

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Математична модель руху drones при взаємодії
з фізичним неорганізованим середовищем

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КСМм-22-1
Жемір О.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Токарев В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Жеміру Олександрю Вячеславовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Математична модель руху drones при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1298Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 15 січня 2024р.

3. Вхідні дані до роботи 1) провести дослідження математичної моделі руху drones при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем; 2) провести огляд та аналіз класифікації моделей drones; 3) провести огляд та аналіз базових типів drones; 4) провести дослідження способу побудови адаптивної системи управління drones.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) огляд літератури за темою роботи;

2) аналіз предметної області;

3) вибір та обґрунтування методики дослідження;

4) проведення експериментальних досліджень;

5) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Слайд-презентація – 20 слайдів _____

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	07.11.23 - 13.11. 23	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	14.11. 23 - 20.11. 23	
3	Вибір інструментальних засобів	21.11. 23 - 23.11. 23	
4	Розробка моделей протоколів	24.11. 23 - 06.12. 23	
5	Проведення експериментів	07.12.23 - 23.12.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	26. 12. 23 - 02.01. 24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	03. 01. 24 - 06.01. 24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	09.01.24 - 12.01. 24	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Токарев В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 66 с., 38 рис., 1 табл., 1 дод., 14 джерел.

АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ, ФІЗИЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, DRONES.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження математичної моделі руху drones при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем.

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджується можливість застосування легких drones для виконання різних завдань повністю в автономному режимі при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем. Дослідження метематичної моделі побудови траєкторії автономного польоту drones довели можливість практичного використання подібних пристроїв при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем. Раніше вважалося, що за таких умов можливість виконувати поставлені завдання можуть забезпечувати лише апарати, оснащені складними супутниковими чи оптичними навігаційними системами. Це насамперед стосується дій під час надзвичайних ситуацій, викликаних техногенними чи природними чинниками.

ABSTRACT

Master's thesis: 66 pages, 38 figures, 1 tables, 1 appendices, 14 sources.

CONTROL ALGORITHM, DRONES, PHYSICAL ENVIRONMENT.

The purpose of the qualification work is to study the mathematical model of the movement of drones when interacting with a physical unorganized environment.

In the course of the qualification work, the possibility of using light drones to perform various tasks completely autonomously while interacting with a physical unorganized environment is investigated. Studies of the mathematical model of the construction of the trajectory of the autonomous flight of drones proved the possibility of practical use of such devices when interacting with a physical unorganized environment. Previously, it was believed that only devices equipped with complex satellite or optical navigation systems could provide the ability to perform the assigned tasks in such conditions. This, first of all, concerns actions during emergency situations caused by man-made or natural factors.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД І КЛАСИФІКАЦІЯ DRONES	11
1.1 Типи платформ для drones.....	11
1.1.1 Платформа для drones з нерухомим крилом	13
1.1.2 Платформа для drones з багатороторною технологією	16
1.1.3 Інші типи платформ для drones	19
1.2 Огляд сучасних моделей drones.....	22
1.2.1 Модель drone DelFly Explorer	22
1.2.2 Модель drone Hubsan x4	23
1.2.3 Модель drone DJI Phantom	24
1.2.4 Модель drone ScanEagle	25
2 ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ DRONES	27
2.1 Цивільне застосування drones.....	28
2.1.1 Застосування drones у рятувальних операціях.....	30
2.1.2 Застосування drones у археологічних дослідженнях.....	31
2.1.3 Географічне картографування за допомогою drones.....	32
2.1.4 Сучасні drones на охороні здоров'я та безпеки людей	33
2.1.5 Складання прогнозу погоди за допомогою drones	34
2.1.6 Drones на службі сільського господарства	35
2.1.7 Дослідження життя дикої природи за допомогою drones.....	39
2.1.8 Забезпечення безпеки за допомогою drones.....	40
2.2 Варіанти функціональних drones.....	40
2.2.1 Пошуково-рятувальні drones	40
2.2.2 Захист навколишнього середовища за допомогою drones.....	41
2.2.3 Доставка пошти за допомогою drones	42

З ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ DRONES ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ФІЗИЧНИМ НЕОРГАНІЗОВАНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ	44
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	53
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

МЛА – мікролітальний апарат

МСО – мережа, яка самоорганізується

ПЗ – програмне забезпечення

САУ – системи автоматичного управління

СМО – система масового обслуговування

Wi-Fi – технологія бездротової локальної мережі (англ., Wireless Fidelity)

ВСТУП

Інтелектуальні мобільні «s-bots», що входять до складу однієї «Swarm-bot» - system стрімко увірвалися в наше повсякденне життя. Ще зовсім недавно вони були невід'ємним атрибутом фантастичних творів, а сьогодні важко знайти галузі людської діяльності, в яких би не використовувалися «s-bots». В якості інтелектуальних мобільних «s-bots» в кваліфікаційній роботі розглядається використання drones.

Існує різноманітна класифікація drones, яка ґрунтується на безлічі параметрів, що визначають їх функціональність. Серед них можна виділити:

- вага;
- тип приводу;
- основна функція;
- рівень автономності.

Якщо для важких drones, питання їх застосування ретельно регламентуються, то для малих та надмалих drones, які були орієнтовані лише на ігрове застосування, жодних обмежень не існувало. Тепер вони вже є, і це пов'язано в першу чергу з тим, що навіть малі моделі можна використовувати для виконання серйозних завдань. Аналіз літератури показує широкий інтерес до проблематики drones, а тенденцію до розширення областей застосування легких drones можна вважати домінуючою.

