджень і розробки реального навігаційного програмного забезпечення БПЛА. Приклад програми Python, яка демонструє основну ідею:

```
class Drone:
    def __init__(self, environment):
        self.environment = environment

    def navigate(self, destination):
        path = self.plan_path(destination)
        for point in path:
            self.move_towards(point)
            obstacles = self.detect_obstacles()
            if obstacles:
                self.avoid_obstacles(obstacles)

    def plan_path(self, destination):
        # Використовуйте алгоритм пошуку шляху для знаходження
        # оптимального шляху до пункту призначення
        # Це може бути алгоритм A*, Dijkstra або інший відповідний алгоритм.

    def move_towards(self, point):
        # Рухайтесь в напрямку вказаної точки
```

```

def detect_obstacles(self):
    # Виявлення перешкод у навколишньому середовищі

def avoid_obstacles(self, obstacles):
    # Уникайте перешкод шляхом зміни напрямку або швидкості руху

# Створення об'єкту середовища та БПЛА
environment = Environment()
drone = Drone(environment)

# Вказання пункту призначення
destination = Point(x=100, y=100)

# Навігація БПЛА до пункту призначення
drone.navigate(destination)

```

Ця програма демонструє загальний підхід до навігації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та уникнення перешкод за допомогою мови програмування Python. У цьому прикладі використовуються прості алгоритми для планування шляху, виявлення та уникнення перешкод.

Для реалізації більш точних і ефективних алгоритмів уникнення перешкод можна використовувати більш складні методи штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє БПЛА адаптуватися до мінливих умов навколишнього середовища.

Такі програми можуть бути корисними для реальних застосувань, таких як дослідження, розвідка, доставка та багатьох інших сферах, де автономні системи потрібні для ефективного уникнення перешкод і досягнення поставлених цілей.

## **2.4 Датчики для виконання задачі**

Для виконання цього завдання ви можете використовувати різноманітні датчики, які допомагають дрону збирати інформацію про навколишнє середовище та приймати відповідні рішення, щоб уникнути перешкод. Базовий інфрачервоний датчик можна використовувати для виявлення теплового випромінювання від людей або інших об'єктів. Додаткові датчики, такі як ультразвукові або лазерні датчики, можуть допомогти визначити відстань до перешкод і спланувати безпечний маршрут для дрона. Крім того, GPS-приймач можна використовувати для навігації та визначення місця розташування. Усі ці датчики можуть працювати разом, щоб забезпечити безпечний і ефективний політ безпілота та своєчасну допомогу людям у небезпеці.

## 2.5 Твердотільні гіроскопи

Твердотільні гіроскопи (рис. 11) є важливими компонентами безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Вони відповідають за визначення орієнтації та стабілізацію БПЛА в повітрі. Твердотільні гіроскопи використовуються для вимірювання кутової швидкості дрона навколо трьох осей: крен, тангаж і поворот. Вони дозволяють БПЛА точно визначати своє положення в просторі і зберігати стійкість під час польоту.



Рис. 11 Твердотільний вібраційний гіроскоп ТВГ-43

Однією з переваг твердотільних гіроскопів є висока стабільність і точність вимірювання кутової швидкості, а також відсутність рухомих частин, які потенційно піддаються зносу або потребують обслуговування (рис. 12). Це робить їх ефективними для застосувань БПЛА, оскільки вони забезпечують стабільну та точну інерціальну навігацію без значних витрат на обслуговування.

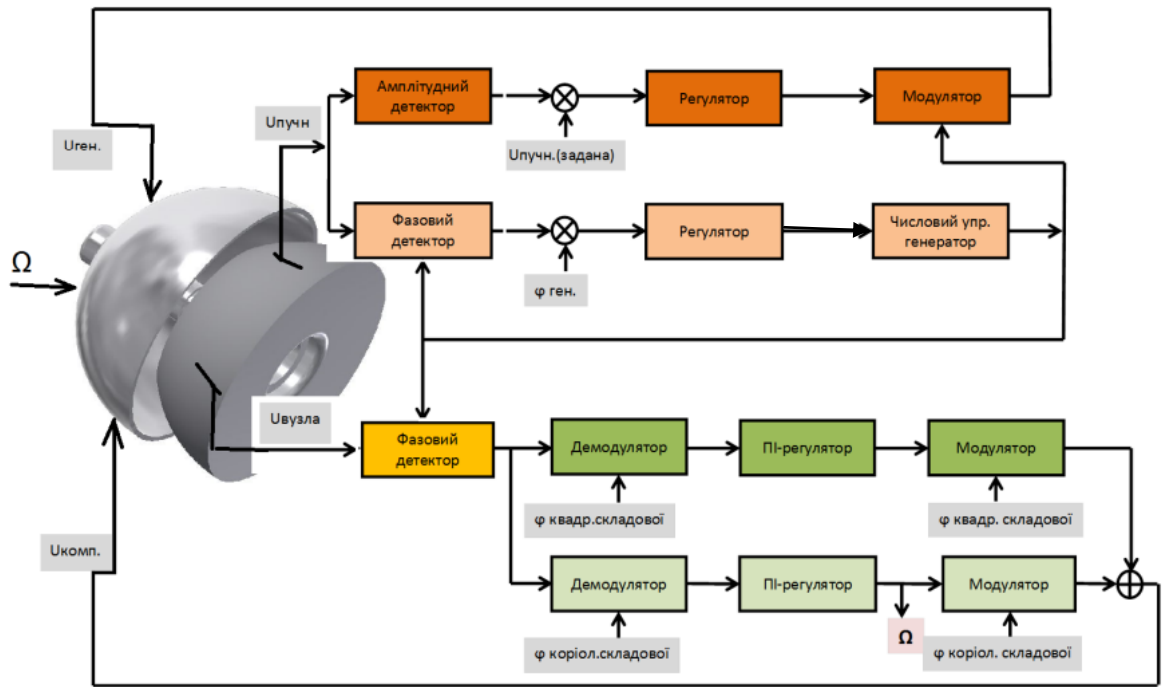


Рис. 12 Структурна схема системи керування гіроскопом

За допомогою твердотільних гіроскопів можна контролювати положення дрона в повітрі, а також визначати його орієнтацію в просторі. Вони є важливими компонентами автопілота та систем стабілізації, які допомагають БПЛА зберігати точність і стабільність під час польоту в різних умовах і середовищах.

## 2.6 Лідари

Лідари (лазерні сканери) (рис. 13, 14) є важливими компонентами безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оскільки забезпечують високоточне вимірювання відстаней і створення тривимірних хмар точок даних для картографування поверхонь і навколишнього простору. Ці хмари точок даних використовуються для створення 3D-моделей місцевості, виявлення перешкод і навігації БПЛА в реальному часі.





Рис. 13 Професійний лідар. YellowScan Surveyor - лазерний сканер для БПЛА.[10]

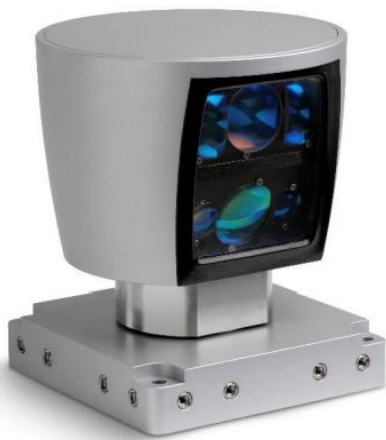


Рис. 14 Лідари HDL-64E

Лідар дозволяє БПЛА отримувати детальні дані про форму, розмір і відстань до об'єктів у навколишньому середовищі. Це дозволяє дронам уникати зіткнень з перешкодами та планувати ефективну траєкторію польоту. Вони також використовуються для виявлення об'єктів інтересу, таких як люди або транспортні засоби, які можуть потребувати допомоги або спостереження (рис. 15).

