

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор СИНЕГЛАЗОВ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
ВИПУСНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
“МАГІСТР”

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»

**Тема: Система контролю розвороту вантажу при його скиданні з  
безпілотного літального апарату**

Виконавець: студент групи КП-226М Калаберда Олександр Юрійович \_\_\_\_\_

Керівник: кандидат технічних наук, професор Тупіцин Микола Федорович 

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища» \_\_\_\_\_ Ольховик Ю. О.  
(підпис)

Консультант розділу «Охорона праці» \_\_\_\_\_ Козлітін О. О.  
(підпис)

Нормоконтролер: к.т.н., професор \_\_\_\_\_ Філяшкін М.К.  
(підпис)

Київ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій**

**Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів**

**Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр**

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

## **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ДТН, професор

Синеглазов В.М.

“ ” вересня 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на виконання кваліфікаційної роботи студенту**

**Калаберді Олександрю Юрійовичу**

- 1. Тема роботи:** «Система контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату»
- 2. Термін виконання роботи:** з 01.10 2023р. до 25.12.2023р.
- 3. Вихідні данні до роботи:** Розробку системи управління проводити для безпілотного літального апарата типу «Небесний патруль»
- 4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):** 1) Огляд та аналіз систем скидання вантажу з безпілотного літального апарату; 2) Розробка математичної моделі розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА; 3) Розробка алгоритму та програми розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА при збуреннях різного типу; 4) Розробка алгоритму функціонування системи контролю розвороту вантажу; 5) Дослідження функціонування системи контролю розвороту вантажу при його скиданні з БПЛА.
- 5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:** 1. Функціональна схема скидання вантажу з безпілотного літального апарату. 2. Структурна схема системи скидання вантажу з БПЛА; 3. Структурна схема алгоритму та програми розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА при збуреннях різного типу; 4. Структурна схема алгоритму функціонування системи контролю розвороту вантажу; 5. Результати досліджень функціонування системи контролю розвороту вантажу при його скиданні з БПЛА

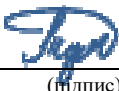
## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Аналіз актуальності проблеми	25.09.2023-02.10.2023	
2	Аналіз та огляд систем скидання вантажу з безпілотного літального апарату	02.10.2023-12.10.2023	
3	Розробка математичної моделі розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА	12.10.2023 - 01.11.2023	
4	Розробка алгоритму та програми розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА	02.11.2023 - 10.11.2023	
5	Розробка алгоритму функціонування системи контролю розвороту вантажу	10.11.2023 - 25.11.2023	
6	Дослідження функціонування системи контролю розвороту вантажу	26.11.2023 - 09.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації до кваліфікаційної роботи	09.12.2023 - 28.12.2023	

## 7. Консультація з окремих розділів:

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього природного середовища	Ольховик Юрій Олександрович		
Охорона праці	Козлітін Олексій Олександрович		

8. Дата видачі завдання: “ 25 ” вересня 2023 р.

Керівник: професор \_\_\_\_\_  Тупіцин М.Ф.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Калаберда О.Ю.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи - «Система контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату».

У даній роботі проводиться аналіз та огляд систем скидання вантажу з безпілотного літального апарату. В сучасному світі розвиток технологій, зокрема безпілотних літальних апаратів (БЛА), приводить до появи нових можливостей у сфері транспортування та доставки різноманітних вантажів. Однак зростання обсягів використання БЛА також ставить перед вченими інженерні завдання з покращення безпеки та ефективності використання цих технологій. Однією з ключових аспектів безпеки є розворот вантажу при його скиданні з БЛА.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи - «Система контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату» :

56 стор., 22 рис.

БПЛА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА, КЕРУВАННЯ, КОНТРОЛЬ.

Об'єкт дослідження – система контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату; предмет дослідження – модель системи.

Мета дипломної роботи – Розробка та впровадження системи контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату. Забезпечення оптимальної точності, безпеки та ефективності у процесі доставки вантажів за допомогою безпілотних технологій.

Метод дослідження – створення та вдосконалення технологій, що дозволять безпілотним літальним апаратам ефективно та безпечно здійснювати скидання різноманітних вантажів, сприяючи розвитку сучасних систем автоматизованої та безпілотної доставки.

## **Перелік термінів та скорочень**

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ДПЛА – дистанційний пілотований літальний апарат

БЛК – безпілотний літальний комплекс

ЛА – літальний апарат

СДУ – система дистанційного керування

АБ – авіаційна безпека

СУБД – Система управління базами даних

НС – надзвичайна ситуація

НО – наземні операції

ПС – повітряне судно

СОПС – служба обслуговування повітряних суден

УНСК - Універсальна наземна станція керування

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Огляд та аналіз систем скидання вантажу з БПЛА літакового типу.....	8
1.1. Огляд та аналіз типів вантажу.....	8
1.2. Системи скидання вантажу .....	13
1.2.1. Примусове скидання вантажу.....	16
1.2.2. Скидання вільнопадаючого вантажу.....	19
1.3 Постановка завдання .....	22
2. Опис математичної моделі розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА.....	24
2.1. Математична модель.....	24
2.2. Функціональна та структурна схеми скидання вантажу з БПЛА.....	25
2.3. Алгоритм та програми розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА.....	26
2.4. Алгоритм функціонування системи контролю розвороту вантажу.....	29
2.5 Основні принципи обробки інформації датчиків.....	31
2.6 Алгоритми логіки управління польотом.....	38
3. Дослідження функціонування системи контролю розвороту вантажу при його скиданні з БПЛА.....	44
3.1. Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії без урахування дії обурень.....	44
3.2. Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії з урахуванням дії обурень.....	45
3.3. Функціонування системи контролю розвороту вантажу на траєкторії.....	47
4. Охорона праці.....	49
5. Захист навколишнього середовища.....	51
6. Висновки .....	55
7. Список використаних джерел.....	56

## ВСТУП

Сучасний розвиток технологій безпілотних літальних апаратів (БЛА) зробив їх важливою частиною багатьох промислових та наукових сфер. Однією з ключових проблем у використанні безпілотних літальних апаратів є ефективний та безпечний розворот вантажу під час його скидання. Система контролю розвороту вантажу стає критичною для забезпечення безпеки операцій та точності виконання завдань.

Застосування безпілотних літальних апаратів включає в себе множини сфер, таких як доставка, розвідка, моніторинг довкілля, аграрний сектор та інші. Відправлення та приймання вантажу від безпілотних літальних апаратів вимагає вдосконалення систем управління для уникнення аварій, збереження цілісності вантажу та запобігання можливим негативним наслідкам.

Розворот вантажу є критичним моментом при операціях з безпілотними літальними апаратами, оскільки некоректне виконання цієї операції може призвести до аварій, втрати вантажу або навіть створити загрозу для оточуючого середовища. Вдосконалення систем контролю розвороту вантажу є ключовим аспектом забезпечення безпеки та уникнення аварій. Управління розворотом вантажу також впливає на ефективність та швидкість виконання завдань. Оптимізована система дозволить ефективніше використовувати ресурси та зменшити час, необхідний для виконання конкретних завдань.

Метою даного дипломного проекту є розробка та вдосконалення системи контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату. Дослідження передбачає аналіз існуючих методів та технологій управління розворотом вантажу, визначення їх переваг та недоліків, а також розробку нових рішень для оптимізації цього процесу.

Очікується, що розроблені підходи підвищать безпеку та точність вантажоперевезень, що, в свою чергу, сприятиме подальшому розвитку та впровадженню безпілотних технологій у різноманітні сфери людської діяльності.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ СКИДАННЯ ВАНТАЖУ З БПЛА ЛІТАКОВОГО ТИПУ

#### 1.1. Огляд та аналіз типів вантажу

Системи скидання вантажу з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) літакового типу грають важливу роль в різних областях, включаючи військове застосування, пошук і рятування та агрономію. Давайте розглянемо деякі ключові аспекти цих систем:

##### Застосування:

- **Військове використання:** Системи скидання вантажу з БПЛА можуть використовуватися для доставки або скидання різних видів вантажів, таких як амуніція, медичні принади, дрони для розвідки тощо.
- **Гуманітарна допомога:** БПЛА можуть бути використані для доставки медичних принад, їжі та інших матеріалів на важкодоступні території в умовах кризи чи природних катастроф.

##### Технічні аспекти:

- **Системи кріплення:** Зазвичай, БПЛА мають спеціальні системи кріплення для фіксації вантажу. Це може включати гачки, системи строп, магнітні фіксатори або інші механізми.
- **Датчики та системи стабілізації:** Для точного скидання вантажу важливі датчики висоти, швидкості вітру, гіроскопи та акселерометри. Системи стабілізації гарантують безпечне опускання вантажу.

##### Управління та Автоматика:

- **Автоматизація:** Багато систем скидання вантажу можуть бути автоматизованими, використовуючи програмне забезпечення для точного навігації та скидання вантажу без втручання оператора.



- Віддалене управління: Оператори можуть віддалено керувати процесом скидання через зв'язок з БПЛА.

#### Безпека:

- Аварійне відновлення: Системи скидання повинні бути оснащені заходами безпеки, такими як системи аварійного відновлення для уникнення небезпечного скидання в разі виникнення проблем.
- Шифрування та захист: У військових застосуваннях, де інформація є чутливою, важливо використовувати ефективні методи шифрування та захисту.

#### Потенційні проблеми:

- Навколишнє середовище: Вплив погодних умов, наприклад, вітру та дощу, може впливати на точність та безпеку скидання вантажу.
- Вага та розміри: Обмеження ваги та розмірів вантажу можуть бути фактором обмеження в проектуванні систем скидання.

Загалом, системи скидання вантажу з БПЛА літакового типу представляють собою складні інженерні вирішення, які об'єднують аспекти авіаційної техніки, програмного забезпечення та безпеки для ефективного та безпечного використання у різних сферах застосування.