Більшість моделей легких drones – це досить примітивні пристрої з обмеженим запасом енергії, що породжує безліч проблем при реалізації ними повністю автономних завдань. Дистанційне керування вимагає досить серйозної підготовки операторів, що є безперечною перешкодою для широкого використання drones. Для забезпечення можливості автономної роботи drones повинні мати на борту систему навігації, яка дозволяє контролювати хід виконання поставлених завдань. Навігаційні рішення, що

спираються на супутникові системи, підвищують вартість апаратів, їх енергоспоживання та вразливість. Альтернативним варіантом може бути архітектура навігації, що базується на сучасних мікромеханічних сенсорах. Невелика вага, низьке енергоспоживання та незалежність від зовнішніх джерел інформації ідеально підходять для малих drones.

Тому дослідження можливості застосування легких drones для виконання поставлених завдань у повністю автономному режимі при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем є актуальним завданням.

1 ОГЛЯД І КЛАСИФІКАЦІЯ DRONES

Безпілотний літальний апарат – drones – це повітряне судно, на борту якого немає людини, здатне пересуватися в повітряному просторі. Залежно від принципу польоту та режиму руху можна класифікувати drones за кількома категоріями. Самі drones можна класифікувати так (рисунок 1.1).

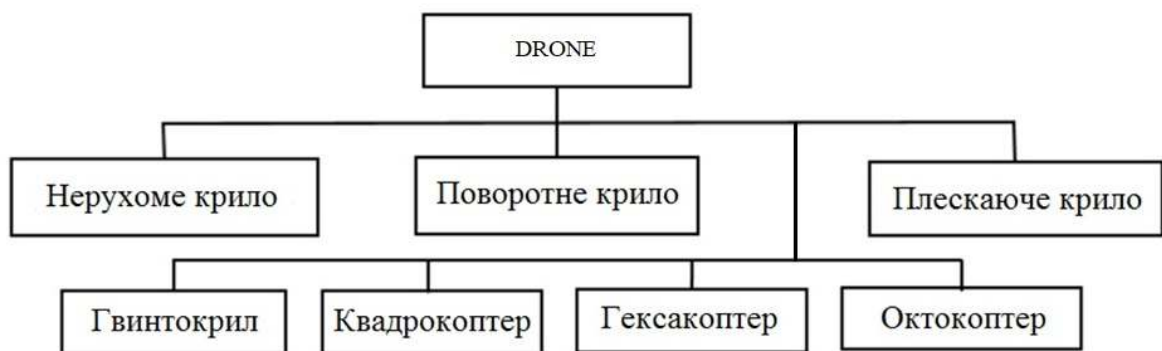


Рисунок 1.1 – Класифікація drones

1.1 Типи платформ для drones

На класифікацію drones впливають їх різні технічні характеристики. Розглянемо докладніше ці характеристики та приклади існуючих drones з такими характеристиками.

В даний час увагу дослідників привертають «Swarm-bot» - system на багатороторній платформі. Цей тип «Swarm-bot» - system зараз застосовується набагато частіше. Прикладами інших «Swarm-bot» - system є так звані гібридні платформи, які є багатороторними платформами, так і платформами з нерухомим крилом, орнітоптери, які використовують турбовентилятори.

Технологія, що використовується для підтримки польоту drone, визначає тип drone.

В даний час базовими вважаються дві платформи для drones:

- платформа з нерухомим крилом (рисунок 1.2);
- платформа з багатороторною технологією (рисунок 1.3).



Рисунок 1.2 – Приклад платформи для drones з нерухомим крилом



Рисунок 1.3 – Приклад платформи для drones з багатороторною технологією

Додатковими платформами для drones вважаються:

- гібридні (рисунок 1.4);
- орнітоптери (рисунок 1.5).



Рисунок 1.4 – Приклад гібридних платформ для drones



Рисунок 1.5 – Приклад платформи орнітоптер для drones

1.1.1 Платформа для drones з нерухомим крилом

У цивільній сфері drones з нерухомим крилом найчастіше використовуються для:

- далеких відстаней;

- далекого радіусу дії;
- висотних польотів.

Як правило, вони корисні в наукових додатках, таких як:

- метеорологічна розвідка;
- моніторинг навколишнього природного середовища (рисунок 2.5).

Якщо БПЛА використовується у військовій галузі, він, як правило, оснащений навігаційними системами.

Сучасний drone на платформі з нерухомим крилом складається з одного жорсткого крила (моноплан) і виглядає та працює як літак. Приклад такого дрона показаний на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Приклад drone на платформі з нерухомим крилом для моніторингу навколишнього середовища

Основна відмінність платформ з нерухомим крилом від інших платформ полягає в тому, що вони не можуть залишатися на одному місці, як платформи з вертикальними підйомними роторами, а замість цього ковзають заданою траєкторією доти, поки дозволяє їх енергія.

Це означає, що вони можуть бути набагато ефективнішими в порівнянні з іншими платформами. Платформи для drones з нерухомим крилом знайшли широке застосування у комерційній авіації.

Переваги платформи для drones з нерухомим крилом:

- час польоту може досягати десятків годин, якщо drone працює на газовому двигуні;
- drone може літати на великій висоті;
- такий drone більш стійкий у повітрі, ніж інші моделі;
- такий drone має можливість нести більшу вагу.

Недоліки платформи для drones з нерухомим крилом:

- drones на платформі з нерухомим крилом можуть бути дорогими;
- щоб керувати таким drone, зазвичай потрібне навчання;
- щоб керувати таким drone необхідна пускова установка;
- такий drone важче посадити на землю, тому що для важких «Swarm-bot» - system потрібна обладнана смуга (рисунок 1.7);
- такий drone не може «зависати» у заданій точці простору.