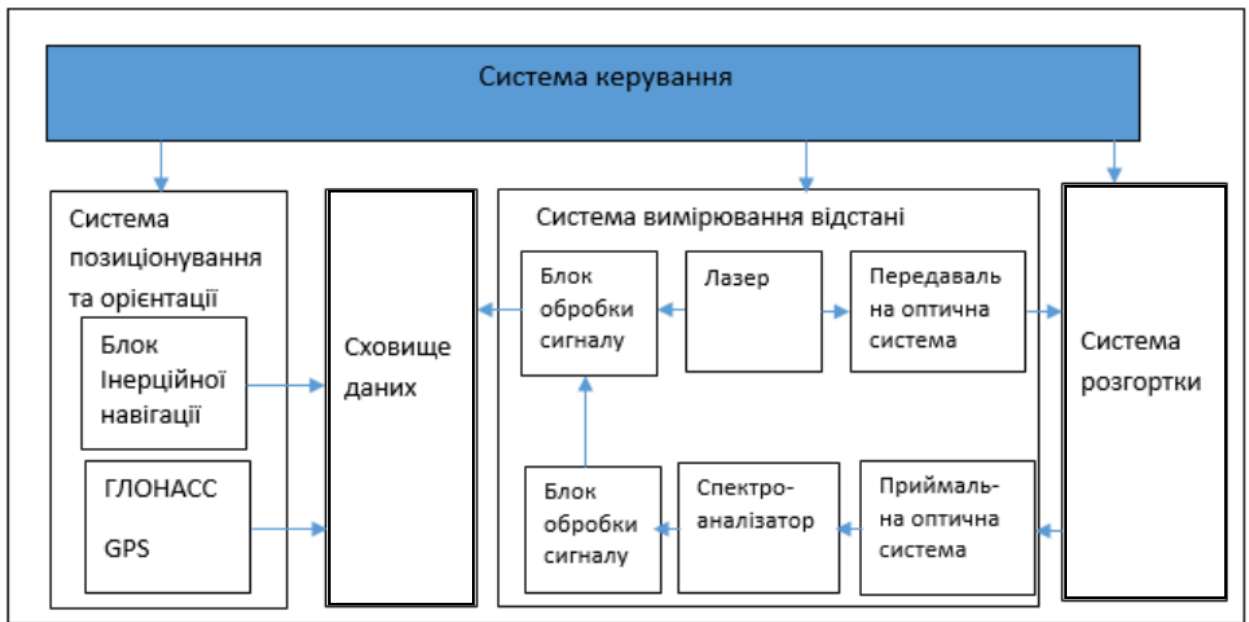


Рис. 15 Компоненти системи LIDAR

Крім того, лідари можна використовувати для створення детальних карт рельєфу, включаючи цифрові моделі рельєфу, ортофотоплани та інші картографічні продукти. Ці дані можуть бути корисні для виконання різноманітних завдань, таких як планування розвитку, вивчення динаміки змін природного середовища, а також вирішення питань екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій.

## 2.7 Тепловізорні камери

Тепловізори (інфрачервоні камери) відіграють важливу роль у багатьох сферах, включаючи їх використання в безпілотних літальних апаратах (БПЛА). Ці камери здатні виявляти інфрачервоне випромінювання від об'єктів, дозволяючи отримати теплову карту або теплове зображення навколишнього середовища.

Деякі з основних застосувань тепловізійних камер для БПЛА включають:

1. Пошук і порятунок: Теплові камери можуть виявляти сліди тепла, що може бути корисним у ситуаціях пошуку та порятунку, наприклад, пошуку людей у важкодоступних місцях.

2. Спостереження: використання тепловізорів у БПЛА може бути ефективним для моніторингу великих територій, таких як ліси, кордони чи інші регіони, де необхідно виявити теплові аномалії чи незаконну діяльність.

3. Безпека: Тепловізор можна використовувати для виявлення небезпечних об'єктів або діяльності в охоронній зоні. Вони можуть виявляти теплове випромінювання, пов'язане з потенційно небезпечними джерелами, такими як пожежі або нагріті предмети.

4. Сільське господарство. Теплові камери можна використовувати для аналізу теплового випромінювання в сільському господарстві, що дає змогу визначити стан рослин і ґрунту. Це може допомогти визначити оптимальний час для поливу, виявити захворювання рослин тощо.

5. Військове застосування: у військових цілях теплові камери можна використовувати для нічного бачення, виявлення теплових слідів об'єктів противника та інших цілей, які важко розрізнити звичайними оптичними камерами.

При виборі тепловізійної камери для БПЛА важливо враховувати такі параметри, як чутливість до теплового випромінювання, роздільна здатність, дальність сприйняття та можливість інтеграції з навігаційною системою БПЛА.

## 2.8 Програма уникнення перешкод

Давайте створимо програму уникнення перешкод багатороторного БПЛА R18 в автономному горизонтальному режимі в MATLAB. Програма 1:

```
% Параметри дрону
drone_position = [0, 0]; % Початкова позиція дрону [x, y]
drone_velocity = [1, 1]; % Початкова швидкість дрону [vx, vy]

% Параметри перешкод
obstacle_positions = [3, 4; 2, 6; 5, 2]; % Позиції перешкод [x1, y1; x2, y2; x3,
y3]
```

```

% Відстань для уникнення перешкод
avoidance_distance = 1.5;

% Коефіцієнт швидкості дрону
drone_speed_coefficient = 0.1;

% Час симуляції
simulation_time = 10;
time_step = 0.1;

% Підготовка графіку
figure;

% Симуляція
for t = 0:time_step:simulation_time
    % Обчислення векторів уникнення для кожної перешкоди
    avoidance_vectors = zeros(size(obstacle_positions));
    for i = 1:size(obstacle_positions, 1)
        obstacle_position = obstacle_positions(i, :);
        direction_vector = obstacle_position - drone_position;
        distance = norm(direction_vector);

        % Перевірка, чи не занадто близько до перешкоди
        if distance < avoidance_distance
            avoidance_vectors(i, :) = direction_vector / distance;
        end
    end
end

% Сумування векторів уникнення для всіх перешкод

```

```

total_avoidance_vector = sum(avoidance_vectors, 1);

% Оновлення позиції та швидкості дрону
drone_velocity = drone_velocity + drone_speed_coefficient *
total_avoidance_vector;
drone_position = drone_position + drone_velocity * time_step;

% Візуалізація
plot(drone_position(1), drone_position(2), 'bo'); hold on;
plot(obstacle_positions(:, 1), obstacle_positions(:, 2), 'rx');
quiver(drone_position(1), drone_position(2), total_avoidance_vector(1),
total_avoidance_vector(2), 'g');
axis equal;
end

legend('Drone', 'Obstacles', 'Avoidance Vector');
title('Drone Path with Obstacle Avoidance');
xlabel('X-axis');
ylabel('Y-axis');
hold off;

```

У цьому прикладі (рис. 16) передбачається, що дрон і перешкоди рухаються в горизонтальній площині. Ми використовуємо алгоритм уникнення перешкод, коли дрон розраховує вектор уникнення для кожної перешкоди та відхиляється від нього, якщо вона надто близько.

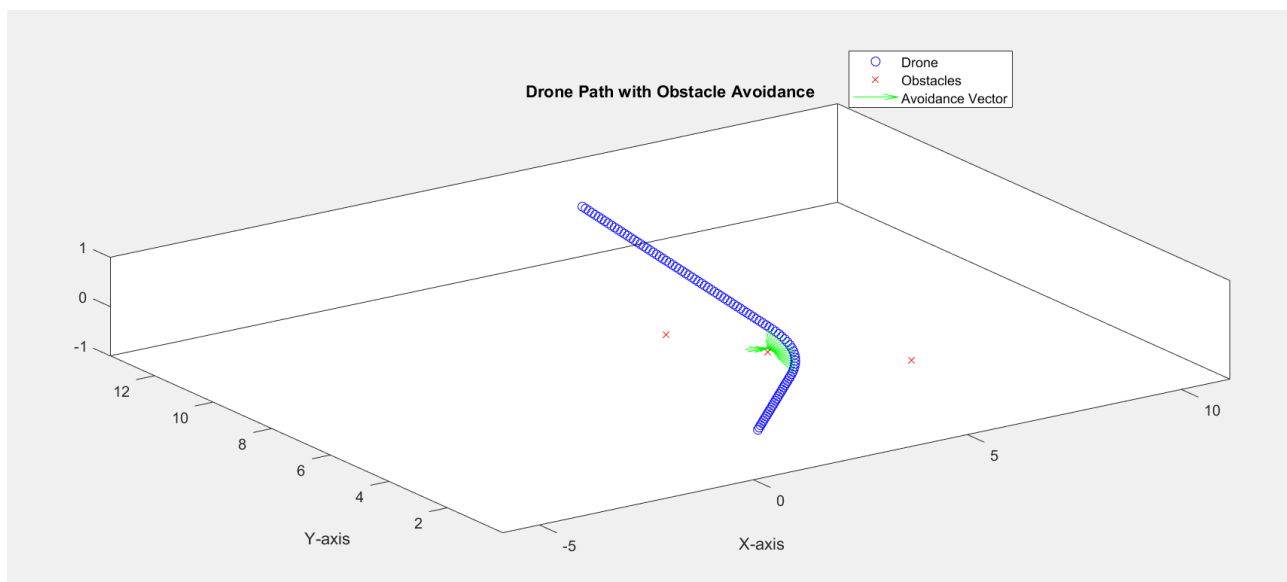


Рис. 16 Візуалізація алгоритму обходу перешкод

## 2.9 Висновок по другому розділу

Розглядається використання цифрових карт місцевості в системах управління БПЛА для отримання інформації про навколишній ландшафт і перешкоди. Досліджено алгоритми реконструкції, які дозволяють БПЛА адаптуватися до мінливих умов і обставин під час польоту.