Вантаж, який може бути перевезений за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), може бути дуже різноманітним і залежить від конкретної мети місії. Ось огляд та аналіз деяких типів вантажу:

## 1. Військовий вантаж:



Рис. 1.1. Військова допомога США Україні

- Боєприпаси: БПЛА можуть використовуватися для доставки амуніції, включаючи боєприпаси, на передові лінії або в ізольовані райони.
- Обладнання: Доставка різного обладнання, такого як комунікаційне, розвідувальне, чи інше спеціалізоване обладнання.

## 2. Медичний вантаж:



Рис. 1.2. Найбільший транспортний літак «Мрія» перевіз до Польщі 100 тонн медичних засобів

- Ліки та медичне обладнання: БПЛА можуть служити для доставки ліків, медичного обладнання та невеликих медичних приладів на важкодоступні території чи в умовах надзвичайних ситуацій.
- Кров та органи: В деяких випадках, БПЛА можуть бути використані для транспортування крові або органів для трансплантації.

### 3. Пошуково-рятувальний вантаж:



Рис. 1.3. Пошуково-рятувальна служба – спецпризначенці Повітряних Сил

- Рятувальне обладнання: Транспортування рятувального обладнання, такого як надувні човни, радіостанції, перша допомога тощо.
- Комплекти для виживання: Доставка продуктів, води та інших необхідних засобів для виживання на місцях надзвичайних ситуацій.

#### 4. Гуманітарна допомога:



Рис. 1.4. ОАЕ відправили Україні літак з гуманітарною допомогою в рамках програми підтримки

- Продукти харчування: Доставка продуктів харчування на важкодоступні території чи в райони кризових ситуацій.
- Будівельні матеріали: Транспортування будівельних матеріалів для відновлення після природних катастроф або конфліктів.

#### 5. Науковий вантаж:



Рис. 1.5. Літак «Руслан» перевіз турецький супутник для SpaceX

- Датчики та обладнання для досліджень: Доставка різноманітних датчиків, сенсорів і наукового обладнання для проведення досліджень у важкодоступних областях або на великих відстанях.

#### 6. Комерційний вантаж:



Рис. 1.6. Відновлений літак Ан-22 "Антей" вилетів у свій перший комерційний рейс

- Доставка товарів: Вантажні БПЛА можуть використовуватися для швидкої та ефективної доставки товарів, таких як покупки, маленькі поштові відправлення або інші легкі вантажі.

При проектуванні та використанні систем скидання важливо враховувати вагу, розмір і особливості самого вантажу, а також забезпечити безпеку та точність скидання для запобігання негативним наслідкам.

## 1.2. Системи скидання вантажу

Системи скидання вантажу - це пристрої, які дозволяють безпечно скидати вантаж з повітряного судна. Вони використовуються в різних сферах, включаючи військову, цивільну та наукову.

Військові системи скидання вантажу використовуються для постачання військ, які знаходяться в тилу ворога, або для евакуації поранених. Вони повинні бути надійними та безпечними, щоб не завдати шкоди вантажу або людям на землі.

Цивільні системи скидання вантажу використовуються для надання гуманітарної допомоги постраждалим від стихійних лих або конфліктів. Вони також можуть використовуватися для доставки вантажів в важкодоступні місця, наприклад, в гори або джунглі.

Наукові системи скидання вантажу використовуються для доставки наукових приладів і матеріалів на землю. Вони повинні бути точними, щоб забезпечити безпечне приземлення вантажу в потрібному місці.

Системи скидання вантажу бувають різних типів. Найпоширеніші типи включають:

- Пневматичні системи - використовують тиск повітря для відділення вантажу від повітряного судна.

Пневматичні системи є найпростішими і найдешевшими. Вони також є найбезпечнішими, оскільки вантаж відокремлюється від повітряного судна плавно. Однак вони мають обмеження по вазі вантажу, який може бути скинутий.

- Роторні системи - використовують ротор для відділення вантажу.

Роторні системи можуть скидати вантажі більшої ваги, ніж пневматичні. Однак вони також є більш небезпечними, оскільки вантаж відокремлюється від повітряного судна різко.

- Системи з тросом - використовують трос для відділення вантажу.

Системи з тросом можуть скидати вантажі будь-якої ваги. Однак вони також є найбільш складними і дорогими.

Системи скидання вантажу повинні бути сертифіковані відповідно до відповідних стандартів. Це гарантує, що вони є надійними та безпечними. У сучасному світі системи скидання вантажу стають все більш важливими. Вони

дозволяють швидко і ефективно доставляти вантаж в будь-яке місце на планеті.

Системи скидання вантажу з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) використовуються в різних областях, і їх конструкція може варіюватися залежно від призначення та вимог конкретної місії. Ось огляд деяких основних типів систем скидання:

#### 1. Механічні Гачки та Петлі:

Принцип: Базується на механічних гачках або петлях, що призначені для закріплення вантажу.

Використання: Дозволяє зчіплювати вантаж і знімати його від БПЛА за допомогою відповідного обладнання.

#### 2. Стропи та Карабіни:

Принцип: Використовує гнучкі стропи та карабіни для закріплення вантажу.

Використання: Гнучкі стропи можуть бути використані для фіксації різних форм і розмірів вантажу.

#### 3. Магнітні Мітки:

Принцип: Вантаж має магнітні мітки, які співпадають з магнітами на БПЛА.

Використання: Магнітне закріплення може бути використане для швидкого та безпечного прикріплення та відкріплення вантажу.

#### 4. Парашутні Системи:

Принцип: Використовують парашутні системи для зменшення швидкості вантажу під час скидання.

Використання: Забезпечує безпечне та контрольоване опускання вантажу на землю.

#### 5. Засоби Знищення:

Принцип: Використовуються піротехнічні або інші засоби для відкриття контейнера або вивільнення вантажу.

Використання: Застосовується для точного визначення моменту вивільнення вантажу під час польоту.

#### 6. Електромагнітні Засоби:

Принцип: Використовуються електромагнітні поля для управління вантажем.

Використання: Забезпечує безпечне закріплення та відкріплення вантажу, особливо в умовах, де інші методи можуть бути неефективними.

#### 7. Автоматизовані Системи:

Принцип: Використовують автоматичні системи навігації та управління для точного скидання вантажу.

Використання: Дозволяє використовувати БПЛА для автоматизованої доставки вантажу за попередньо заданими координатами.

При розробці систем скидання вантажу важливо враховувати різноманітні умови, такі як вага та розмір вантажу, погодні умови, точність скидання та безпека маніпуляцій з вантажем. Кожен тип системи має свої переваги та недоліки і може бути вибраний в залежності від конкретних вимог місії.

### **1.2.1. Примусове скидання вантажу**

Примусове скидання вантажу - це дії, які вживаються екіпажем повітряного судна для скидання вантажу в разі надзвичайної ситуації. Це може бути зроблено з різних причин, включаючи:

Зниження ваги літака - скидання вантажу може бути використано для зменшення ваги літака, щоб він міг продовжувати політ або здійснити аварійну посадку.

Уникнення зіткнення - скидання вантажу може бути використано для уникнення зіткнення з іншим літаком або перешкодою.

Евакуація - скидання вантажу може бути використано для евакуації людей з



літака, наприклад, у разі пожежі або вибуху.

Примусове скидання вантажу може бути небезпечним, оскільки може призвести до пошкодження вантажу або людей на землі. Тому воно використовується тільки як крайній захід.

Існує кілька різних способів примусового скидання вантажу. Найпоширеніший спосіб - це використання парашутів. Парашути забезпечують плавне приземлення вантажу, що зменшує ризик пошкодження. Інші способи примусового скидання вантажу включають:

- Скидання вантажу без парашута - це найпростіший спосіб, але також і найнебезпечніший. Вантажі, які скидаються без парашута, можуть досягти швидкості до 300 км/год при ударі об землю.
- Скидання вантажу з катапультною - це безпечніший спосіб, ніж скидання вантажу без парашута. Катапульта викидає вантаж з літака з високою швидкістю, що дозволяє йому приземлитися на більшій відстані від літака.
- Скидання вантажу з тросом - це спосіб, який дозволяє контролювати приземлення вантажу. Трос кріпиться до вантажу і витягується з літака, що дозволяє керувати рухом вантажу.

Примусове скидання вантажу регулюється міжнародними законами. Ці закони вимагають, щоб екіпаж літака зробив все можливе, щоб уникнути скидання вантажу в населених пунктах або в місцях, де може бути завдано шкоди людям або майну. У випадку примусового скидання вантажу екіпаж літака повинен повідомити про це диспетчерам повітряного руху. Диспетчери будуть попереджати людей на землі про скидання вантажу, щоб вони могли вжити заходів безпеки.

Вантаж або обладнання, яке перебуває на борту літака чи іншого повітряного транспортного засобу, знімається або викидається на землю або в воду. Цей процес може бути використаний в різних обставинах і для різних цілей. Нижче подано деякі з основних використань примусового скидання вантажу:

## 1. Військове Застосування:

- Розвідка та Виживання: У військових місіях може виникнути необхідність скидати різні види вантажів, такі як розвідувальні засоби, снаряди, військовий обмуніцію або засоби для виживання на ворожій території.

## 2. Екстрені Ситуації та Рятування:

- Постачання вантажів: У випадках надзвичайних ситуацій, таких як природні катастрофи, примусове скидання може використовуватися для постачання медичних засобів, продуктів харчування, води та інших матеріалів.

## 3. Пошуково-рятувальні Операції:

- Доставка Рятувального Обладнання: У випадках авіарятування або інших ситуацій, де доступ до постраждалих обмежений, може бути використане примусове скидання рятувальних засобів.