Рисунок 1.7 – Приклад обладнаної смуги для важкої «Swarm-bot» - system

1.1.2 Платформа для drones з багатороторною технологією

Багатороторні «Swarm-bot» - system – це підмножина гвинтокрилих drones. Термін «гвинтокрилий drone» використовується для «Swarm-bot» - system, які використовують технологію обертових лопастей для створення підйомної сили. Гвинтокрилі drones, які також називаються drones з вертикальним зльотом та посадкою, зазвичай використовуються на місіях, що потребують польоту в режимі зависання. Гвинтокрилі drones менш схильні до турбулентності повітря в порівнянні з drones з нерухомим крилом аналогічних габаритів. Найпоширенішим варіантом гвинтокрилих дронів є традиційний гелікоптер. Гвинтокрилий drone може мати один або кілька роторів. Сучасні drones, що використовують роторні системи, майже завжди оснащені кількома невеликими роторами, які необхідні для їхньої стійкості, звідси й назва мультироторної платформи для drones. Зазвичай ці drones використовують принаймні чотири ротори, щоб забезпечувати стійкість їхнього польоту (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Приклад drones, який використовує чотири ротори, щоб забезпечити стійкість у польоті

Відмінності між drones з нерухомим крилом та багатороторними drones визначають переважну область їх використання. Наприклад, багатороторні drones:

- не потребують посадкової смуги;
- роблять менше шуму, ніж їх нерухомі аналоги;
- можуть парити у повітрі.

Платформи з нерухомим крилом можуть літати швидше, тому вони придатні для далеких відстаней, ніж багатороторні конструкції. Ці та інші характеристики визначають, яка із платформ буде використовуватися для вирішення поставлених завдань.

Багатороторні drones також є найпростішим у виготовленні та найдешевшим варіантом побудови drones. Вони мають кілька несучих гвинтів і можуть бути класифіковані додатково в залежності від їх кількості на платформі drone.

На сьогоднішній день існують такі базові платформи на багатороторних технологіях drones:

- трикоптери – 3 ротори (рисунок 1.9);
- квадрокоптери – 4 ротори (рисунок 1.10);
- гексакоптери – 6 роторів (рисунок 1.11);
- октокоптери – 8 роторів (рисунок 1.12).

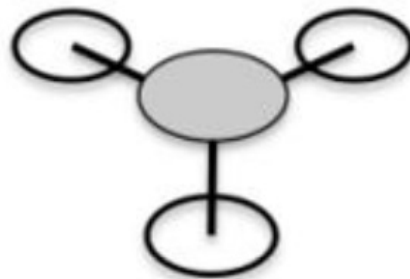


Рисунок 1.9 – Приклад платформи трикоптера на багатороторній технології для drones

На сьогоднішній день квадрокоптери є найпопулярнішою схемою побудови мультироторних drones.

Переваги багатороторних drones:

- простота управління та маневру;
- можуть «зависати» у заданій точці простору;
- можуть злітати та приземлятися вертикально;
- висока стабільність.

Недоліки багатороторних drones:

- обмежений час автономного польоту;
- відносно невелике корисне навантаження;
- висока витрата енергії на боротьбу з гравітацією та стабілізацію положення drone у повітрі.

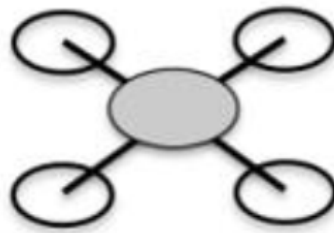


Рисунок 1.10 – Приклад платформи квадрокоптера на багатороторній технології drones

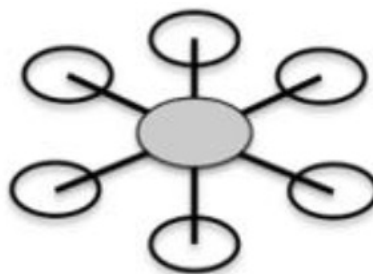


Рисунок 1.11 – Приклад платформи гексакоптера на багатороторній технології для drones

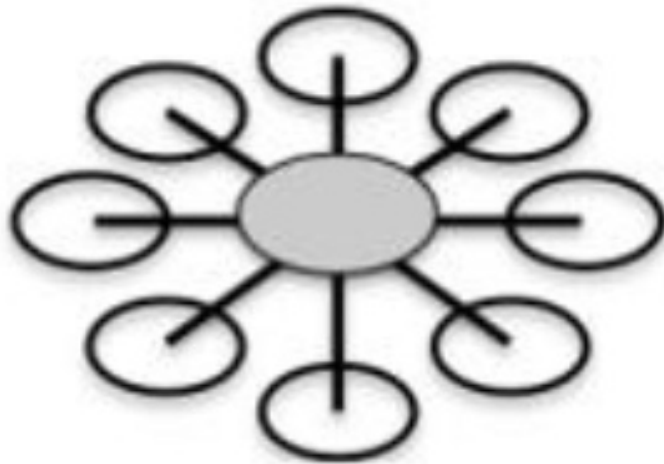


Рисунок 1.12 – Приклад платформи октокоптера на багатороторній технології для drones

1.1.3 Інші типи платформ для drones

Деякі конструкції drones не можна віднести до двох вищеописаних базових платформ.:

- платформа для drones з нерухомим крилом;
- платформа для drones на основі багатороторних технологій.

Іноді тому, що ці drones мають характеристики обох типів, тобто гібридні платформи.

Платформи для drones на основі гібридних технологій - це "Swarm-bot" - system, що мають характеристики як багатороторних, так і систем з нерухомим крилом (рисунок 1.13). Такі drones використовують кілька роторів для вертикального зльоту та посадки, але також мають крила, щоб літати на великі відстані.

Платформи для drones на основі гібридних технологій, які не є ні стаціонарними, ні багатороторними системами, трапляються набагато рідше. Подібним прикладом можуть бути орнітоптери. Ці drones літають, імітуючи рух крил комах або птахів. Більшість цих орнітоптерів масштабуються до птахів чи комах, яких вони представляють.



Рисунок 1.13 – Приклад платформи для drones на основі гібридних технологій

Ці невеликі drones в основному досі перебувають у стадії розробки та широко не використовуються на практиці. До нечисленних прикладів орнітоптерів можна віднести DelFly Explorer (рисунок 1.14), цей drone імітує бабку.