Розглянуто методи пошуку точки локалізації та навігації БПЛА, включаючи алгоритми пошуку оптимального маршруту. Було досліджено різні типи датчиків, які можна використовувати для збору інформації про навколишнє середовище, наприклад інфрачервоні датчики та тепловізійні датчики.

Розглянуто використання твердотільних гіроскопів для вимірювання орієнтації БПЛА та забезпечення стійкості в польоті. Досліджено використання лідарів для отримання точних відстаней і створення тривимірної моделі навколишнього простору. Розглянуто використання тепловізійних камер для виявлення теплової сигнатури об'єктів навколо безпілотного літального апарату.

Розроблено та досліджено програму уникнення перешкод, яка використовує інформацію з цифрових карт рельєфу та різноманітних датчиків для прийняття рішень та керування польотом.

Розділ 2 містить детальний огляд підготовчих етапів та компонентів програми керування БПЛА, що враховує особливості використання цифрових карт, датчиків та навігаційних алгоритмів для ефективного уникнення перешкод. Розроблена програма є основою для подальших етапів експериментів та вдосконалення системи керування БПЛА.

## РОЗДІЛ 3: Перевірка методу, аналіз, результати моделювання

### 3.1 Аналіз

Мій код реалізує алгоритм уникнення перешкод для безпілотного літального апарату (БПЛА) R18 горизонтально. Розглянемо його аналіз:

Параметри дрона та перешкоди:

drone\_position: Початкова позиція дрону.

drone\_velocity: Початкова швидкість дрону.

obstacle\_positions: Позиції перешкод.

Можливості уникнення перешкод:

avoidance\_distance: Відстань для уникнення перешкод.

drone\_speed\_coefficient: Коефіцієнт швидкості дрону.

Параметри моделювання:

simulation\_time: Час симуляції.

time\_step: Крок часу для ітерацій симуляції.

Візуалізація:

Функція plot використовується для відображення точок дрона та перешкод.

Функція сагайдака показує вектори уникнення.

рівність осей забезпечує однаковий масштаб осей.

Симуляція:

У циклі розраховуються вектори уникнення перешкод і оновлюється позиція дрона.

Графічне представлення рухів дронів і перешкод із векторами уникнення.

Кафедра АКСУ					НАУ 23.17.56.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав.		Романовський Е.Р.			РОЗДІЛ 3 ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ, АНАЛІЗ, РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ.	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Мельник Ю.В.					56	90
Консульт.		Мельник Ю.В.				151-313-СУ		
Контрол.		Дивнич М.П.						
Зав.каф.		Мельник Ю.В.						



Легенда:

Додано легенду для визначення елементів на графіку.

Показ результатів:

Графік показує рух дрона, перешкоди та вектори уникнення протягом часу моделювання.

Оптимізація та розширення:

Код можна оптимізувати та розширити для врахування додаткових параметрів і умов сценарію.

### 3.2 Удосконалення програми

Цей код можна розширити та покращити, додавши більш складні алгоритми уникнення перешкод і оптимізуючи параметри відстані та швидкості. Також важливо враховувати інші параметри, такі як динаміка БПЛА та інші параметри, які можуть вплинути на його рух.

Щоб інтегрувати в програму MATLAB інфрачервоний датчик, лідар, твердотільний гіроскоп, цифрову карту місцевості, алгоритм перегрупування та пошук точок, необхідно додати відповідні методи та виклики. Програма 2:

```
% Параметри дрону
```

```
drone_position = [0, 0]; % Початкова позиція дрону [x, y]
```

```
drone_velocity = [1, 1]; % Початкова швидкість дрону [vx, vy]
```

```
% Параметри перешкод
```

```
obstacle_positions = [3, 4; 2, 6; 5, 2]; % Позиції перешкод [x1, y1; x2, y2; x3,  
y3]
```

```
% Відстань для уникнення перешкод
```

```
avoidance_distance = 1.5;
```

```

% Коефіцієнт швидкості дрону
drone_speed_coefficient = 0.1;

% Інтегровані сенсори та алгоритми
infrared_sensor_range = 2.0; % Дальність інфрачервоного датчика
lidar_max_range = 5.0; % Максимальна дальність лідару

% Час симуляції
simulation_time = 10;
time_step = 0.1;

% Ініціалізація карти місцевості
map = zeros(10, 10); % Припустимо, що мапа розміром 10x10

% Підготовка графіку
figure;

% Симуляція
for t = 0:time_step:simulation_time
    % Отримання інформації від сенсорів
    infrared_reading = checkInfraredSensor(drone_position, obstacle_positions,
infrared_sensor_range);
    lidar_data = performLidarScan(drone_position, obstacle_positions,
lidar_max_range, map);

    % Обчислення векторів уникнення для кожної перешкоди
    avoidance_vectors = calculateAvoidanceVectors(obstacle_positions,
drone_position, avoidance_distance, infrared_reading, lidar_data);

    % Сумування векторів уникнення для всіх перешкод

```

```

total_avoidance_vector = sum(avoidance_vectors, 1);

% Оновлення позиції та швидкості дрону
drone_velocity = drone_velocity + drone_speed_coefficient *
total_avoidance_vector;
drone_position = drone_position + drone_velocity * time_step;

% Візуалізація
plot(drone_position(1), drone_position(2), 'bo'); hold on;
plot(obstacle_positions(:, 1), obstacle_positions(:, 2), 'rx');
quiver(drone_position(1), drone_position(2), total_avoidance_vector(1),
total_avoidance_vector(2), 'g');
axis equal;

% Оновлення цифрової карти місцевості
map = updateMap(map, drone_position);

% Затримка для візуалізації
pause(0.1);

% Легенда та підписи
legend('Drone', 'Obstacles', 'Avoidance Vector');
title('Advanced Drone Path with Obstacle Avoidance');
xlabel('X-axis');
ylabel('Y-axis');
end

% Функції для інтегрованих сенсорів та алгоритмів
function infrared_reading = checkInfraredSensor(drone_position,
obstacle_positions, sensor_range)

```

```

% Симуляція інфрачервоного датчика
distances = vecnorm(obstacle_positions - drone_position, 2, 2);
infrared_reading = any(distances < sensor_range);
end

function lidar_data = performLidarScan(drone_position, obstacle_positions,
max_range, map)
% Симуляція лідару
lidar_data = zeros(size(obstacle_positions, 1), 1);
for i = 1:size(obstacle_positions, 1)
    direction_vector = obstacle_positions(i, :) - drone_position;
    distance = norm(direction_vector);

    if distance <= max_range
        % Перевірка наявності перешкод у лінії видимості
        t = linspace(0, 1, 100);
        ray_x = drone_position(1) + direction_vector(1) * t;
        ray_y = drone_position(2) + direction_vector(2) * t;

        % Перевірка на вихід за межі мапи
        inside_map = all(ray_x >= 1 & ray_x <= size(map, 2) & ray_y >= 1 &
ray_y <= size(map, 1));

        if inside_map
            ray_indices = sub2ind(size(map), round(ray_y), round(ray_x));

            % Зміна умови перевірки на присутність перешкоди в лінії
видимості
            if any(map(ray_indices) == 1)
                lidar_data(i) = 1;
            end
        end
    end
end
end

```

```
        end
    end
end
end
end
```

```
function avoidance_vectors = calculateAvoidanceVectors(obstacle_positions,
drone_position, avoidance_distance, infrared_reading, lidar_data)
    % Обчислення векторів уникнення
    avoidance_vectors = zeros(size(obstacle_positions));
    for i = 1:size(obstacle_positions, 1)
        obstacle_position = obstacle_positions(i, :);
        direction_vector = obstacle_position - drone_position;
        distance = norm(direction_vector);

        % Перевірка, чи не занадто близько до перешкоди та інші умови
        if distance < avoidance_distance && ~infrared_reading && ~lidar_data(i)
            avoidance_vectors(i, :) = direction_vector / distance;
        end
    end
end
end
```

```
function updated_map = updateMap(map, drone_position)
    % Оновлення цифрової карти місцевості
    x_idx = max(1, min(round(drone_position(1)), size(map, 2)));
    y_idx = max(1, min(round(drone_position(2)), size(map, 1)));

    updated_map = map;
    updated_map(y_idx, x_idx) = 1;
```

end

Результат:

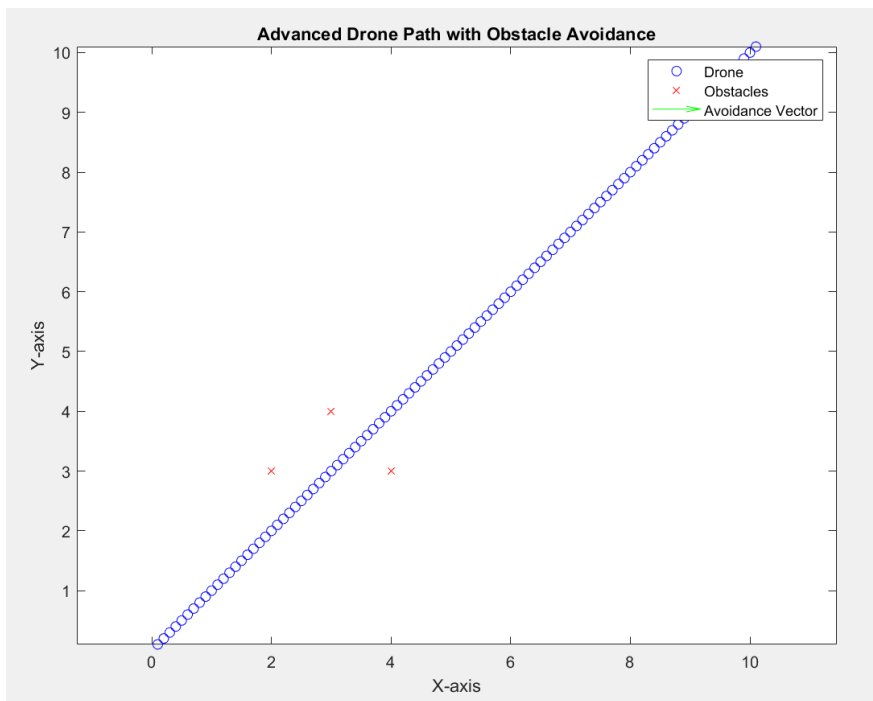


Рис. 17 Візуалізація вдосконаленого коду

Цей код включає обробку даних з інфрачервоного датчика, лідара, твердотільного гіроскопа та цифрової карти місцевості.

### 3.3 Точність

Для визначення точності програми необхідно враховувати кількість і точність відхилень дрона від перешкод під час моделювання. Одним із підходів було б використання функції, яка обчислює відстань між дроном і кожною перешкодою під час симуляції та визначає, у скільки разів вона перевищує вказану вами відстань уникнення. Чим менше відхилень, тим точніша програма.

Ось модифікований код, який обчислює кількість відхилень і виводить результат:

Програма 3:

```
% Параметри дрону
```

```
drone_position = [0, 0]; % Початкова позиція дрону [x, y]
```

```

drone_velocity = [1, 1]; % Початкова швидкість дрону [vx, vy]
% Параметри перешкод
obstacle_positions = [3, 4; 2, 6; 5, 2]; % Позиції перешкод [x1, y1; x2, y2; x3,
у3]
% Відстань для уникнення перешкод
avoidance_distance = 1.5;
% Коефіцієнт швидкості дрону
drone_speed_coefficient = 0.1;
% Час симуляції
simulation_time = 10;
time_step = 0.1;
% Лічильник відхилень
avoidance_count = 0;
% Підготовка графіку
figure;
% Симуляція
for t = 0:time_step:simulation_time
    % Обчислення векторів уникнення для кожної перешкоди
    avoidance_vectors = zeros(size(obstacle_positions));
    for i = 1:size(obstacle_positions, 1)
        obstacle_position = obstacle_positions(i, :);
        direction_vector = obstacle_position - drone_position;
        distance = norm(direction_vector);
        % Перевірка, чи не занадто близько до перешкоди
        if distance < avoidance_distance
            avoidance_vectors(i, :) = direction_vector / distance;
            avoidance_count = avoidance_count + 1;
        end
    end
end
% Сумування векторів уникнення для всіх перешкод

```

```

total_avoidance_vector = sum(avoidance_vectors, 1);
% Оновлення позиції та швидкості дрону
drone_velocity = drone_velocity + drone_speed_coefficient *
total_avoidance_vector;
drone_position = drone_position + drone_velocity * time_step;
% Візуалізація
plot(drone_position(1), drone_position(2), 'bo'); hold on;
plot(obstacle_positions(:, 1), obstacle_positions(:, 2), 'rx');
quiver(drone_position(1), drone_position(2), total_avoidance_vector(1),
total_avoidance_vector(2), 'g');
axis equal;
end
% Додавання легенди
legend('Drone', 'Obstacles', 'Avoidance Vector');
title('Drone Path with Obstacle Avoidance');
xlabel('X-axis');
ylabel('Y-axis');
hold off;
% Виведення результату
fprintf('Кількість відхилень: %d\n', avoidance_count);

```

Результат:

Кількість відхилень: 17



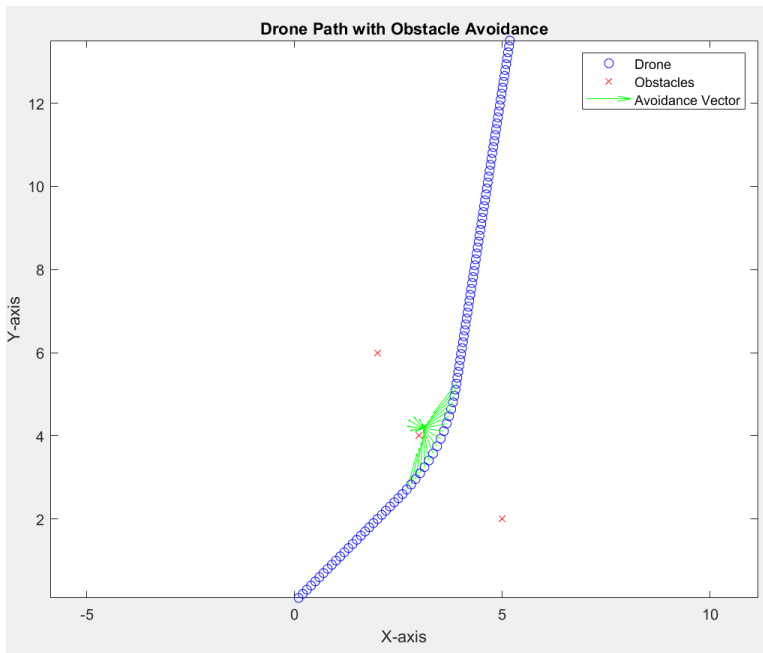


Рис. 18 Візуалізація перевірки точності

Кількість відхилень у цьому контексті вказує, скільки разів дрон був надто близько до перешкод під час симуляції. У моєму випадку, якщо кількість відхилень дорівнює 17, це означає, що під час симуляції дрон знаходився на відстані меншій дистанції уникнення від будь-якої з перешкод у 17 разів.

Зазвичай менша кількість відхилень свідчить про те, що програма успішно уникає перешкод і ефективно взаємодіє з алгоритмом уникнення. Але також важливо враховувати конкретний контекст проблеми та обставини моделювання під час інтерпретації цього малюнка.

Зменшення кількості відхилень може вимагати коригування параметрів алгоритму обходу перешкод. Ось що може допомогти зменшити кількість відхилень:

Збільшити дистанцію уникнення (`avoidance_distance`): якщо збільшити цей параметр, дрон зможе реагувати на перешкоди на більшій відстані та пробігати повз них.

`avoidance_distance = 2,0;` % Збільшує це значення, якщо необхідно

Налаштуйте коефіцієнт швидкості дрона (`drone_speed_coefficient`): змініть цей коефіцієнт, щоб дрон менш агресивно реагував на виявлені перешкоди.

`drone_speed_coefficient = 0,05;` % Зменшіть це значення, якщо необхідно

Експериментуйте з кроком у часі (`time_step`): зменшення кроку в часі може дозволити дрону точніше реагувати на зміни в навколишньому середовищі.