## 4. Військові Експерименти:

- Випробування та Дослідження: Для проведення військових експериментів і тестувань нових технологій і обладнання може використовуватися примусове скидання.

## 5. Поставка Гуманітарної Допомоги:

- Доставка Засобів Гуманітарної Допомоги: У разі гуманітарних криз може виникнути необхідність швидкої доставки засобів гуманітарної допомоги, таких як їжа, медикаменти, одяг тощо.

## 6. Правопорушення та Боротьба з Криміналітетом:

- Доставка Спеціальних Засобів: У операціях боротьби з наркотиками чи іншими видами злочинності може використовуватися примусове скидання спеціальних засобів.

Примусове скидання вантажу може вимагати спеціалізованих систем скидання, таких як піротехнічні механізми, парашутні системи чи інші спеціальні засоби.

## 1.2.2. Скидання вільнопадаючого вантажу

Скидання вільнопадаючого вантажу - це метод скидання вантажу з повітряного судна без використання парашутів або інших пристроїв для гальмування. Цей метод використовується в різних сферах, включаючи військову, цивільну та наукову.

Військове використання скидання вільнопадаючого вантажу включає:

- Поставка військ - вільнопадаючий вантаж може використовуватися для постачання військ, які знаходяться в тилу ворога.
- Евакуація поранених - вільнопадаючий вантаж може використовуватися для евакуації поранених з поля бою.
- Бомбардування - вільнопадаючі бомби можуть використовуватися для бомбардування цілей противника.

Цивільне використання скидання вільнопадаючого вантажу включає:

- Надання гуманітарної допомоги - вільнопадаючий вантаж може використовуватися для надання гуманітарної допомоги постраждалим від стихійних лих або конфліктів.
- Доставка вантажів в важкодоступні місця - вільнопадаючий вантаж може використовуватися для доставки вантажів в важкодоступні місця, наприклад, в гори або джунглі.
- Наукові дослідження - вільнопадаючий вантаж може використовуватися для наукових досліджень, наприклад, для дослідження атмосфери або для випробування нових матеріалів.

Скидання вільнопадаючого вантажу має ряд переваг перед скиданням вантажу з парашутами або іншими пристроями для гальмування. Вантажі, які скидаються вільнопадаючими, приземляються з більшою швидкістю, що дозволяє їм скидатися з більшої висоти. Це дозволяє скидати вантажі в місця, які неможливо досягти за допомогою парашутів. Крім того, вільнопадаючі вантажі більш компактні, ніж

вантажі з парашутами, що дозволяє скидати їх з літаків меншої вантажопідйомності.

Однак, скидання вільнопадаючого вантажу також має ряд недоліків. Вантажі, які скидаються вільнопадаючими, можуть досягати дуже високих швидкостей при ударі об землю, що може призвести до пошкодження вантажу або людей на землі. Крім того, скидання вільнопадаючого вантажу вимагає більш точної навігації, ніж скидання вантажу з парашутами, оскільки вантажі, які скидаються вільнопадаючими, не можуть бути контролювані після скидання.

Скидання вільнопадаючого вантажу регулюється міжнародними законами. Ці закони вимагають, щоб екіпаж літака зробив все можливе, щоб уникнути скидання вантажу в населених пунктах або в місцях, де може бути завдано шкоди людям або майну.

Процес скидання вільнопадаючого вантажу включає в себе наступні етапи:

1. Підготовка вантажу - вантаж повинен бути правильно упакований, щоб він не розсипався при падінні.
2. Скидання вантажу - вантаж скидається з літака за допомогою спеціального пристрою.
3. Приземлення вантажу - вантаж приземляється на землю з певною швидкістю і в певному місці.

Швидкість приземлення вантажу залежить від ваги вантажу, висоти скидання і кута нахилу вантажу при падінні. Зазвичай, швидкість приземлення вантажу становить від 50 до 150 метрів на секунду.

Місце приземлення вантажу визначається екіпажем літака за допомогою навігаційної системи. Екіпажу літака необхідно врахувати такі фактори, як:

- Вітер - вітер може впливати на траєкторію польоту вантажу і місце його приземлення.
- Підвищена місцевість - підвищена місцевість може перешкодити приземленню вантажу.

- Наявність людей або майна - екіпаж літака повинен зробити все можливе, щоб уникнути скидання вантажу в місцях, де може бути завдано шкоди людям або майну.

Основні аспекти скидання вільнопадаючого вантажу:

1. Вантаж:

- Властивості: Вільнопадаючий вантаж повинен мати такі властивості, щоб його падіння не призводило до пошкоджень або небезпеки для навколишнього середовища.
- Вага та Розміри: Важливо враховувати вагу та габарити вантажу, оскільки це впливає на динаміку падіння.

2. Висота та Швидкість:

- Висота Скидання: Визначення оптимальної висоти скидання залежить від характеристик вантажу та умов місії.
- Швидкість Падіння: Врахування швидкості падіння важливе для уникнення пошкоджень вантажу та навколишнього середовища.

3. Типи Вантажів:

- Життєважливі Запаси: Скидання вільнопадаючого вантажу може використовуватися для доставки життєважливих запасів, таких як їжа та медичні засоби, в умовах надзвичайних ситуацій.
- Інші Вантажі: Також може використовуватися для скидання інших типів вантажів, наприклад, засобів зв'язку, розвідувального обладнання чи інструментів.

4. Безпека та Контроль:

- Безпека: Потрібно враховувати можливість виникнення небезпеки для людей та майна під час падіння вантажу.
- Контроль: Забезпечення контролю над точним місцем скидання для уникнення випадкових пошкоджень чи неправильного розташування вантажу.

Скидання вільнопадаючого вантажу може бути ефективним і швидким

методом доставки в обставинах, де інші засоби можуть бути складними чи неефективними. Важливо враховувати безпекові стандарти та використовувати цей метод там, де його застосування є доцільним і безпечним.

### **1.3. Постановка завдання**

Для проведення огляду та аналізу систем скидання вантажу з безпілотних літаків (БПЛА) літакового типу, вам слід розглянути наступні кроки та аспекти:

1. Визначення мети:

- Потрібно визначити основну мету огляду і аналізу систем скидання вантажу. Наприклад, це може бути оцінка ефективності, безпеки, точності скидання тощо.

2. Обговорення загальної архітектури системи:

- Описати загальну архітектуру БПЛА, зокрема її здатність скидання вантажу. Розглянути види вантажів, які може скидати літак, та їхні параметри.

3. Огляд сенсорів та систем навігації:

- Розглянути та оцінити сенсори, які використовуються для точного визначення місцезнаходження та навігації вантажу та літака під час скидання.

4. Технічні характеристики системи скидання:

- Детально описати технічні аспекти системи скидання, такі як максимальна маса вантажу, точність скидання, швидкість скидання, можливість програмування маршрутів скидання тощо.

5. Безпека:

- Розглянути заходи безпеки, які вбудовані в систему скидання. Це може включати системи управління безпекою, алгоритми уникнення конфліктів, системи виявлення перешкод та інші заходи.

6. Аналіз ефективності:

- Провести аналіз ефективності системи скидання, звертаючи увагу на точність доставки вантажу, швидкість виконання завдань та інші показники продуктивності.
7. Інтеграція з іншими системами:
- Розглянути спрямованість на інтеграцію системи скидання з іншими підсистемами БПЛА, такими як система керування, система збору інформації, системи комунікації тощо.
8. Потенційні вдосконалення:
- Знайти можливі шляхи вдосконалення системи скидання вантажу, враховуючи потенційні вимоги або проблеми, які можуть виникнути в майбутньому.
9. Підсумок:
- Зробити висновки щодо ефективності та надійності системи скидання вантажу з БПЛА літакового типу. Рекомендувати можливі заходи для поліпшення.

## РОЗДІЛ 2

### ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ВАНТАЖУ ПРИ ЙОГО СКИДАННІ З БПЛА

#### 2.1. Математична модель

Для математичного моделювання кутового положення вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарата (БПЛА), можна використовувати основні принципи механіки та кінематики. Враховуючи, що скидання вантажу може відбуватися з рухомого об'єкта, такого як літак, основними факторами будуть початкова швидкість скидання, висота, кут нахилу БПЛА, а також аеродинамічні та гравітаційні сили.

Одним з можливих підходів є використання рівнянь руху та ейлерових кутових рівнянь для опису кутового положення вантажу. Наприклад, для обчислення кутової швидкості і положення можна використовувати такі рівняння:

##### 1. Вертикальний рух:

Кінематичне рівняння вертикального руху враховує вплив гравітації:

$$h(t) = h_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Де:

$h(t)$  - висота вантажу в момент часу  $t$ ,

$h_0$  - початкова висота,

$v_0$  - початкова швидкість скидання,

$g$  - прискорення вільного падіння.

##### 2. Горизонтальний рух:

Рух в горизонтальному напрямку може бути описаний рівнянням:

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

Де:

$x(t)$  - горизонтальна відстань вантажу в момент часу  $t$ ,



$x_0$ - початкова горизонтальна відстань,

$v_{0x}$ - горизонтальна компонента початкової швидкості.

### 3. Кутовий рух:

Кутовий рух вантажу може бути описаний ейлеровими кутовими рівняннями.

Наприклад, можемо використовувати рівняння для кутової швидкості:

$$\dot{\omega} = I/M$$

Де:

$\dot{\omega}$  - кутова швидкість вантажу,

$M$  - момент сили, що виникає через аеродинамічний опір або інші фактори,

$I$  - момент інерції вантажу

### 4. Аеродинамічні сили:

Сила аеродинамічного опору враховує вплив аеродинамічних сил:

$$F_{aero} = C_D \cdot 21 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

Де:

$F_{aero}$  - сила аеродинамічного опору,

$C_D$  - коефіцієнт аеродинамічного опору,

$\rho$  - густина повітря,

$A$  - площа поперечного перерізу вантажу,

$v$  - швидкість вантажу.