Рисунок 1.14 – DelFly Explorer

В даний час ведуться розробки drones у вигляді мікромеханічних комах, які в кінцевому підсумку будуть представляти муху, як за розміром, так і за рухом.

Існують також drones, що використовують реактивні двигуни. Приклад такого безпілота є T-Hawk (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – T-Hawk

Він використовує турбовентилятор, що робить його більше схожим на реактивний ранець, ніж нерухоме крило або мультиротор. Також необхідно виділити безпілотні повітряні кулі, наповнені, наприклад, гарячим повітрям, гелієм або воднем. Ці повітряні кулі можуть літати, нагріваючи повітря усередині балона. Безпілотні повітряні кулі – це особливий вид drones, але вони зазвичай не розглядаються як drones. Те саме стосується ракет і реактивних ранців.

1.2 Огляд сучасних моделей drones

В даний час існує безліч моделей drones. Зростання популярності drones, поява нових технологій їх виготовлення та сфер застосування визначають високі темпи розвитку цієї галузі. На сьогоднішній день вже неможливо розглянути всі існуючі моделі drones, і навіть найпоширеніших. У цій кваліфікаційній роботі виконано огляд характеристик деяких моделей drones, які відображають найбільш загальні риси свого класу та доступні для широкого використання. Спочатку будуть розглянуті невеликі drones, а потім вже великі drones.

1.2.1 Модель drone DelFly Explorer

Дизайн дрону DelFly Explorer натхненний польотом крилатих комах (рисунок 1.16). Крила, що машуть, одночасно створюють підйомну силу і тягу, що забезпечує високу маневреність і велику варіабельність польоту. DelFly II може не тільки летіти у прямому напрямку зі швидкістю 7 м/с, а й «задом наперед» зі швидкістю 1 м/с.



Рисунок 1.16 – DelFly Explorer

Ключовою особливістю конструкції drone DelFly Explorer є конфігурація біплана з двома парами крил, що розташовані одна над одною. Крила працюють у протифазі, що забезпечує більш високу стабільність порівняно з однією парою крил.

Саме конфігурація крила значною мірою визначає аеродинамічну поведінку та має вирішальне значення для льотних характеристик. Поліпшення аеродинамічних характеристик м'якого крила дозволить ще більше зменшити габаритні розміри drone DelFly Explorer, зберігши при цьому його відмінні льотні характеристики та навантаження.

DelFly Explorer має масу 16 грамів (включаючи блок живлення та бортову камеру) та розмах крила 28 см. Кожне крило складається з відносно жорсткого переднього лонжерону з вуглецевого стрижня та тонкої майларової фольги з двома додатковими ребрами жорсткості.

Тяги переднього лонжерона рухаються активно, в той час як фольга крила обертається під час помахів через пасивну деформацію при комбінованих інерційних і аеродинамічних навантаженнях. Орнітоптер DelFly Explorer – це приклад успішних сучасних розробок легких та малогабаритних drones.

1.2.2 Модель drone Hubsan x4

Модель drone Hubsan x4 – це невеликий багатороторний drone, розроблений китайською компанією Hubsan (рисунок 1.17). Цей міні - drone досить простий у конструкції та експлуатації. Він має чотири ротори і може керуватися за допомогою мікроконтролера. Деякі моделі Hubsan x4 оснащені вбудованою камерою для зйомки та записування відео. В даний час drone Hubsan x4 є популярною і дешевою альтернативою більш просунутим моделям. Модель drone Hubsan x4 важить 30 г, має радіус дії близько 100 метрів і може літати протягом 7 хвилин із повністю зарядженою батареєю.

На відміну від більшості інших аналізованих моделей цей drone не має розширених функцій і в основному побудований для рекреаційних цілей.



Рисунок 1.17 – Модель drone Hubsan x4

1.2.3 Модель drone DJI Phantom

Модель drone DJI Phantom – це чотирироторний дрон-квадрокоптер, який в основному призначений для ігор та розваг (рисунок 1.18). Модель drone DJI Phantom поставляється з камерою і може керуватися за допомогою смартфона чи контролера Wi-Fi.

Смартфон також може керувати камерою, робити знімки та записувати відео. Модель drone DJI Phantom може літати зі швидкістю близько 54 км/год та може працювати близько 25 хвилин. Важить ця модель drone DJI Phantom майже 1,4 кг. Запрограмувавши висоту польоту та певні дорожні точки, можна використовувати DJI Phantom і в автономному режимі.

Він здатний автоматично злітати, робити записи, повертатися в задану точку та приземлятися.



Рисунок 1.18 – Модель drone DJI Phantom

1.2.4 Модель drone ScanEagle

Модель drone ScanEagle – це drone з нерухомим крилом, розроблений компаніями Боїнг та Insitu на основі конструкції drone SeaScan. В основному він використовується як інструмент спостереження (рисунок 1.19)



Рисунок 1.19 – Модель drone ScanEagle

Цей drone оснащений оптичною або інфрачервоною камерою та може працювати більше 20 годин. Він має розмах крил 3,1 метра, 1,2 м завдовжки, важить 18 кг і має крейсерську швидкість 139 км/год. Модель drone ScanEagle може бути запущена пневматичною катапультною, а для приземлення використовується спеціальний гак та натягнутий трос. Такий механізм дозволяє обходитися без спеціальної смуги, що вигідно відрізняє ScanEagle від більшості моделей drone з нерухомим крилом.

2 ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ DRONES

Області застосування drones охоплюють широкий спектр їх застосувань. Легкі drones можуть виконувати як зовнішні, так і внутрішні місії за дуже складних умов. Сучасні drones можуть бути оснащені різними датчиками та камерами для виконання:

- розвідувальних;
- спостережних;
- моніторингових місій.