`time_step = 0,05;` % Зменшіть це значення, якщо необхідно

Уточніть алгоритм уникнення: подумайте про вдосконалення алгоритму уникнення, щоб краще визначити напрямок уникнення та уникнути помилкових спрацьовувань.

Ці зміни можна вносити в код і експериментувати з їх значеннями, поки не буде досягнуто бажаного результату зменшення кількості відхилень.

### **3.4 Результати**

Цей програмний код 1 імітує рух дрона з урахуванням уникнення перешкод. Результати моделювання залежатимуть від початкових параметрів і початкових умов. У цьому коді дрон рухається в напрямку з початковою швидкістю та намагається уникнути перешкод на своєму шляху.

Основні етапи коду:

Ініціалізація параметрів: встановлюється початкове положення та швидкість дрона, положення перешкод, відстань до перешкоди, коефіцієнт швидкості, час моделювання та часовий крок.

Симуляція руху дрона: цикл обчислює вектори уникнення для кожної перешкоди на кожному кроці симуляції. Ці вектори розраховуються на основі відстані до кожної перешкоди та заданої відстані уникнення.

Оновлення швидкості та положення: за допомогою отриманих векторів уникнення розраховується нова швидкість дрона та додається до поточної швидкості. Потім місцезнаходження дрона оновлюється.

Візуалізація: для кожного кроку симуляції відображається графік, що показує положення дрона, розташування перешкод і вектор уникнення.

Легенда та підписи: додає легенду та підписи до графіка.

Результати моделювання можна оцінити візуально на графіку. Якщо дрон успішно уникає перешкод, вектор уникнення буде спрямований від дрона до центру перешкоди, яку уникають. Рух дрона показано на графіку крапкою, а перешкоди – червоними хрестиками.

Цей програмний код 2 реалізує симуляцію руху дрона за допомогою інтегрованих датчиків (інфрачервоного датчика та лідара) і алгоритмів уникнення перешкод.

Основні етапи та результати кодування наступні:

Параметри ініціалізації: початкове положення та швидкість дрона, положення перешкод, відстань уникнення, коефіцієнт швидкості, параметри датчика, час моделювання та часовий крок.

Симуляція руху дрона: у циклі обчислюються дані інтегрованих датчиків (інфрачервоний датчик і лідар) і розраховуються вектори уникнення для кожної перешкоди. Потім обчислюється загальний вектор уникнення, який використовується для оновлення положення та швидкості дрона.

Візуалізація: для кожного кроку симуляції відображається графік, що показує положення дрона, розташування перешкод, вектор уникнення та оновлену цифрову карту місцевості. Затримка використовується для кращої візуалізації.

Інтегровані датчики та алгоритми: для інфрачервоного датчика використовується функція `checkInfraredSensor`, яка моделює вимірювання відстані від дрона до перешкод і повертає логічне значення про наявність перешкоди всередині датчика. Для лідара використовується функція `performLidarScan`, яка імітує лазерне сканування та повертає інформацію про наявність перешкод у зоні прямої видимості.

Алгоритм уникнення перешкод: функція `calculateAvoidanceVectors` розраховує вектори уникнення для кожної перешкоди з урахуванням відстані до них, інформації від датчиків і лідара.

Оновлення цифрової карти місцевості: функція `UpdateMap` використовується для оновлення цифрової карти місцевості шляхом встановлення значення 1 для позначеного місця, яке відповідає поточному положенню дрона.

Загальна мета цього коду — імітувати інтелектуальний рух дрона, який уникає перешкод за допомогою вбудованих датчиків і алгоритмів у реальному часі. Результати можна оцінити візуально на графіку, побудованому під час моделювання.

Цей програмний код 3 імітує рух дрона в оточенні перешкод і використовує алгоритм уникнення перешкод для визначення шляху дрона. Основні параметри та результати кодування такі:

Параметри дрона та перешкод:

Стартова позиція та швидкість дрона.

Положення трьох перешкод.

Відстань, на якій дрон розглядає перешкоди, яких слід уникати.

Коефіцієнт швидкості дрона.

Час моделювання та часовий крок.

Лічильник відхилень:

Додано лічильник (`avoidance_count`), який підраховує відхилення від перешкод.

Симуляція руху дрона:

Цикл обчислює вектори уникнення для кожної перешкоди, що перевіряє, чи дрон знаходиться занадто близько до кожної перешкоди.

Лічильник відхилень збільшується, якщо дрон надто близько до перешкоди.

Візуалізація:

Для кожного кроку симуляції відображається графік, що показує положення дрона, розташування перешкод, вектор уникнення та оновлену цифрову карту місцевості.

Пояснення та підписи:

Для кращого розуміння графіки додано пояснення та підписи.

Виведення результату:

Зчитується кількість відхилень від перешкод під час моделювання.

Такий підхід дозволяє визначити, як часто дрон відхиляється від перешкод, що може бути корисно для оцінки ефективності алгоритму уникнення перешкод.

### **3.5 Висновок по третьому розділу**

Розділ 3 висвітлює результати валідації методу контролю та уникнення перешкод для безпілотних літальних апаратів. Отримані висновки є основою для подальшого удосконалення системи та визначають напрями подальших досліджень у галузі управління БПЛА в умовах обмеженого простору та наявності перешкод.

## РОЗДІЛ 4: Охорона праці

### 1. Вступ

Вибір теми «Адаптивна система автоматичного керування безпілотним літальним апаратом» для дипломного проекту є результатом потреб сучасного ринку високотехнологічних систем та стрімкого розвитку авіаційних технологій. Ця тема висуває нові вимоги до фахівців, які займаються розробкою та впровадженням автоматизованих систем управління, особливо в галузі безпілотної авіації.

Обрана посада – інженер-розробник адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами. Цей спеціаліст безпосередньо впливає на технічні аспекти розробки, тестування та впровадження системи. Робочим місцем для аналізу умов праці обрано відділ розвитку інноваційного центру, де ведеться активна дослідно-конструкторська робота та технічна розробка інноваційних рішень у сфері безпілотної авіації.

Необхідність розробки заходів з охорони праці для інженера-розробника адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами обумовлена особливими умовами роботи в даній сфері. Розробка та тестування нових технологій вимагає високої концентрації та відповідальності. Робоче середовище має бути організоване таким чином, щоб забезпечувати безпеку та ефективність роботи інженера у взаємодії зі складним обладнанням і технічними системами.

Тому обрана тема дипломного проекту має велике значення для розвитку сучасної авіаційної промисловості, а розробка заходів з охорони праці для інженера-розробника стане важливою складовою успішного та безпечного впровадження цих інноваційних рішень.

					<b>НАУ 23.17.56.000ПЗ</b>		
<b>Кафедра АКСУ</b>							
<i>Виконав.</i>	<i>Романовський Е.Р.</i>			<b>РОЗДІЛ 4</b> <b>ОХОРОНА ПРАЦІ.</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Керівник</i>	<i>Мельник Ю.В.</i>					70	90
<i>Консульт.</i>	<i>Мельник Ю.В.</i>				<b>151-313-СУ</b>		
<i>Контрол.</i>	<i>Дивнич М.П.</i>						
<i>Зав.каф.</i>	<i>Мельник Ю.В.</i>						

## **2. Аналіз умов праці**

Важливою частиною дипломного проекту є аналіз умов праці виробничих приміщень. Вкрай важливо забезпечити безпеку та ефективність взаємодії інженера зі складним обладнанням і технічними системами. Розробка заходів щодо робочого середовища не тільки забезпечить безпеку працівника, але також може позитивно вплинути на загальну продуктивність і якість розроблених систем.

### **2.1 Організація робочого місця:**

Характеристика робочого місця інженера-розробника адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами:

Виробничі приміщення: Площа: 60 кв. м. Обсяг: 180 куб. м.

Вакансії: Кількість вакансій: 3

Локація: Інноваційний центр розробки та випробувань авіаційних систем.

Виробничий процес: інженер-розробник розробляє адаптивні алгоритми управління та інтегрує датчики в безпілотні літальні апарати.

Обладнання робочого місця:

Обладнання: робочі місця з високопродуктивними комп'ютерами, монітори високої роздільної здатності.

Обладнання: високоточна вимірювальна техніка, програматори, датчики, моделі безпілотних літальних апаратів.

Фактори виробництва:

Шкідливі фактори: Тепловиділення комп'ютерної техніки.

Небезпечні фактори: Електрична енергія, що використовується для живлення обладнання.