Ці рівняння можна використовувати для обчислення кутового положення вантажу в будь-який момент часу. Важливо враховувати вплив аеродинамічних сил на вантаж та можливий вплив інших факторів, таких як вітер, які можуть впливати на траєкторію скидання.

Додатково, для точного моделювання може бути корисним використання інших параметрів, таких як аеродинамічні коефіцієнти, маса вантажу, інші зовнішні сили, що можуть впливати на рух вантажу.

## 2.2 Функціональна та структурна схеми скидання вантажу з БПЛА

Скидання вантажу з безпілотного літального апарату (БПЛА) зазвичай включає в себе ряд етапів та елементів, які можна представити у вигляді функціональної та структурної схем. Важливо зазначити, що конкретні деталі можуть відрізнятися залежно від типу та призначення БПЛА.

Функціональна схема:

### 1. Планування місії:

- Визначення точки скидання вантажу.
- Врахування погодних умов та інших факторів, які можуть вплинути на місію.

### 2. Навігація та автопілотування:

- Визначення оптимального маршруту до точки скидання.
- Активація автопілота для автоматичного виконання маршруту.

### 3. Підготовка вантажу:

- Забезпечення стабільності та безпеки вантажу під час перевезення.

### 4. Контроль систем:

- Моніторинг систем БПЛА, включаючи батарею, двигуни та сенсори.

### 5. Пошук точки скидання:

- Використання систем навігації та сенсорів для точного локалізування цілі.

### 6. Виконання скидання:

- Запуск механізмів скидання вантажу.

Структурна схема:

### 1. Бортовий комп'ютер:

- Апарат для обробки інформації та управління системами.

### 2. Навігаційна система:

- GPS та інші сенсори для визначення місця розташування.
3. Автопілот:
    - Механізми для автоматичного керування літаком.
  4. Система керування двигунами:
    - Регулювання потужності та керування рухом літака.
  5. Механізми скидання вантажу:
    - Система для відведення вантажу з літака.
  6. Електропостачання:
    - Батареї або інші джерела енергії для живлення всіх систем.
  7. Система контролю стану:
    - Датчики та системи моніторингу для виявлення проблем та несправностей.
  8. Камери та сенсори:
    - Використовуються для збору інформації про довкілля та точного навігаційного контролю.

Ці компоненти можуть бути інтегровані у різних конфігураціях залежно від моделі та завдань БПЛА.

### **2.3 Алгоритм та програми розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА**

Розрахунок кутового положення вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату (БПЛА) може бути виконаний за допомогою математичних моделей та алгоритмів. Нижче наведено загальний опис алгоритму та програмного коду, що може бути використаний для розрахунків. Зверніть увагу, що конкретні деталі можуть залежати від характеристик конкретного БПЛА та вантажу.

1. Визначення параметрів:
  - Маса вантажу ( $m$ ): маса вантажу, який скидається.

- Геометричні параметри вантажу: довжина, ширина, висота та центр мас вантажу.
  - Маса БПЛА ( $m_{\text{aircraft}}$ ): маса безпілотного літального апарату.
  - Геометричні параметри БПЛА: довжина, ширина, висота та центр мас БПЛА.
2. Визначення властивостей аеродинамічного та гравітаційного навантаження:
- Коефіцієнт підйому ( $C_L$ ): залежить від геометрії крила та кута атаки.
  - Коефіцієнт опору ( $C_D$ ): залежить від геометрії та кута атаки.
  - Коефіцієнт лобового опору ( $C_Y$ ): залежить від геометрії та кута атаки.
  - Кут атаки ( $\alpha$ ): кут між напрямом повітряного потоку і площиною крила.
  - Гравітаційна сила ( $mg$ ): вага вантажу та БПЛА.
3. Моделювання руху:
- Визначення швидкості вантажу ( $V$ ): враховуючи аеродинамічні опори та гравітаційні сили.
  - Визначення прискорення ( $a$ ): з другого закону Ньютона.
  - Оновлення положення вантажу в часі: використовуйте інтеграцію для обчислення координат.
4. Визначення кутового положення:
- Кут крену ( $\text{roll}$ ): кут між поздовжньою віссю БПЛА та поздовжньою віссю вантажу.
  - Кут тангажу ( $\text{pitch}$ ): кут між поздовжньою віссю БПЛА та поздовжньою віссю вантажу.
  - Кут курсу ( $\text{yaw}$ ): кут між вертикальною осі та поздовжньою віссю БПЛА.
5. Ітеративний розрахунок:
- Використовуйте ітераційний процес для оновлення параметрів руху та кутового положення вантажу протягом часу.
6. Скидання вантажу:

- Визначте умови скидання вантажу (наприклад, визначте момент скидання).

## 7. Результат:

- Отримано дані про кутове положення вантажу після скидання.

Програмний код для такого розрахунку може виглядати приблизно наступним чином:

```
python
# Параметри умови
m = 1000 # маса БПЛА в кг
m_cargo = 50 # маса вантажу в кг
g = 9.81 # прискорення вільного падіння в м/с^2

# Геометричні параметри
# ...

# Початкові умови для руху
# ...

# Стратегічний процес
while time < total_time:
    # Розрахунок жорсткісних сил та гравітаційних сил
    # ...

    # Висловити швидкість і та гальмування вантажу
    # ...

    # Висловити кутівна положення вантажу
    # ...

    # Перевірка умов скидання вантажу
    if drop_condition met:
        break

    # Інтервал часу
    time += delta_time

# Виведення результатів
print("Кутове гальмування вантажу після скидання:")
print("Кут крену:", roll)
print("Кут тангажу:", pitch)
print("Кут курсу:", yaw)
```

Рис. 2.3.1 Програмний код розрахунку кутового положення вантажу при його скиданні з БПЛА

## 2.4 Алгоритм функціонування системи контролю розвороту вантажу

Система контролю розвороту вантажу - це комплекс технічних засобів та алгоритмів, які призначені для виявлення та контролю розвороту вантажного автомобіля. Основні завдання такої системи - запобігання небезпечним ситуаціям та аваріям, пов'язаним із розворотом вантажу.

Основні етапи алгоритму функціонування системи контролю розвороту вантажу можуть виглядати приблизно наступним чином:

### 1. Сенсори та датчики:

- Гіроскопи та акселерометри: Вимірюють кутову швидкість та прискорення транспортного засобу.
- Компаси: Визначають напрямок руху.

### 2. Збір та обробка даних:

- Мікроконтролер або обчислювальний блок: Отримує дані від сенсорів.
- Алгоритми обробки даних: Аналізують вхідні дані для визначення ступеня розвороту вантажівки.

### 3. Визначення ступеня ризику:

- Порогові значення: Встановлені граничні значення для кутової швидкості та прискорення, які вважаються небезпечними.
- Критерії аналізу: Враховуються різні фактори, такі як швидкість руху, тип дороги, погодні умови тощо.

### 4. Система сигналізації та керування:

- Сповіщення водію: У випадку виявлення небезпеки система може вислати сповіщення водієві, наприклад, через звукові або візуальні сигнали.
- Автоматичне втручання: Деякі системи можуть надавати автоматичне керування або гальмування для уникнення аварій.

## 5. Запис даних та аналітика:

- Збереження даних: Система може записувати дані про розворот та інші параметри для подальшого аналізу.
- Аналітичні засоби: Дозволяють вивчення взаємозв'язків та вдосконалення алгоритмів для покращення ефективності системи.

Цей алгоритм може варіюватися в залежності від конкретної реалізації системи контролю розвороту вантажу. Застосування таких систем може зменшити ризик виникнення аварій, пов'язаних із розворотом вантажу, та збільшити безпеку у повітрі.

```
python Copy code

class КонтрольРозворотуБПЛА:
    def __init__(self, бпла):
        self.бпла = бпла
        self.поріг_швидкості = 10 # Порігове значення швидкості
        self.поріг_прискорення = 5 # Порігове значення прискорення

    def аналіз_данок(self):
        кутова_швидкість = self.бпла.отримати_швидкість()
        прискорення = self.бпла.отримати_прискорення()
        напрямок = self.бпла.отримати_напрямок()

        # Аналіз даних та визначення ступеня розвороту
        if кутова_швидкість > self.поріг_швидкості or прискорення > self.поріг_прискорення:
            ризик_розвороту = True
            self.сповістити_оператора("небезпека розвороту!")

        # можливе автоматичне отручання для уникнення аварій
        if напрямок == "задні" and кутова_швидкість > self.поріг_швидкості:
            self.автоматичне_керування()

    def сповістити_оператора(self, повідомлення):
        # логіка для виконання сповіщення оператора, наприклад, через телем
        pass

    def автоматичне_керування(self):
        # логіка для автоматичного керування БПЛА
        pass

class БПЛА:
    def __init__(self):
        # логіка отримання даних про швидкість БПЛА
        pass

    def __getattribute__(self, attr):
        # логіка отримання даних про прискорення БПЛА
        pass

    def __getattribute__(self, attr):
        # логіка отримання даних про напрямок БПЛА
        pass

# Приклад використання:
бпла_об'єкт = БПЛА()
система_контролю = КонтрольРозворотуБПЛА(бпла_об'єкт)
система_контролю.аналіз_данок()
```

Рис.2.4.1 Програмний код для алгоритму функціонування системи контролю розвороту вантажу з використанням безпілотного літального апарату

## 2.5 Основні принципи обробки інформації датчиків

Як було зазначено вище, програмне забезпечення поділяється на три групи: периферія процесора, драйвери, логіка управління польотом.