Застосунки drones можна класифікувати по-різному. Вони можуть характеризуватись:

- типом місій – військові чи цивільні;
- областю зон польоту – зовні приміщень чи всередині них;
- простором, в якому здійснюється рух – земля, повітря, космос, надводні чи підводні місії.

Сучасні drones мають безліч застосувань у нашому повсякденному житті та їх кількість постійно зростає. У майбутньому застосування drones буде розширюватися в залежності від їх типів.

Наприклад, drones можуть використовуватися для:

- пошуково-рятувальних місій;
- захисту довкілля;
- поштового розсилання та доставки;
- виконання місій в океанах або на інших планетах.

Ці drones можуть забезпечити швидкий огляд цільової області без будь-якої небезпеки для людини. Сучасні drones, які оснащені інфрачервоними камерами, можуть отримувати зображення навіть у темряві. Мікро-drones через свої зменшені розміри можуть використовуватися для розвідки всередині будівель та невеликих приміщень. Невеликі drones в даний час є єдиним способом «заглянути» всередину будинків або місць катастрофи.

Вони можуть нести спеціальні датчики для виявлення:

- біологічних;
- ядерних;
- хімічних;
- інших загроз.

2.1 Цивільне застосування drones

Застосування drones у цивільних цілях забезпечує їм широкий ринок збуту і є потужним стимулом для досліджень у цій галузі. До найпопулярніших застосунків слід віднести:

- фото та відеозйомка об'єктів та масових заходів;
- доставка дрібних вантажів;
- підтримка заходів щодо подолання наслідків стихійних лих та рятувальних операцій у важкодоступних місцях – у горах, у печерах, у морі;
- археологічні дослідження;
- моніторинг безпеки об'єктів;
- спостереження за життям тварин у природному середовищі;
- прогнозування погоди на локальному рівні.

Аерофотозйомка – одне з найуспішніших застосувань drones (рисунок 2.1). Ця технологія стала можливою завдяки малогабаритним цифровим камерам високої роздільної здатності, які забезпечують отримання якісних фотографій заданих регіонів. Існує можливість і потокової передачі відео під час польоту по Wi-Fi. Необхідно відзначити, що ця функція в деяких країнах законодавчо обмежена, оскільки її використання призводить до порушення прав громадян, за якими ведеться спостереження. Коректне використання потокового відео дозволяє оператору стежити за переміщеннями drones, не порушуючи законодавство. Аерофотозйомка все ширше використовується в кіноіндустрії та ігрових додатках.



Рисунок 2.1 – Приклад аерофотозйомки за допомогою drones

Застосування drones для доставки невеликих вантажів споживачам – відносно нова, але дуже важлива область. Ця концепція одна із революційних ідей сучасності. Використання транспортних drones скорочує терміни доставки та підвищує продуктивність системи, знижує частку ручної праці при доставці, наприклад, піци, поштової кореспонденції тощо. Сучасні drones надають послуги суспільству, але все ж таки в обмеженому обсязі. Оператор DHL тестує можливість відправлення та доставки посилок за допомогою drones. Компанія Amazon використовує нові технології drones, щоб забезпечити надання послуг з доставки за 30 хвилин. Особливий інтерес викликають можливості drones пересуватися незалежно від рівня дорожнього трафіку. Очікується, що ці види цивільних послуг здійснюватимуться в майбутньому переважно за допомогою drones. Застосування drones для подолання наслідків стихійних лих демонструє їхню високу ефективність. Особливо це проявляється в перші моменти після катастрофи, коли спостерігається анархія управління внаслідок вкрай мізерної інформації про подію, що відбулася. У цій ситуації drones відіграють важливу роль у зборі відомостей про масштаби катастрофи, передбачуваних місцях локалізації постраждалих. Застосовувані в подібних операціях drones мають спеціальні камери з високою роздільною здатністю, що дозволяє використовувати знімки, що одержуються за їх допомогою, безпосередньо для координації дій рятувальних служб.

2.1.1 Застосування drones у рятувальних операціях

Удосконалення конструкцій та електроніки уможливило застосування drones безпосередньо в ході рятувальних операцій і навіть для надання медичної допомоги (рисунок 2.2 та рисунок 2.3).



Рисунок 2.2 – Застосування drones безпосередньо під час рятувальних операцій



Рисунок 2.3 – Застосування drones для надання медичної допомоги

Вони можуть доставляти продовольство та медикаменти тим людям, які опинилися у зоні недоступною для рятувальних команд, щоб постраждалі

змогли дочекатися прибуття допомоги. У багатьох випадках drones є єдиним рішенням, яке можна використовувати для забезпечення необхідними продуктами людей, які виявилися заблокованими в печерах чи зруйнованих будинках. Крім того, drones можуть підтримувати відеозв'язок із постраждалими, забезпечуючи можливість проведення консультацій з медиками та надання психологічної допомоги постраждалим (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Приклад підтримування відеозв'язку з постраждалими через drones

2.1.2 Застосування drones у археологічних дослідженнях

Ще недавно вчені змушені були витратити багато часу та сил на археологічні дослідження. Складання плану реконструкції історичних пам'яток також потребує ретельного обстеження, що, з урахуванням аварійного стану об'єктів, пов'язане з небезпеками. В даний час для цієї роботи використовуються drones. Це простіше, оскільки вони доставлятимуть необхідну інформацію про археологічні пам'ятки за допомогою аерофотозйомки. Археологічні дослідження, які проводяться за допомогою drones, органічно доповнюються відомостями, які отримують від дистанційно керованих апаратів. Успішними прикладами можуть бути дослідження внутрішніх просторів піраміди Хеопса і відкриття загублених у джунглях міст майя.