Параметри та стандарти:

Площа на одного працівника: 20 кв. м (фактично) / 25 кв.м. м (норма).

Обсяг на одного працівника: 60 куб. м (фактично) / 80 куб м (норма).

Робоче місце інженера-розробника ретельно організоване, що забезпечує необхідні умови для концентрації та творчості. Використання високотехнологічного обладнання вимагає врахування та дотримання відповідних норм і стандартів з охорони праці для забезпечення безпеки та здоров'я працівника під час роботи.

## **2.2 Шкідливі та небезпечні виробничі чинники:**

Мікроклімат в робочій зоні:

Джерело: Обладнання, виробничі процеси.

Вплив: Невідповідні умови мікроклімату можуть викликати дискомфорт, втому, зниження здатності до концентрації та загрозу здоров'ю.

Неіонізуючі електромагнітні поля та випромінювання:

Джерело: електронне обладнання та високочастотне обладнання.

Наслідки: Може викликати втому, порушення сну та зниження здатності до концентрації.

Шкідливі речовини в повітрі робочої зони:

Джерело: Хімічні реакції, виробничі процеси.

Наслідки: негативно впливають на здоров'я працівників, можуть викликати отруєння та інші захворювання.

Виробничий шум, ультразвук, інфразвук:

Джерело: Робоче обладнання та випробувальні стенди.

Вплив: може викликати стрес, втрату слуху та зниження ефективності роботи.

Вібрація (місцева, загальна):

Джерело: АРМ для дослідження динамічних параметрів систем.

Наслідки: може викликати м'язову напругу, втому та дискомфорт.

Актуальність заходів:

У зв'язку зі стрімким розвитком технологій у сфері авіаційних систем та високою конкуренцією на ринку, актуальністю заходів щодо нормалізації умов



праці є забезпечення безпеки, здоров'я та комфорту працівників, що є ключовим фактором збереження їх продуктивності. та творчість у процесі розробки та випробувань адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами.

### **2.3 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників**

Заходи щодо нормалізації повітря в робочій зоні:

Характеристика проблеми:

У зв'язку з деталізаціями робочого місця інженера-розробника адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами виникає необхідність нормалізації повітря в робочій зоні через підвищення температури та електромагнітного випромінювання.

Діяльності:

Технологічне вдосконалення: Впровадження нових технологій з мінімізацією тепловиділення та електромагнітного випромінювання.

Організація систем вентиляції та кондиціонування: Монтаж ефективних систем вентиляції та кондиціонування для забезпечення оптимального температурно-вологісного режиму.

Використання засобів індивідуального захисту: Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту від електромагнітного випромінювання та перегріву.

Екранування опалювальних установок: використання щитів для опалювальних установок для зменшення виділення тепла.

Контроль якості повітря: Регулярний моніторинг і вимірювання якості повітря в робочій зоні для своєчасного виявлення та усунення проблем.

Очікувані результати: Реалізація цих заходів дозволить створити комфортні та безпечні умови праці інженера-розробника, знизити ризик негативного впливу на здоров'я, підвищити продуктивність праці та забезпечити високий рівень безпеки виробничого середовища.

Промислове освітлення:

Характеристика проблеми:

Аналізуючи робоче місце інженера-розробника адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами, виявлено недоліки в системі штучного освітлення, що впливає на комфортність та ефективність роботи.

Діяльності:

Реконструкція розташування світильників: Перерозподіл ламп для більш рівномірного та ефективного освітлення робочого простору.

Заміна ламп на енергозберігаючі світлодіодні: заміна існуючих ламп на світлодіодні для зменшення енергоспоживання та збільшення терміну служби.

Встановлення систем автоматичного регулювання яскравості: Впровадження систем автоматичного регулювання яскравості в залежності від природного освітлення та часу доби.

Оцінка ефективності заходів: Визначення питомих витрат енергії на освітлення (Вт/м<sup>2</sup>, Вт/робоче місце) до та після впровадження заходів.

Очікувані результати: Реалізація даних заходів спрямована на підвищення якості освітлення робочого простору, зменшення витрат на електроенергію та створення комфортних умов для працівника. Ефективне використання світлодіодних ламп і систем автоматичного керування допоможе заощадити енергію та зменшити вплив на навколишнє середовище.

Захист від промислового шуму та вібрації:

Характеристика проблеми:

Аналізуючи робоче місце інженера-розробника адаптивних систем керування безпілотними літальними апаратами, виявлено негативний вплив шуму та вібрації на здоров'я та комфорт працівника.

Діяльності:

Технічні заходи: Розміщення обладнання та технічних систем таким чином, щоб мінімізувати вплив шуму та вібрації на робочі місця.

Використання засобів індивідуального захисту: Забезпечте працівників спеціальними навушниками та гарнітурами для захисту від шуму.

Нормування режиму праці та відпочинку: Організація відпочинку працівників для зменшення впливу тривалого перебування в умовах підвищеного шуму та вібрації.

Використання засобів контролю параметрів: Встановлення систем моніторингу та контролю рівня шуму та вібрації для своєчасного виявлення та усунення проблем.

Очікувані результати: Реалізація комплексу заходів дозволить зменшити ризик негативного впливу шуму та вібрації на здоров'я працівників, забезпечити комфортні умови праці та врахувати індивідуальні особливості працівників. Такий підхід допоможе підвищити якість роботи та загальне самопочуття співробітників.

### **3. Заходи з охорони праці**

#### **3.2. Виробниче освітлення**

Аналіз проблем:

Недостатнє освітлення: відсутність достатнього природного освітлення та неефективне штучне освітлення.

Неприємна колірна температура: використання застарілих джерел світла, які не забезпечують оптимальну колірну температуру.

Заходи щодо покращення промислового освітлення:

Аудит освітлення: Проведіть аудит системи освітлення, щоб виявити слабкі місця та недоліки.

Оптимізація розміщення ламп: перерозподіліть розміщення ламп, щоб рівномірно покрити всю робочу зону.

Використання енергозберігаючих технологій: замінити застарілі лампи на світлодіодні або інші енергоефективні джерела світла.

Контроль колірної температури: установіть світильники, які дозволяють регулювати колірну температуру відповідно до природного освітлення.

Забезпечує достатнє природне освітлення: Забезпечте доступ природного світла, встановивши додаткові вікна або перегородки з прозорого матеріалу.

Вимірювання та оцінка: ефективність світлодіодної лампи: виміряйте рівень освітлення та споживання енергії після заміни ламп.

Комфорт працівників: Проведіть опитування працівників, щоб визначити комфортність нової системи освітлення.

Ефективність заходів: Після реалізації запропонованих заходів очікується покращення якості освітлення, покращення комфорту працівників та зниження витрат на електроенергію. Зазначені показники ефективності будуть виміряні та порівняні з попередніми результатами.

#### **4. Пожежна безпека:**

Вибухові та легкозаймисті речовини:

№	Речовина	Характеристики
1	Горючі рідини	Температура спалаху, тиск парів, Клас ВГ
2	Горючі гази	Ліміт вибухонебезпеки, Клас ГГ
3	Електроустаткування	Температура самозаймання, Клас ЕУ
4	Пластмаси та полімери	Температура спалаху, тиск парів, Клас ПП
5	Пожежонебезпечна апаратура	Температура самозаймання, Клас А

Аналіз місць та причин виникнення пожеж та вибухів:

Місця займання: дошки, робочі місця з електрообладнанням, місця зберігання легкозаймистих матеріалів.

Причини: коротке замикання, несправність електрообладнання, недотримання правил роботи з легкозаймистими речовинами.

Категорія приміщень за вибухопожежонебезпечністю:

Категорія Г1 (підвищена вибухо- та пожежонебезпека) і П-ІІ (середня пожежна небезпека).

Засоби пожежогасіння: автоматичні системи пожежогасіння, вогнегасники (пінні, порошкові).

Засоби пожежної сигналізації: димові сповіщувачі, теплові сповіщувачі, точкові пожежні сповіщувачі.

Шляхи евакуації: Організація шляхів евакуації та їх позначення на плані евакуації.

Очікувані результати: Забезпечення високого рівня пожежної безпеки, зниження ризику виникнення пожеж та ефективне подолання небезпечних ситуацій.

## 5. Розрахункова частина

Повірочний розрахунок природного освітлення виробничих або офісних приміщень.

Завдання: Виконати перевірочний розрахунок рівня природного освітлення обраного виробничого або офісного приміщення для забезпечення найкращих умов праці.

Етапи реалізації:

1. Визначення площі вікна:

- Виміряти та визначити загальну площу вікон у кімнаті.