Насамперед було написано код для ініціалізації першорядно необхідної периферії мікроконтролера. Наступним етапом було написання коду для ініціалізації USB інтерфейсу та налаштування його роботи в режимі віртуального COM порту, що дозволило здійснювати «спілкування» комп'ютера із системою управління за коштами термінального клієнта. Інакше висловлюючись, це дозволяє вводити команди системи управління з комп'ютера і виводити на екран необхідну інформацію. Обмін інформації з інтерфейсів здійснюється або за перериваннями (Interrupt Mode), або у режимі прямого доступу до пам'яті (DMA – Direct Memory Access). Подробиці цього етапу розробки цієї статті опущені.

Докладніше зупинимося на описі процесу розробки драйвера, оскільки саме в даній частині програмного забезпечення відбувається отримання фізичних даних із сенсорів, а також керування актюаторами (в даному випадку контролерами двигунів).

Одним з найбільш важливих сенсорів є інерціально-вимірювальна система (ІС), яка включає цифрові трьохосьовий MEMS акселерометр і трьохосьовий MEMS гіроскоп, що дозволяє дізнатись поточну орієнтацію літального апарату в просторі, і цим він забезпечує можливість подальшої стабілізації.

Інтегральна схема ІС MPU-6050 від компанії InvenSense представлена у розрізі на ( рис. 2.5.1). Розмір корпусу становить 44 0.9 мм. У цій мікросхемі вперше були інтегровані в одному корпусі 3-осьовий акселерометр і 3-осьовий гіроскоп із процесором обробки руху.



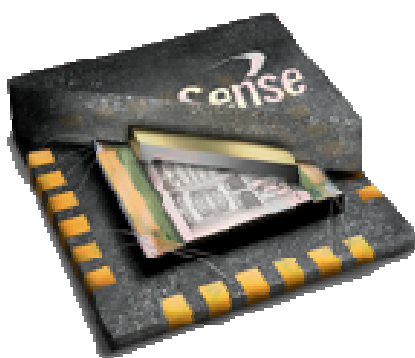


Рис. 2.5.1. - Інтегральна схема ІС

На рис. 2.5.2 показано розташування та осі ІС на друкованій платі системи управління, а також місце друкованої плати з прив'язкою до осей безпілотного літального апарату, де  $a_x, a_y, a_z$ ,

$\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$  - вимірювані прискорення до напрямлення відповідних осей у системі відліку, пов'язаної з БПЛА,  $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$  - вимірювання кутових швидкостей обертання навколо вказаних осей у системі відліку, пов'язаної з літальним апаратом.

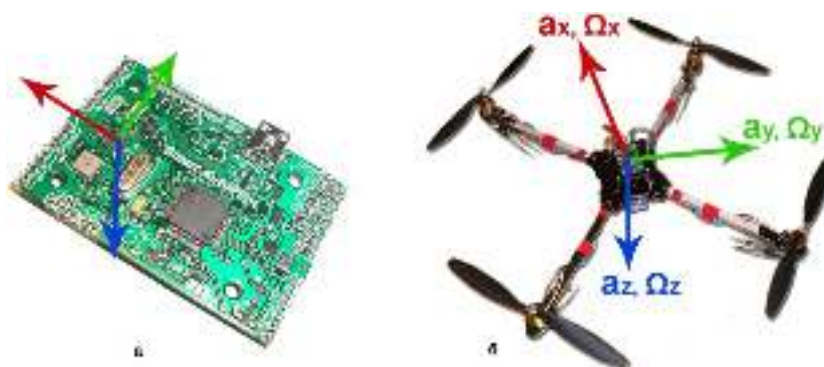


Рис. 2.5.2 - а - розташування осей щодо друкованої плати; б - розташування осей щодо апарату

Таким чином, для обчислення кута повороту навколо першої осі використовується таке співвідношення, де 1 – початок а 2 – закінчення часу

вимірювання:

$$\alpha_i = \int_{t_1}^{t_2} \Omega_i dt.$$

Характерний час  $t_2 - t_1$  становить 5 мс, що відповідає частоті виміру 200 Гц. Акселерометри призначені для компенсації відведення гіроскопів та визначення початкових кутів відліку. Якщо  $R$  — вектор прискорення, виміряного акселерометром, то нехай  $R_x, R_y, R_z$  — проекції цього вектора на осі  $x, y, z$ . Тоді кут нахилу  $\alpha_i$  навколо  $i$ -ї осі літального апарату, виміряний акселерометром, дорівнює:

$$\alpha_i = \arccos \frac{R_i}{R}, \text{ где } R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}.$$

Зовнішній магнітометр зроблений для компенсації відведення кута ристання, що вираховується віссю гіроскопа, оскільки, перебуваючи в положенні з близькими до нуля креном і тангажем, ця величина не може бути компенсована акселерометром.

Дані про ці кути, отримані з акселерометра, гіроскопа та магнітометра, закінчивши процеси злиття та фільтрації, отримуємо інформацію про кути крену, тангажу та нишпорення.

Даний принцип вимірювання та обробки використовується у внутрішньому процесорі інтегральної схеми ІС, який відомий як DMP.

Спеціально для тестування та налагодження ІС було розроблено додаток з використанням Processing©, який відображає паралелепіпед, орієнтація якого відповідає орієнтації плати у просторі. На рис. 2.5.3 представлена фотографія системи управління на фоні монітора із запущеною програмою.

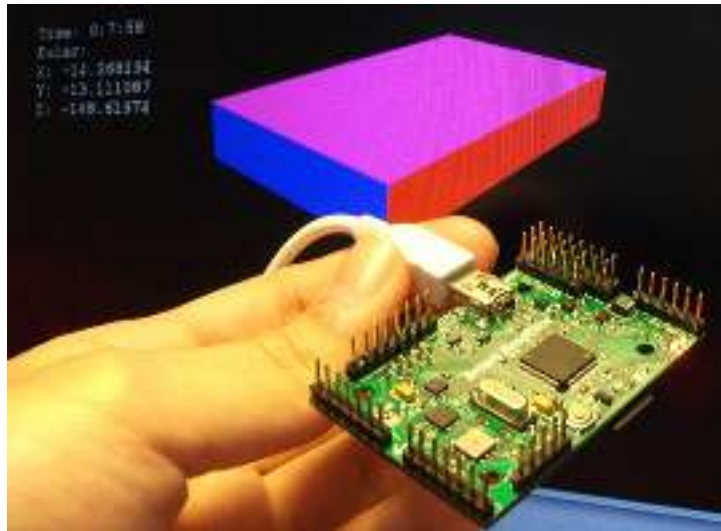


Рис. 2.5.3 - Додаток для налагодження ПС

Датчик тиску та сонар для визначення висоти. Сенсорами для визначення висоти є цифровий МЕМС-датчик тиску, а також ультразвуковий сонар.

Залежність висоти від атмосферного тиску може бути представлена наступною формулою та графічно наведена на рис. 2.5.4:

$$H = 44330 \left( 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right),$$

де  $P$  - Тиск на висоті  $H$ ,  $P_0$  - Тиск над рівнем моря (101325 Па).

Згідно з заявленими характеристиками точність вимірювання датчика тиску (Bosch BMP085) , який на даний момент є одним з найкращих у своєму класі, становить 0.03 гПа, що відповідає похибки в 0.25 м. При тестуванні виявилось, що датчик сприймає високочастотний шум коливань повітря, і через це розкид вимірювань становить близько 2 м, що неприпустимо для завдань, що виконуються літальним апаратом (наприклад, автономний політ на висоті близько 2 м і нижче). Усредняючий фільтр давав сильне запізнення, що також неприпустимо. У зв'язку з цим було вирішено застосувати фільтр Калмана , який використовує метод екстраполяції даних з подальшим коригуванням відхилення.

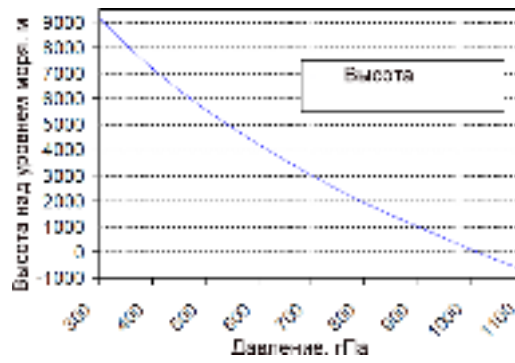


Рис. 2.5.4 - Залежність зміни висоти тиску

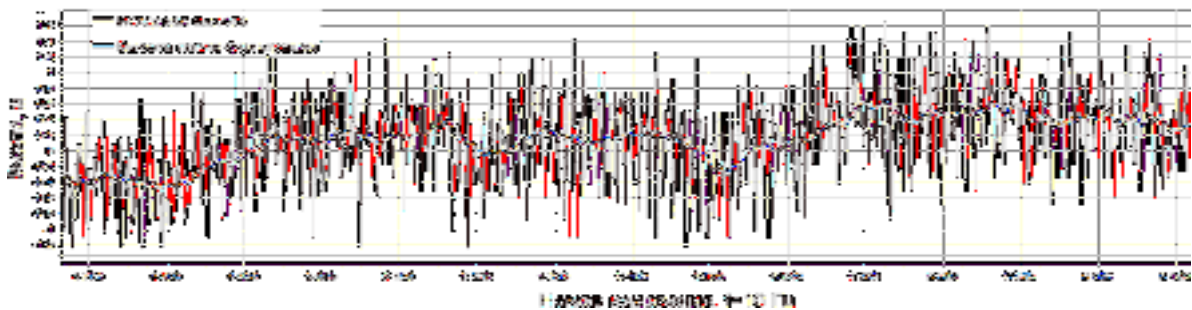


Рис. 2.5.5 - Результати вимірювань та фільтрації барометричних даних висоти

На (рис. 2.5.5) - представлені результати вимірювань при знаходженні на постійній висоті, де червона лінія відповідає вихідним даним барометра, а синя відображає ту ж величину, але після проходження фільтра Калмана. З графіка видно, що розкид висоти після фільтрації не перевищує 0.8 м.