2.1.3 Географічне картографування за допомогою drones

Сучасні drones мають величезне значення і в галузі тривимірного географічного картографування, продукти якого сьогодні широко використовуються в логістиці, туріндустрії, службами екстреної допомоги. (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Приклад тривимірного географічного картографування за допомогою drones

На земній кулі є безліч областей та окремих місць, які недоступні людині. Це може бути небезпечна берегова лінія, недоступні вершини гір, болотисті місцевості. Крім побудови двомірної карти місцевості, застосування drones дозволяє створювати і 3-D карти досліджуваного простору. Географічне картографування за допомогою drones дуже важливе і для забезпечення повного покриття території. В даний час і в геології все ширше використовують картографічні дрони для збору необхідної інформації. При цьому, крім звичайних камер, drones можуть бути оснащені й іншими сенсорами.:

- радарами;
- лідарами;
- ІЧ-камерами;
- радіометрами.

2.1.4 Сучасні drones на охороні здоров'я та безпеки людей

Сучасні drones є передовими технологічними пристроями, які можуть бути використані для захисту здоров'я людини у випадках, пов'язаних з високим ризиком зараження медичного персоналу. До такого ризику призводять інфекційні захворювання, спричинені застійною забрудненою водою з комарами та домашніми мухами. Через таких крихітних комарів лихоманка Денге поширена в 110 країнах, серед яких Пакистан, Індія, Таїланд, Камбоджа, Шрі-Ланка та Бразилія. Лихоманка Денге – це добре відома хвороба, яка вражає населення цих країн і поширюється дуже швидко, тому дуже важливо боротися з нею. Сучасні drones використовуються як для виявлення природних та побутових вогнищ лихоманки Денге – ставків та водойм з брудною водою, так і для подальшого вжиття швидких заходів, які дозволяють їх локалізувати (рисунок 2.6).

Фізична охорона житлових та виробничих об'єктів – є важливим фактором особистої та суспільної безпеки, невід'ємним атрибутом сучасності (рисунок 2.7). Її забезпечення без технічних засобів, що включають складні програмно-апаратні комплекси та штат кваліфікованих співробітників, неможливе.



Рисунок 2.6 – Приклад застосування drones для виявлення природних та побутових вогнищ лихоманки Денге – ставків та водойм з брудною водою

Проте, реалізація такого підходу потребує високих фінансових витрат та ефективна для великих об'єктів.



Рисунок 2.7 – Приклад охорони житлових об'єктів за допомогою drones

Якщо замість захищеного периметра використовувати регулярний огляд території за допомогою стаціонарних або мобільних камер, витрати можна істотно скоротити. Причому мобільні камери спостереження, що переміщуються за допомогою drones, дозволяють організувати охоронні заходи на будь-яких об'єктах, незалежно від інфраструктури, що вже діє. Подібні рішення застосовуються і для забезпечення безпеки заходів, які проводяться навіть на національному рівні. Сьогодні їхня повітряна інспекція вже є обов'язковою, оскільки дозволяє зафіксувати будь-які відхилення від встановленого регламенту в початковий момент їх виникнення.

2.1.5 Складання прогнозу погоди за допомогою drones

Звичайно, для складання прогнозів погоди на глобальному рівні сьогодні використовують цілу мережу метеосупутників, наземні станції

спостереження, метеозонди та потужні суперкомп'ютери. Але і drones роблять свій вагомий внесок у цей процес. Особливо це помітно на локальному рівні та для дослідження закономірностей виникнення швидкопротікаючих атмосферних процесів – ураганів, торнадо та смерчів. У цьому випадку drones є економічним рішенням для оперативного прогнозування погоди.

Сучасні drones можуть завчасно виявляти шторм, що насувається, а для уточнення його кордону можуть бути запущені додаткові drones. Для цього використовуються «swarm-drones», які можуть спілкуватися один з одним, проводячи перехресний аналіз цієї галузі physical environment, збираючи більше даних, використовуючи різні моделі мобільності відповідно до потреб. Більш легкі, малобюджетні drones скидаються безпосередньо в зону шторму, і їх неминучі втрати не є проблемою, оскільки вони встигають передати зібрану інформацію до аварії.

2.1.6 Drones на службі сільського господарства

Сучасний світ характеризується вкрай нерівномірним розподілом ресурсів та рівнем розвитку країн. Оскільки харчування людей залежить від урожайності сільськогосподарських культур, то бідні країни неспроможні забезпечити населення продовольством. Традиційні методи землеробства не відповідають вимогам ринку, а населення швидко зростає, особливо у слаборозвинених країнах.

Питання забезпечення їжею всіх людей незалежно від їхньої національності та громадянства харчування є найважливішими на міжнародному рівні. Їх рішення пов'язують із необхідністю підйому продуктивності сільського господарства. Це складне завдання, пов'язане з проблемами впливу на фізичне середовище, необхідністю скорочення обсягу стічних вод, усунення хімічних викидів і викидів парникових газів. Сільське господарство є перспективною областю, яка може бути покращена за

допомогою сучасних технологій. Нові цифрові технології сприятимуть вирішенню цих проблем та налагодженню належних процесів ведення сільського господарства шляхом впровадження інтелектуального землеробства. Важливу роль у цьому можуть відіграти технології, що ґрунтуються на застосуванні drones. Наприклад, механізм аналізу ґрунту, техніка обприскування посівів, моніторинг посівів, рекогносцировка іригаційної системи повинні проводитися drones, що дозволить запобігати загибелі посівів та зниженню врожайності. Моніторинг сільгоспугідь за допомогою drones є початковим етапом нової технології, що застосовується для підвищення врожаю (рисунок 2.8).