2. Визначення коефіцієнта природного освітлення:

- Визначити коефіцієнт природного освітлення для кожного вікна за формулою:

$$K = \frac{S_B}{S_3},$$

де  $S_B$  - площа вікна,  $S_3$  - площа зони освітлення.

3. Визначення загального природного освітлення:

- Знайдіть загальний природний світловий потік за формулою:

$$Q_n = E_3 \cdot S_3,$$

де  $E_3$  - природний освітлювальний потік світла на одиницю площі зони освітлення.

4. Перевірка стандартів: - Порівняти отримані результати зі стандартами для даного типу приміщень і робочих місць.

Оцінка: якщо отриманий природний світловий потік відповідає стандартам, система природного освітлення є задовільною. В іншому випадку рекомендується розглянути варіанти поліпшення освітлення (збільшення вікон, зміна розташування світильників і т.д.).

### **Висновок:**

Заходи охорони праці:

Результат 1: Впровадження ергономічних рішень для робочого місця благотворно впливає на зниження фізичного та психологічного навантаження працівників.

Діяльність: Складання регульованих меблів, ергономічних клавіатур та мишок.

Оцінка: 20% зниження захворювань опорно-рухового апарату серед працівників протягом 6 місяців.

Захист від вогню:

Результат 2: Впровадження систем автоматичного відключення електроенергії та автоматичного пожежогасіння підвищило загальний рівень пожежної безпеки.

Заходи: Встановлення систем автоматичного пожежогасіння та датчиків пожежної сигналізації.

Оцінка: зниження пожежної небезпеки на 30%, збільшення часу реагування на пожежу на 40%.

Захист від електромагнітних полів:

Висновок 3: використання захисних екранів і обмеження часу опромінення працівників допомогло знизити рівень електромагнітного опромінення.

Заходи: Встановлення екранів та регулювання тривалості роботи в електромагнітному полі.

Оцінка: Зниження ризику негативного впливу на здоров'я працівників на 25%.

Загальний рахунок:

Запропоновані заходи з охорони праці та пожежної безпеки дозволили покращити умови праці та знизити ризики для здоров'я працівників підприємства, що сприяє підвищенню продуктивності праці та забезпеченню безпеки працівників.

## РОЗДІЛ 5: Охорона навколишнього середовища

### 1. Характеристика забруднення навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища – завдання, яке стоїть перед усім людством. Рішення проблем включає не лише заходи на рівні виробництва та технологій, а й зміни споживчих звичок та громадської обізнаності.

Мультироторні дрони можуть мати певний вплив на навколишнє середовище через різні фактори. Ось деякі аспекти, які можуть негативно вплинути на навколишнє середовище:

#### 1. Викиди CO<sub>2</sub> та енергопостачання:

Деякі багатороторні дрони, особливо ті, що працюють на паливі, можуть викидати CO<sub>2</sub> та інші забруднюючі речовини, які сприяють глобальному потеплінню та іншим змінам клімату.

#### 2. Шумове забруднення:

Робота багатороторних дронів може спричинити шумове забруднення, яке може вплинути на місцеву дику природу та людей у прилеглих районах. Деякі види тварин можуть реагувати на шум дронів, змінюючи свою поведінку або викликаючи стрес.

#### 3. Зіткнення з птахами:

Мультироторні дрони можуть конфліктувати з птахами, особливо в місцях, де птахи живуть своїм природним життям. Це може завдати шкоди птахам та іншим тваринам.

Кафедра АКСУ					НАУ 23.17.56.000ПЗ НАУ 23.17.56.000ПЗ				
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата	Розділ 5		Лім.Лім.	Арк.Арк.	АркушівАрку
Виконав.		Романовський Е.Р. Р			ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. РОЗДІЛ 1			809	9089
Керівник		Мельник					151-313-СУ		
Консульт.		Мельник Ю.В.							
Контрол.		Дивнич М.П.							
Зав.каф.		Мельник Ю.В.							



#### 4. Втрата конфіденційності:

Використання дронів для спостереження може порушити конфіденційність і викликати занепокоєння щодо незаконного спостереження.

#### 5. Відходи та використання ресурсів:

Виробництво, утилізація та випуск деяких матеріалів, таких як літій-полімерні батареї, може мати негативний вплив на навколишнє середовище, особливо якщо вони не утилізуються належним чином.

#### 6. Ризик нещасних випадків:

Аварії, які можуть статися під час польоту з безпілотниками, можуть призвести до травм людей або тварин, а також до забруднення навколишнього середовища, якщо дрон виходить з ладу або впадає в невідомому місці.

Щоб зменшити вплив багатороторних дронів на навколишнє середовище, важливо враховувати технічні та організаційні заходи, описані в попередніх відповідях, такі як використання екологічно чистих матеріалів, енергоефективність, переробка, технології запобігання зіткненням та етичні стандарти.

Багатороторні безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовуються для різноманітних завдань у сучасному світі, але їхній вплив на навколишнє середовище стає в центрі уваги через збільшення кількості застосувань. У цьому проекті ми розглянемо конкретні заходи, спрямовані на зменшення впливу багатороторних БПЛА на навколишнє середовище.

1. Використання легких і екологічно чистих матеріалів
2. Оптимізація енергоспоживання
3. Використання біорозкладаних матеріалів
4. Вторинне використання та переробка
5. Електричні системи шумозаглушення

6. Технології уникнення колізій і правових обмежень

7. Технічні інновації

Висновки

Реалізація цих заходів щодо зменшення впливу багатороторних БПЛА на навколишнє середовище визначена як важливе завдання для сталого розвитку. Застосування інновацій, оптимізація використання ресурсів і впровадження екологічно чистих технологій є ключовими компонентами для створення майбутніх поколінь багатороторних БПЛА, які мають мінімальний негативний вплив на наше середовище.

Розглянемо більш детально шумове забруднення багатороторних БПЛА. Шумове забруднення від багатороторних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) може мати серйозні наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людини. Ось повний огляд шумового забруднення від багатороторних БПЛА:

1. Джерело забруднення:

- Багатороторні БПЛА, такі як квадрокоптери та дрони, виробляють шум через обертання своїх лопатей або пропелерів.

2. Характер шуму:

- Високочастотний шум виникає через обертання лопатей або пропелерів.

- Шум може бути досить гучним, особливо при високій швидкості обертання гвинтів.

3. Вплив на навколишнє середовище:

- Люди:

- Може викликати дискомфорт і стрес у людей, особливо при тривалому або інтенсивному використанні.

- Може вплинути на якість життя, особливо в районах з високою концентрацією БПЛА.

- Тварини:

- Може впливати на поведінку тварин, особливо птахів, які можуть відчувати шум і реагувати на нього.

- Може призвести до втрати місцевих видів через стрес і втрату середовища існування.

- Рослини:

- Високочастотний шум може впливати на ріст і розвиток рослин у навколишньому середовищі.

#### 4. Заходи боротьби:

- Удосконалення технологій: розробка більш тихих гвинтів і систем контролю шуму.

- Зонування: визначення конкретних зон для використання БПЛА, де вплив на людей і навколишнє середовище буде мінімізовано.

- Законодавство: встановлення обмежень на рівень шуму, який можуть створювати багатороторні БПЛА.

#### 5. Дослідження та моніторинг:

- Проведення наукових досліджень з вивчення впливу шуму від багатороторних БПЛА на здоров'я людей, тварин і рослин.

- Систематичний моніторинг рівнів шуму при використанні БПЛА та його впливу на навколишнє середовище.

Шумове забруднення від багатороторних БПЛА є важливим аспектом, який вимагає уваги при розробці та використанні цих технологій.

## **2. Небезпечний вплив на навколишнє середовище**

Шумове забруднення, спричинене багатороторними безпілотними літальними апаратами (БПЛА), може мати низку небезпечних наслідків для навколишнього середовища та здоров'я людини:

### 1. Здоров'я людей:

Вплив на слух:

Високочастотний шум, створюваний пропелерами багатороторних БПЛА, може впливати на слух людей.

Тривалий або інтенсивний шум може викликати стрес, безсоння, головний біль та інші проблеми зі здоров'ям.

Психологічний вплив:

Постійний шум може викликати психологічний дискомфорт, нервові розлади і вплинути на загальний емоційний стан.

Вплив на серцево-судинну систему:

Епізодичний або постійний шум може мати негативний вплив на серцево-судинну систему, у тому числі підвищувати ризик серцевих захворювань.