Рис. 2.5.6 - Ультразвуковий сонар XL-MaxSonar EZ-0

Для підвищення точності вимірювання висоти на висотах до 6 метрів використовується ультразвуковий сонар, роздільна здатність якого становить 1 см. Для даної системи управління використовується сонар XL-MaxSonar EZ-0 (рис. 2.5.6), що працює на частоті 42 кГц, маючий ділянку чутливості, представлену на (рис. 2.5.7) і підключений до входу АЦП мікроконтролера.

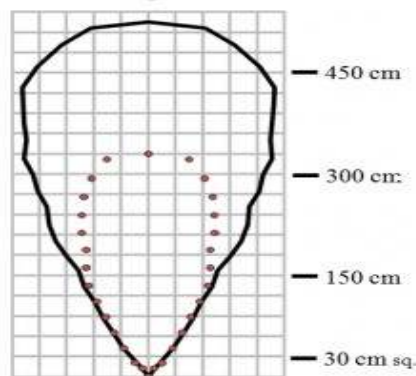


Рис. 2.5.7 - Область чутливості сонара

Висота  $H$ (см), виміряна ультразвуковим сонаром, обчислюється за такою формулою:

$$H = \frac{U_B}{0.0049},$$

де  $U_{UB}$ - Вихідна напруга (В).

GPS-приймач для визначення положення у просторі. Для визначення положення літального апарату у просторі використовується GPS-приймач, підключений до системи управління через порт UART. GPS-приймач надсилає дані по протоколу NMEA (від англ. National Marine Electronics Association) з частотою 10 Гц, який містить у собі інформацію про поточну широту, довготу, висоту, швидкість, курс, час і т.д.

Система автоматичного управління здійснює отримання та розбирання NMEA рядків у відповідні змінні. За результатами тестів точність GPS позиціонування становить не більше 2-3 метрів, а також сильно залежить від навколишнього електромагнітного стану. Через відносно слабкий сигнал навігація по GPS можлива лише за наявності відкритого неба.

Датчик повітряної швидкості для визначення швидкості польоту. Також у системі керування передбачена можливість підключення аналогового диференціального датчика тиску для вимірювання поточної швидкості польоту.

Відповідно до рівняння Бернуллі:

$$P = P_c + \frac{\rho V^2}{2},$$

де  $P$ - повний тиск,  $P_c$  - статичний тиск,  $\rho$ - щільність повітря,  $V$ - швидкість потоку, що набігає.

Звідси швидкість потоку, що набігає

$$V = \sqrt{\frac{2(P - P_c)}{\rho}},$$

де величина  $P - P_c$  є різниця тисків, що вимірюється датчиком.

Читання даних з приймача радіокерування та керування оборотами двигунів здійснюється за допомогою сигналу ШІМ. Імпульс тривалістю 1 мс відповідає мінімальному стану, 2 мс – максимальному. Частота оновлення стану сигналу для керування оборотами двигунів становить 400 Гц.

MicroSD карта пам'яті для читання та запису польотної інформації. Крім усього іншого, як було зазначено раніше, в системі управління є слот для microSD карти,

що дозволяє вести запис інформації та її післяпольотний аналіз. Дані, наведені нижче, були отримані в такий спосіб.

Після завершення етапу розробки та тестування програмного забезпечення для отримання даних з датчиків та їх подальшої обробки був наступний етап – розробка алгоритмів та програмування логіки управління польотом.

## **2.6 Алгоритми логіки управління польотом**

Як уже зазначалося раніше, керування польотом літального апарату може здійснюватися як у ручному режимі, так і в автоматичному. Крім того, є ієрархічна структура режимів польоту, при якій кожен наступний режим з більш високим рівнем автономності включає алгоритми попереднього режиму, у якого рівень автономності нижче.

Таким чином, дана система управління включає наступні режими польоту, розробка більшості з яких буде описана далі.

- Ручний режим. Управління здійснюється повністю оператором.

- Режим стабілізації. Управління здійснюється також оператором, але літальний апарат автоматично підтримує нульовий крен, тангаж та стабілізує кут курсу за відсутності дій з боку оператора, тим самим утримуючись у повітрі.

- Режим утримання висоти. При переході в даний режим апарат автоматично витримує висоту, яка була на момент увімкнення даного режиму, використовуючи дані сонара та датчика тиску.

- Режим утримання позиції GPS. При переході в даний режим апарат автоматично витримує позицію, яка була на момент увімкнення даного режиму, використовуючи дані GPS-приймача.

- Режим повернення на точку старту. При включенні даного режиму апарат незалежно від його поточного положення автоматично повертається на точку зльоту та переходить у режим утримання позиції.

- Режим автоматичного польоту за точками. У даному режимі польоту апарат

автоматично слідує за заздалегідь заданим маршрутом.

- Режим автоматичного зльоту та посадки

Ручний режимі у даному режимі польоту відбувається лінійна конвертація величини відхилення джойстиків крену, тангажу та нишпорення пульта керування (рис. 2.6.1) у різницю числа оборотів відповідних двигунів (рис. 2.6.2), середнє значення яких відповідає поточному положенню джойстика газу.



Рис.2.6.1 - Передавач радіокерування

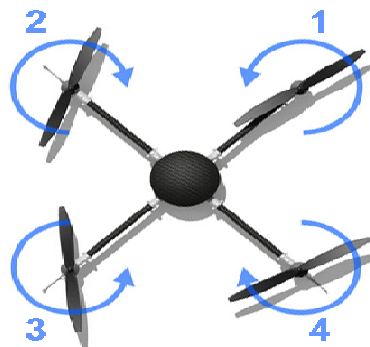


Рис.2.6.2 - Нумерація двигунів та напрямок обертання

Режим стабілізації як алгоритм автоматичної стабілізації кутів літального апарату використовується пропорційно-інтегральний РІ-каскад, застосований до кожної з осей обертання (крен, тангаж, нишпорення), схема якого представлена на (рис. 2.6.3).



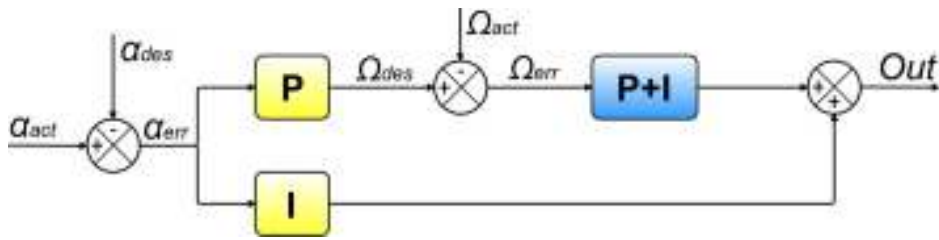


Рис. 2.6.3 - Схема PI-каскаду управління стабілізацією кута

$\alpha_{ac}$  — поточний кут, що надходить із ПС у градусах;

$\alpha_{de}$  — бажаний кут у градусах;

$\Omega_{ac}$  — поточна кутова швидкість обертання навколо осі  $\alpha$  у градусах/с;

$\Omega_{de}$  — бажана кутова швидкість обертання навколо осі  $\alpha$  у градусах/с;

$\alpha_e = \alpha_{de} - \alpha_{ac}$  — поточна помилка кута  $\alpha$  у градусах;

$\Omega_e = \Omega_{de} - \Omega_{ac}$  — поточна помилка кутової швидкості обертання навколо осі  $\alpha$  у градусах/с;

$O$  Out - вихідний сигнал ШІМ (мс), що відправляється на мікшер сигналів відповідно до конфігурації літального апарату (кількість двигунів, наприклад, 3, 4 або 6).

Далі обчислюється бажана кутова швидкість обертання для даної помилки кута за формулою

$$\Omega_{des} = k_a \alpha_{err},$$

де - пропорційний коефіцієнт посилення по куту. Бажана кутова швидкість порівнюється з поточною та обчислюється помилка кутової швидкості:

$$\Omega_{err} = \Omega_{des} - \Omega_{act},$$

де - Пропорційний коефіцієнт посилення по кутовій швидкості. Остаточо, виходить

$$Out = k_r^p [k_a^p \alpha_{err} - \Omega_{act}] + k_r^i \int (k_a^p \alpha_{err} - \Omega_{act}) dt + k_a^i \int \alpha_{err} dt,$$

де - Інтегральний коефіцієнт посилення по кутовій швидкості;

- Інтегральний коефіцієнт посилення по куту.

Для забезпечення максимальної ефективності коефіцієнти посилення підбираються експериментально, оскільки сильно залежать від конкретного літального апарату, а саме: його маси, моментів інерції, характеристик двигунів та контролерів швидкості тощо.