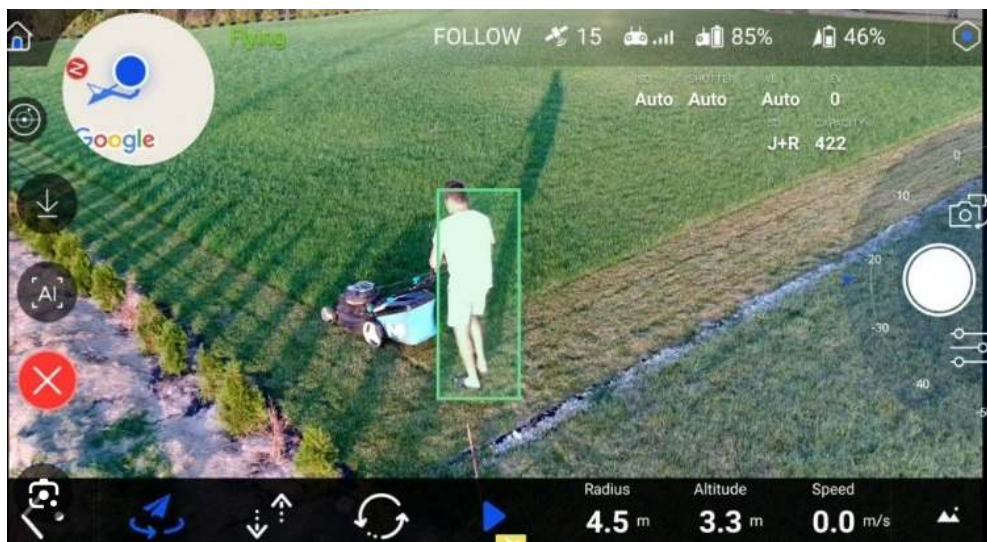


Рисунок 2.8 – Моніторинг сільгоспугідь за допомогою drones

Він включає створення тривимірних відображень для оперативного аналізу ґрунту. Установка на керовані drones сенсорів для аналізу ґрунту забезпечує дані, які можуть бути використані для регулювання систем зрошення, управління рівнем азоту у ґрунті. Аграрії можуть розрахувати оптимальну дозу добрив, які необхідні в даний момент рослинам, причому зробити такий розрахунок індивідуально для кожної ділянки.

Завдяки цьому механізму ґрунт отримує необхідні поживні речовини, а

врожайність збільшиться за мінімальних витрат добрив. Ці переваги можна отримати і при локальному поливанні полів. Економія води у посушливих регіонах дає не менший фінансовий ефект. Різні захворювання сільськогосподарських культур можуть значно знизити їхній урожай або навіть повністю його знищити. Для профілактики хвороб необхідно своєчасно виявляти бактеріальні чи грибкові інфекції.

Для цього потрібно проводити сканування посівів для оцінки необхідності негайного реагування на проблему, що виникла, шляхом застосування відповідних препаратів. Традиційний метод оцінки дає точні прогнози, але вимагає дуже високих витрат часу та кваліфікованих кадрів, що важко застосувати для великих площ посівів. Для непрямой оцінки стану здоров'я посівів, не пов'язаної з необхідністю збору біологічного матеріалу, можна використовувати аерофотознімання у видимому та інфрачервоному кольорі.

Сучасні drones є найкращим варіантом реалізації такого підходу. Сканування сільськогосподарських культур, що проводиться з їх допомогою, дозволяє легко виявляти осередки зараження в початковій стадії захворювання і вживати належних агрономічних заходів.

Сучасне електронне обладнання може використовуватися для виміру з великої відстані висоти рослин. Якщо встановити ультразвукові або лазерні сенсори на борту drones, то вони зможуть швидко та точно виміряти висоту рослин щодо рельєфу та ландшафту. Необхідно відзначити, що такий тип сканування практично недоступний для наземних роботів, оскільки важко мінімізувати їх вплив на ґрунт та пагони. Однак він легко інтегрується з drones, які можуть виконувати сканування великих ділянок землі для оцінки необхідної кількості хімікатів та гербіцидів залежно від густини посадки та їх росту рослин. Після цього drones можуть використовуватися і для безпосереднього запилення рослин, причому польоти на низькій висоті дозволяють мінімізувати кількість рідини, що розпилюється.

Це знижує витрати на хіміобробку рослин, а крім того, зменшує кількість хімічних речовин, що проникають у ґрунтові води. За оцінками експертів, розпилення, яке може бути виконане за допомогою drones, у п'ять разів швидше, ніж ручне або традиційне обладнання. Навіть при дуже хорошому догляді за посівами швидкість їхнього зростання на різних ділянках поля відрізнятиметься.

Для підвищення загальної врожайності необхідно своєчасно виявляти такі проблемні ділянки. Традиційна система моніторингу посівів не підходить для великих ділянок через високу трудомісткість, а супутникова зйомка, хоч і є чудовою формою спостереження, в цьому застосунку дає низьку якість зображень, яка не може забезпечити необхідну точність рішення.

Сучасні drones з мультиспектральними або тепловими датчиками можуть визначати поточні потреби рослин, яка частина поля суха і потребує поліпшення (рисунок 2.9).

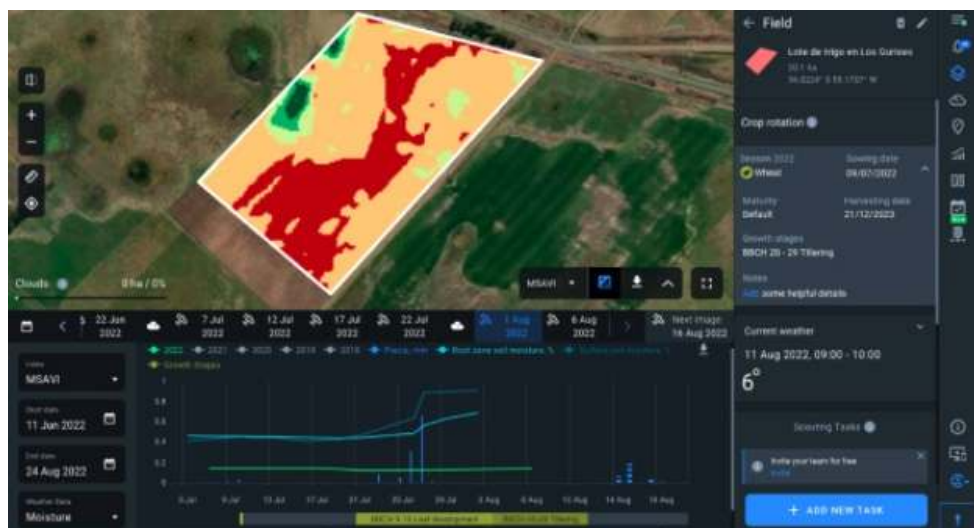


Рисунок 2.9 – Приклад застосування drones з мультиспектральними або тепловими датчиками