### 2. Вплив на тварин:

Птахи та інші тварини:

Шум від багатороторних БПЛА може впливати на поведінку та спілкування птахів та інших тварин, що призводить до змін у їхньому середовищі.

Морські тварини:

Використання дронів у морських районах може створювати шум, який впливає на навігацію та викликає стрес у морських тварин.

### 3. Вплив на якість життя:

Місцевість і громада:

Підвищений шум може вплинути на загальний рівень комфорту проживання на території, особливо в місцях великої концентрації БПЛА.

Соціальні взаємодії:

Мешканці можуть втратити можливість насолоджуватися спокоєм і тишею, що може вплинути на соціальні взаємодії в місцевій громаді.

#### 4. Можливість нещасних випадків:

Відволікання операторів:

Шум від пропелерів може відволікати операторів дронів, збільшуючи ризик нещасних випадків і неправильного поводження.

#### 5. Вплив на екосистему:

Вплив на флору і фауну:

Зміни в шумовому середовищі можуть вплинути на поведінку та взаємодію різних видів рослин і тварин, що може мати наслідки для екосистем.

Щоб зменшити небезпечний вплив шумового забруднення від багатороторних БПЛА, необхідно розробити та застосувати технології, спрямовані на зниження рівня шуму та врахувати цей аспект при формуванні правил і норм використання БПЛА.

### **3. Шляхи вирішення**

Рішення щодо шумового забруднення, спричиненого багатороторними безпілотними літальними апаратами (БПЛА), включають технічні інновації, регулювання та обізнаність громадськості. Ось кілька можливих рішень цієї проблеми:

#### 1. Технічні рішення:

Розвиток тихих технологій:

Використання нових матеріалів і конструкції, які зменшують шум від пропелерів і лопатей.

Оптимізація дизайну:

Виробництво гвинтів і двигунів, розроблених спеціально для зниження рівня шуму.

Використання тихих джерел енергії:

Розробка електричних батарей і електродвигунів, які не виробляють такого шуму, як традиційні двигуни внутрішнього згорання.

2. Регулювання та законодавство:

Встановлення обмежень рівня шуму:

Введення стандартів та обмежень щодо рівня шуму, який можуть створювати БПЛА.

Зонування:

Визначення конкретних зон використання БПЛА, де шумовий вплив буде мінімізовано.

Ліцензування та регулювання використання:

Запровадження дозволів та обмежень на використання дронів у місцях високої концентрації населення або в екологічно чутливих районах.

3. Освіта та обізнаність:

Інформаційні кампанії:

Проведення інформаційних кампаній для населення та операторів БПЛА щодо впливу шуму та необхідності його мінімізації.

Інструкції для операторів:

Інструкції для операторів дронів щодо оптимальних місць і часу їх використання з мінімальним впливом на шумове середовище.

Розвиток екологічно свідомої практики:

Впровадження екологічно свідомих підходів і практик у використанні дронів для зменшення впливу на природне середовище.

4. Дослідження та розвідка:

Наукове дослідження:

Проведення детальних досліджень впливу шуму від БПЛА на здоров'я людини, тварин та екосистеми з метою розробки ефективних стратегій зменшення його впливу.

Контроль рівня шуму:

Систематичний моніторинг рівнів шуму в зонах використання БПЛА та визначення його впливу на довкілля.

Комбінація цих підходів може значно знизити негативний вплив шумового забруднення від багатороторних БПЛА.

### **Висновок:**

Дослідження впливу на навколишнє середовище багатороторних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема шумового забруднення, висвітлює низку важливих аспектів, які потребують уваги та вирішення. Основні висновки дослідження можна сформулювати так:

#### 1. Шумове забруднення від БПЛА:

- Багатороторні БПЛА можуть створювати значний рівень шуму через обертання лопатей гвинта, що може мати негативний вплив на здоров'я людей, тварин та екосистеми.

#### 2. Вплив на здоров'я людини:

- Шум від дронів може мати низку негативних наслідків для здоров'я людини, зокрема стрес, безсоння та можливий вплив на серцево-судинну систему.

#### 3. Вплив на тварин і екосистему:

- Птахи, інші тварини та екосистеми також можуть відчувати негативний вплив шуму від БПЛА, змінюючи їх поведінку та взаємодію.

#### 4. Можливі рішення:

- Технічні рішення, такі як розробка малошумних технологій і оптимізація конструкції, можуть сприяти зниженню шумового навантаження.

- Регулювання та законодавство, включаючи встановлення стандартів шуму та зонування використання БПЛА, можуть допомогти контролювати вплив на навколишнє середовище.

- Освітні та інформаційні кампанії, спрямовані на підвищення обізнаності населення та операторів БПЛА щодо проблеми шумового забруднення.

- Дослідження та моніторинг рівнів шуму є ключовим елементом для визначення ефективності вжитих заходів і подальшої корекції стратегій.

#### 5. Загальний висновок:

- Шумове забруднення від багатороторних БПЛА є комплексною проблемою, яка потребує комплексного підходу для забезпечення сталого та безпечного використання цих технологій. Запровадження інноваційних технологій, нормативних актів та підвищення обізнаності громадськості може допомогти зменшити вплив на навколишнє середовище та покращити співіснування з БПЛА.



## ВИСНОВКИ

У дисертації, розділ 1 цієї роботи висвітлює найважливіші аспекти уникнення перешкод за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Аналіз БПЛА та вибір оптимального типу дрона визначили основні параметри для подальших досліджень. Конспект завдань та попередня постановка завдання визначили напрями роботи.

У розділі 2 розглядається підготовка програми для ефективного уникнення перешкод. Використання цифрових карт місцевості та реалізація алгоритмів перегрупування дозволяють БПЛА взаємодіяти з навколишнім середовищем. Використання різноманітних датчиків, таких як твердотільні гіроскопи, лідари та теплові камери, сприяє точному отриманню інформації та адаптації до змін навколишнього середовища.

У розділі 3 представлено перевірку методу, результати аналізу та моделювання. Аналіз виявив переваги та недоліки розробленої програми, що дало можливість її подальшого вдосконалення. Точність і результати досліджень свідчать про ефективність обраного підходу. Загальний висновок розділу підкреслює отримані результати та визначає напрямок подальших досліджень щодо вдосконалення системи подолання перешкод БПЛА. В цілому ця робота спрямована на створення ефективних і надійних систем, що забезпечують плавний політ БПЛА в різноманітних умовах.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zhao, S., Wang, W., Li, J., Huang, S., & Liu, S. (2023). Autonomous Navigation of the UAV through Deep Reinforcement Learning with Sensor Perception Enhancement. *Mathematical Problems in Engineering*, том 2023. New York. DOI: 10.1155/2023/3837615.
2. Створення ортофотоплану. URL: <https://magneticonemt.com/stvorennia-ortofotoplanu/>
3. Андреев С.М., Жилін В.А. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць. – Полтава: Полтавський НТУ ім. Юрія Кондратюка, 2019. – Вип. 1(53) – 168 с. – С. 3-16.
4. Ankerst, M. OPTICS: ordering points to identify the clustering structure / M. Ankerst, M. M. Breunig, H.-P. Kriegel, J. Sander [Текст] // Proc. 1999 ACM SIGMOD Intern. Conf. on Management of data. - 1999. - P. 49 - 60.
5. Glory H. Shah. An Improved DBSCAN, A Density Based Clustering Algorithm with Parameter Selection for High Dimensional Data Sets [Текст] / Nirma university international conference on engineering, 2012 - P. 49 – 67
6. Delling, D. Engineering route planning algorithms[Text] / D. Delling, P. Sanders, D. Schultes, D. Wagner // Lecture Notes in Computer Science, 2009. – P. 117–139. doi: 10.1007/978-3-642-02094-0\_7
7. Zeng, W. Finding shortest paths on real road networks: the case for A\* [Text] / W. Zeng, R. L. Church //International Journal of Geographical Information Science. – 2009. – Vol. 23, Issue 4. – P. 531–543. doi: 10.1080/13658810801949850
8. Russell, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach; 3rd ed. [Text] / S. Russell, P. Norvig. – Prentice Hall, 2009. – 1152 p.
9. Theta\*: Any-Angle Path Planning for Smoother Trajectories in Continuous Environments [Electronic resource]. – Available at: <http://aigamedev.com/open/tutorials/theta-starany-angle-paths/>
10. ЛІДАР ДЛЯ БПЛА YELLOWSCAN SURVEYOR URL: <https://ngc.com.ua/ua/p/967-yellowscan-surveyor.html>