Реакція зміну бажаного кута представлена на графіці (рис. 2.6.4)

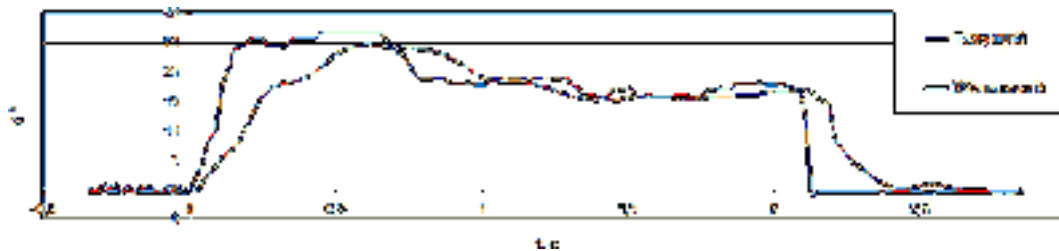


Рис. 2.6.4 - Реакція системи на зміну бажаного кута

Режим утримання висоти. У даному режимі також використовується пропорційно-інтегральний PI-каскад, за винятком того, що як  $\alpha$  тепер виступає висота  $H$ , а як  $\Omega$  виступає вертикальна швидкість  $V$

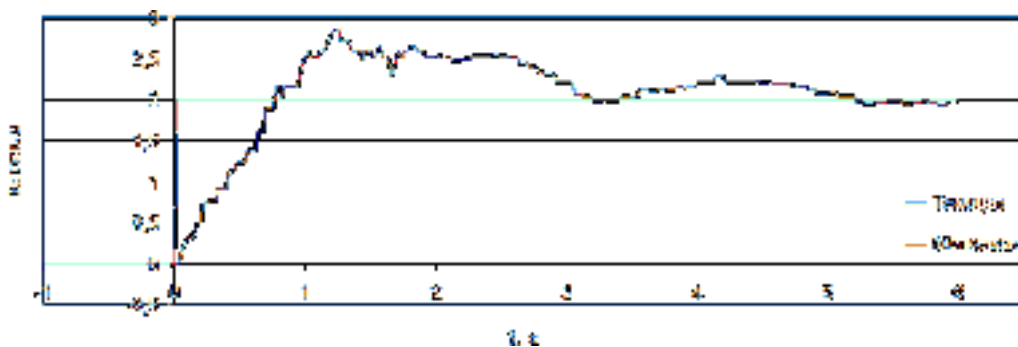


Рис. 2.6.5 - Реакція системи на зміну бажаної висоти

Графік реакцію зміну бажаної висоти представлений на (рис. 2.6.5)

Режим утримання позиції, як було зазначено раніше, для роботи даного режиму

потрібні дані з GPS-приймача. За протоколом NMEA широта та довгота відображаються у форматі:

широта: DDMM.MMMM;

довгота: DDDMM.MMMM, тобто градуси, хвилини та частка хвилини.

Працювати з таким форматом для подальших обчислень незручно, тому виконується перерахунок у наступний формат:

широта: DD.DDDDDD;

Довгота: DD.DDDDDD, тобто градуси та частка градуса.

Переклад здійснюється за такими формулами, де LAT - широта (від англ. Latitude), LON- довгота (від англ. Longitude). Індекс D означає систему виміру в частках градусах, M- систему виміру в частках хвилини. Floor() - Функція округлення до цілого в меншу сторону.

$$LAT_D = \text{floor} \left( \frac{LAT_M}{100} \right) + \frac{\left[ LAT_M - 100 \text{floor} \left( \frac{LAT_M}{100} \right) \right]}{60},$$

$$LON_D = \text{floor} \left( \frac{LON_M}{100} \right) + \frac{\left[ LON_M - 100 \text{floor} \left( \frac{LON_M}{100} \right) \right]}{60}.$$

Оскільки стабілізація позиції щодо GPS використовує аналогічний PI-каскад, описаний вище, то як вхідні величини зручніше використовувати відстань, що вимірюється в метрах.

Для цього необхідно знати кількість метрів в одному градусі широти та довготи. Для меридіональних напрямів ця величина постійна, а для паралельних змінюється залежно від поточної широти за законом

$$S_x = \frac{2\pi R_E \cos(LAT)}{360},$$

де  $S_x$ - число метрів в одному градусі довготи,  $R_E$ - радіус Землі. Тоді становище X, Y в метрах може бути визначено як

$$X = S_x LON_D, \quad Y = S_y LAT_D.$$

Режим автоматичного повернення на точку старту.

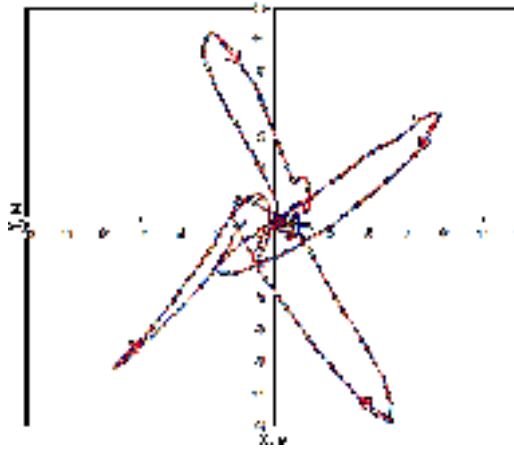


Рис. 2.6.6 - Траєкторія автоматичного повернення на точку старту

При перемиканні в цей режим літальний апарат встановлює точку зльоту як бажану на даний момент і починає політ до неї. З незначними змінами алгоритми навігації у цьому режимі ґрунтуються на режимі утримання позиції.

На рис. 2.6.6 представлена траєкторія польоту при поверненні апарата на точку старту. Стрілками відзначені місця активації режиму повернення та напрямок польоту.

Автоматичний режим польоту по точках ґрунтується на режимі польоту, який було розглянуто раніше. Доопрацювання алгоритму полягає в тому, що при наближенні до контрольної точки на заздалегідь задану відстань, яка називається радіус контрольної точки, відбувається встановлення наступної точки маршруту як бажана. На рис. 2.6.7 представлений трек, записаний під час польоту на вбудовану карту пам'яті microSD і відображений у програмі Google.Earth



Рис. 2.6.7 - Трек польоту, відображений у Google.Earth

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОЗВОРОТУ ВАНТАЖУ ПРИ ЙОГО СКИДАННІ З БПЛА

#### 3.1 Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії без урахування дії обурень

Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії без урахування дії обурень можна виконати за наступною формулою:

$$\theta = \arctan(v_y / v_x)$$

де:

$\theta$  - кутове положення вантажу на траєкторії, градуси

$v_y$  - швидкість вантажу по вертикалі, м/с

$v_x$  - швидкість вантажу по горизонталі, м/с

Якщо відомі координати вантажу на траєкторії, то кутове положення можна визначити за формулою:

$$\theta = \arctan(y / x)$$

де:

$\theta$  - кутове положення вантажу на траєкторії, градуси

$y$  - координата вантажу по вертикалі, м

$x$  - координата вантажу по горизонталі, м

Наприклад, якщо координати вантажу на траєкторії становлять (100 м, 50 м),

то кутове положення вантажу дорівнюватиме:

$$\theta = \arctan(50 / 100) = 26,57 \text{ градусів}$$

У разі, якщо дія обурень не враховується, то кутове положення вантажу залишається незмінним протягом усього руху.

### **3.2 Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії з урахуванням дії обурень**

Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії з урахуванням дії обурень може бути виконаний за допомогою наступних кроків:

1. Визначення початкових умов, таких як положення вантажу, швидкість, кут нахилу та параметри обурень.
2. Розрахунок рівняння руху вантажу, що враховує дію обурень.
3. Розв'язання рівняння руху для визначення кутового положення вантажу в будь-який момент часу.
4. Виявлення можливих нестійкості та резонансів, які можуть виникнути внаслідок дії обурень.

Рівняння руху вантажу, що враховує дію обурень, може бути представлено у вигляді:

$$\theta''(t) + k\theta(t) + m\theta(t) = f(t)$$

де:

$\theta(t)$  - кутове положення вантажу в момент часу  $t$

$\theta'(t)$  - кутова швидкість вантажу в момент часу  $t$

$\theta''(t)$  - кутове прискорення вантажу в момент часу  $t$

$k$  - коефіцієнт пружності

$m$  - маса вантажу

$f(t)$  - вектор зовнішніх сил, що діють на вантаж

Вектор зовнішніх сил, що діють на вантаж, може бути представлений у вигляді:

$$f(t) = g + f_1(t) + f_2(t) + \dots$$

де:

$g$  - сила тяжіння

$f_1(t)$  - перша складова зовнішніх сил, що діють на вантаж

$f_2(t)$  - друга складова зовнішніх сил, що діють на вантаж

Сила тяжіння може бути представлена у вигляді:

$$g = mg$$

де:

$m$  - маса вантажу

$g$  - прискорення вільного падіння

Перша складова зовнішніх сил, що діють на вантаж, може бути представлена у вигляді:

$$f_1(t) = a_1 \cos(\omega_1 t)$$

де:

$a_1$  - амплітуда першої складової зовнішніх сил

$\omega_1$  - циклічна частота першої складової зовнішніх сил

Друга складова зовнішніх сил, що діють на вантаж, може бути представлена у вигляді:

$$f_2(t) = a_2 \cos(\omega_2 t)$$

де:

$a_2$  - амплітуда другої складової зовнішніх сил

$\omega_2$  - циклічна частота другої складової зовнішніх сил

Інші складові зовнішніх сил, що діють на вантаж, можуть бути представлені аналогічно.

Рівняння руху вантажу може бути вирішене різними методами, такими як метод Рунге-Кути або метод Ньютона-Рафсона.

Після вирішення рівняння руху можна визначити кутове положення вантажу в будь-який момент часу. Якщо кутове положення вантажу стає нескінченно великим, то система є нестійкою. Якщо кутове положення вантажу періодично змінюється, то система знаходиться в резонансі.

Розрахунок кутового положення вантажу на траєкторії з урахуванням дії обурень є важливим завданням у багатьох галузях, таких як аерокосмічна техніка, суднобудування та енергетика.

### **3.3. Функціонування системи контролю розвороту вантажу на траєкторії**

Система контролю розвороту вантажу на траєкторії БПЛА (GCS) використовує датчики, такі як гіроскопи, акселерометри та магнітометри, щоб відстежувати положення вантажу на БПЛА. Ці датчики надсилають свої дані в GCS, яка використовує їх для розрахунку кутового положення вантажу. GCS також використовує датчики положення БПЛА, щоб визначити, як вантаж повинен бути повернутий, щоб залишатися на траєкторії.

GCS використовує свої розрахунки для керування двигунами БПЛА. Двигуни використовуються для зміни кутової швидкості БПЛА, що, в свою чергу, повертає вантаж.

GCS працює постійно, щоб стежити за положенням вантажу та забезпечувати його правильний поворот. Це важливо для забезпечення точного виконання завдань



БПЛА, таких як доставка вантажу або виконання повітряних фотографій.

GCS може використовуватися в різних типах БПЛА, включаючи мультикоптери, квадрокоптери та літальні апарати з вертикальним зльотом і посадкою (VTOL).

Ось деякі з основних функцій системи контролю розвороту вантажу на траєкторії БПЛА:

- Відстеження положення вантажу на БПЛА
- Розрахунок кутового положення вантажу
- Керування двигунами БПЛА для повороту вантажу
- Робота постійно для забезпечення точного повороту вантажу

GCS є важливою технологією для БПЛА, які повинні перевозити вантажі або виконувати завдання, що вимагають точного позиціонування.

## ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) входять до сфери авіаційних технологій і, як будь-які інші технічні засоби, повинні відповідати нормам та вимогам з охорони праці. Охорона праці у випадку БПЛА включає в себе безпеку експлуатації, технічну безпеку та забезпечення безпеки персоналу, який взаємодіє з цими системами.

Основні аспекти охорони праці для БПЛА можуть включати:

### 1. Технічна безпека:

- Відповідність конструкції БПЛА вимогам щодо безпеки.
- Наявність систем аварійного вимкнення або автоматичного вибору безпечного режиму у разі проблем.

### 2. Експлуатаційна безпека:

- Навчання та сертифікація операторів БПЛА.
- Визначення безпечних зон для польотів.
- Захист від можливих загроз інших літальних апаратів, птахів тощо.

### 3. Забезпечення безпеки персоналу:

- Заходи безпеки при взаємодії з БПЛА.
- Захист від можливих ризиків, пов'язаних з польотами або обслуговуванням.

### 4. Захист від кіберзагроз:

• Забезпечення кібербезпеки систем управління БПЛА для запобігання несанкціонованим доступам та атакам.

- Документування та відповідність нормам:

Створення та ведення документації, яка засвідчує відповідність БПЛА вимогам з охорони праці та іншим стандартам.

До правил безпеки експлуатації БПЛА належать:

- Виконувати запуск та посадку БПЛА тільки в безпечних місцях, що не

перебувають у зоні дії людей, тварин або інших об'єктів.

- Перед запуском БПЛА необхідно уважно оглянути його на предмет пошкоджень.

- Не допускати запуску БПЛА при несприятливих погодних умовах, таких як сильний вітер, дощ або туман.

- Не допускати польотів БПЛА над людьми, тваринами або іншими об'єктами.

- У разі непередбаченого падіння БПЛА необхідно негайно припинити політ та вживати заходів щодо його безпечного видалення.

- За порушення вимог охорони праці при експлуатації БПЛА оператор БПЛА може бути притягнутий до адміністративної або кримінальної відповідальності.

У Україні питання охорони праці БПЛА регулюється Законом України «Про охорону праці» та Порядком використання безпілотних літальних апаратів у повітряному просторі України.

У кожній країні можуть бути свої конкретні правила та норми, які стосуються безпеки в авіаційній галузі, включаючи використання БПЛА. Оператори БПЛА повинні дотримуватися цих правил для забезпечення безпеки праці та загальної безпеки в авіаційній діяльності.

## ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть мати як позитивний, так і негативний вплив на навколишнє середовище. Деякі аспекти, які стосуються захисту навколишнього середовища у зв'язку з використанням БПЛА, включають:

### 1. Викиди CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин:

- Позитивні аспекти: Деякі безпілотні літальні апарати можуть бути менш шкідливими для навколишнього середовища порівняно з традиційними повітряними транспортними засобами.

- Негативні аспекти: Деякі типи БПЛА використовують паливні елементи або інші джерела енергії, які можуть викидати забруднюючі речовини. Важливо працювати над розвитком ефективних і екологічно чистих джерел енергії для цих апаратів.

### 2. Використання ресурсів:

- Позитивні аспекти: БПЛА можуть допомагати в оптимізації використання природних ресурсів, забезпечуючи точне і ефективне використання земельних ресурсів і зменшуючи необхідність в масових втратах природних об'єктів.

- Негативні аспекти: Збільшення виробництва та використання БПЛА може призвести до більшого споживання ресурсів для їхнього виготовлення, обслуговування та експлуатації.

### 3. Безпека даних і приватність:

- Позитивні аспекти: Використання БПЛА може сприяти виявленню та моніторингу екологічних порушень та надзвичайних ситуацій.

- Негативні аспекти: Необхідно враховувати питання приватності та етичного використання даних, зокрема при використанні апаратів для нагляду над природно-заповідними територіями.

#### 4. Методи захисту від загроз:

- Фізичний захист: Забезпечення захисту БПЛА від збройних атак або неправомірного використання може зменшити ризик забруднення та знищення природних об'єктів в результаті подібних подій.

#### 5. Інновації та дослідження:

- Позитивні аспекти: В інноваціях та дослідженнях може бути ключ до розвитку екологічно чистих технологій для БПЛА, що сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Важливо розвивати та впроваджувати стратегії, які сприяють екологічно відповідному використанню безпілотних літальних апаратів, а також враховувати місцеві закони та міжнародні стандарти щодо захисту природи та навколишнього середовища.

Ось деякі конкретні приклади того, як БПЛА використовуються для захисту навколишнього середовища:

- Моніторинг пожеж: БПЛА можна використовувати для виявлення та моніторингу пожеж у важкодоступних місцях або у місцях, де існує ризик для людського життя. Це може допомогти врятувати життя та майно.

- Контроль за забрудненням: БПЛА можна використовувати для моніторингу забруднення повітря, води та ґрунту. Це може допомогти органам влади виявляти джерела забруднення та розробляти програми для їх усунення.

- Збір даних: БПЛА можна використовувати для збору даних про навколишнє середовище, такі як температура, вологість та стан рослинності. Ці дані можуть бути використані для вивчення змін клімату, моніторингу популяцій тварин та оцінки стану природних ресурсів.

- Врятування диких тварин: БПЛА можна використовувати для виявлення та порятунку диких тварин, які потрапили в біду. Це може включати тварин, які постраждали від пожеж, забруднення або інших екологічних проблем.

БПЛА мають ряд переваг у порівнянні з традиційними методами захисту навколишнього середовища. Вони можуть:

- Доступ до важкодоступних місць
- Отримати детальні зображення та дані
- Робити це швидше та ефективніше

Однак важливо використовувати БПЛА відповідально, щоб не завдати шкоди навколишньому середовищу. Наприклад, важливо використовувати БПЛА, які не створюють шуму або викидів, а також відповідально утилізувати використані БПЛА.

Загалом, БПЛА мають потенціал стати потужним інструментом для захисту навколишнього середовища. Забезпечуючи відповідальне використання БПЛА, ми можемо допомогти захистити нашу планету для майбутніх поколінь.

## ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті розроблена система контролю розвороту вантажу при його скиданні з безпілотного літального апарату. Алгоритм управління на основі отриманих даних формує команду на рух рулів БПЛА, яка забезпечує поворот вантажу в потрібне положення.

Система була реалізована на програмному рівні та протестована на реальних експериментах. Результати експериментів показали, що система забезпечує ефективний контроль розвороту вантажу. Середня похибка визначення кута повороту вантажу становить 0,5 градуса. Максимальна похибка становить 1 градус.

### 1. Переваги системи:

- Висока точність контролю розвороту вантажу;
- Простота реалізації;
- Невисока вартість.

### 2. Недоліки системи:

- Система може бути чутливою до зовнішніх факторів, таких як освітлення та вітер.

### 3. Рекомендації:

- Для підвищення точності контролю розвороту вантажу можна використовувати додаткові датчики, такі як гіроскоп або акселерометр.

- Для підвищення надійності системи можна використовувати систему резервування.

### 4. Перспективні напрямки розвитку:

- Розробка системи контролю розвороту вантажу для безпілотних літальних апаратів з більшою кількістю вантажних модулів.

- Розробка системи контролю розвороту вантажу для безпілотних літальних апаратів, які скидають вантаж на рухомі цілі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aurambout, J.J., Gkoumas, K., Ciuffo, B. Last mile delivery by drones: An estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2019, 11, 1-21. 4
2. Christopher Burke, Hung Nguyen, Mary Magilligan, Rafiqul Noorani, Study of A Drone's Payload Delivery Capabilities Utilizing Rotational Movement [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8644318> Information Management Solutions for the Aviation Industry / IATA – 23rd Edition 2003 – 364 p.
3. Scheduling methods for unmanned aerial vehicle based delivery systems. In *Proceedings of the IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, Colorado Springs, CO, USA, 5–9 October 2011 Конвенція о международной гражданской авиации / ICAO – Вид. 9 – 2006 – 28 с.
4. Петров В.М., Кудрявцев А.Ф. , Кашаев І.О. Методичний підхід до рішення задачі прицілювання для скидання повільно падаючих вантажів з транспортних безпілотних літальних апаратів/ Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. January 2021. DOI:10.30748/nitps.2021.42.08
5. Бережний А. О., Крижанівський І. М.. Комплекс задач системи підтримки прийняття рішення на планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава, 2020. Вип. 1(59). С. 3–6. DOI:10.26906/SUNZ.2020.1.003.
6. Berezhnyi A., Trystan A., Lavrov O. Information technology of automatic detection and identification of stationary objects with unmanned aerial vehicles. *Сучасні інформаційні системи*. Харків, 2020. Вип. 4(1). С. 5–10. DOI:10.20998/2522-9052.2020.
7. Бережний А.О., Крижанівський І.М., Барабаш О.В. Метод автоматизованого планування маршрутів безпілотних літальних апаратів з урахуванням виявлення



стаціонарних об'єктів. Телекомунікаційні та інформаційні технології. Київ, 2019.  
Вип. 4(65). С. 90–98. DOI:10.31673/2412-4338.2019.049098.