Крім того, в процесі дозрівання врожаю, drones можуть проводити обчислення індексу листя. Цей індекс деталізує практичну концентрацію та

фізичний стан польових культур та показує загальну енергію та температуру, що виділяється рослинами. Отже, drones відіграють важливу роль у моніторингу стану посівів та збиранні високоякісних зображень, необхідних для прийняття правильного рішення про необхідність додаткового поливу та про час початку збору врожаю на різних ділянках.

Спостереження за худобою за допомогою drones є надійним рішенням, оскільки вони легко сканують велику площу для підрахунку тварин протягом усього процесу відеозйомки. Тварин можна відстежувати, аналізувати їхню поведінку за допомогою записаного відео або зображень. На жаль, ще багато фермерів, обговорюючи можливості застосування drones для спостереження за худобою, вважають, що це скоріше наукова фантастика, ніж реальна практика. Відстеження поголів'я худоби на величезних фермах є дуже складним, проте вже сьогодні drones є новим перспективним рішенням для спостереження за молочною худобою. Сучасні drones можуть також контролювати наявність води в напувалках та корму для худоби. Отже, ці крихітні пристрої можуть заощадити час фермерів і позбавити їх стомлюючої роботи. Охорона худоби від злодіїв на ранчо може бути також організована за допомогою drones, які відстежують кількість тварин на заданій території. Для цього drones повинні бути оснащені тепловими датчиками, за допомогою яких можна контролювати здоров'я тварин.

2.1.7 Дослідження життя дикої природи за допомогою drones

Швидка зміна клімату, забруднення навколишнього середовища та антропогенний вплив мають вкрай негативний вплив на умови проживання диких тварин. Спостереження за лісами, озерами та річками дозволяють оцінювати стан природного середовища проживання для всього живого. Поєднання із спостереженнями за життям тварин дозволяє вченим знайти відповіді на багато питань, наприклад, чому мільйони птахів змушені змінювати традиційні шляхи міграцій. Пішохідні маршрути полегшують

вивчення поведінки птахів, аналіз даних та збирання необхідної статистики. Однак проведення аерофотозйомки за допомогою drones дозволяє виконувати цю операцію, не порушуючи життя птахів. Крім того, drones можна використовувати навіть у темряві з тепловізійними камерами та датчиками для спостереження за теплокровними тваринами у будь-який час доби. Такі дослідження проходять у різних заповідниках та парках.

2.1.8 Забезпечення безпеки за допомогою drones

Інтенсивне впровадження drones відбувається і в органах безпеки. «Swarm-drones» можуть бути швидко розгорнуті в районах підвищеної небезпеки, до яких належать:

- мегаполіси;
- аеропорти;
- гідротехнічні об'єкти;
- промислові об'єкти.

Це дає змогу знизити загрозу реалізації терористичного акту. Однак слід законодавчо обмежувати використання drones вуайєристами та папарацці, спрямоване на отримання зображень груп мешканців у їх резиденціях або в інших місцях, що порушує їхню конфіденційність.

2.2 Варіанти функціональних drones

2.2.1 Пошуково-рятувальні drones

Одним із важливих застосувань drones є їх використання у пошуково-рятувальних місцях. У пошуково-рятувальних операціях життєво важлива кожна секунда. Для того, щоб функціонувати якомога ефективніше, важливо мати можливість отримати швидкий огляд ситуації. В той час, як

пілотованим літакам і гелікоптерам потрібні час, щоб бути готовими до виконання місії, drones можуть бути введені в дію негайно, без будь-яких втрат часу. Внаслідок важливої ролі drones у пошуково-рятувальних місіях вони привернули увагу багатьох дослідників. З цією метою було розроблено та виготовлено декілька drones для виконання такого роду місій (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Застосування drones у пошуково-рятувальних місіях

2.2.2 Захист навколишнього середовища за допомогою drones

Безпілотники по праву вважаються життєво важливою частиною місій, спрямованих на виконання екологічних заходів, таких як управління національними парками та сільськогосподарськими угіддями, відстеження тварин у дикій природі у всіх можливих довкіллях, спостереження за наслідками зміни клімату та моніторинг біорізноманіття різних екосистем – від тропічних лісів до океану (рисунок 2.11). Подібні drones можуть використовуватися для розпізнавання та розслідування стихійних лих, включаючи лісові пожежі та лавини у горах.



Рисунок 2.11 – Сучасні drones охороняють physical environment

2.2.3 Доставка пошти за допомогою drones

Останнім часом застосування drones службами доставки стало серйозно цікавити різні компанії по всьому світу (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Застосування drones у поштової доставці

Наприклад, Amazon і Google у США, поштова служба DHL у Німеччині та багато інших компаній використовують drones для доставки посилок клієнтам. Сучасні drones, спроектовані для доставки посилок, злітають та приземляються вертикально, тому не вимагають спеціальних майданчиків. Вони використовують супутникову навігацію для доставки вантажів безпосередньо на адресу клієнта.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ DRONES ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ФІЗИЧНИМ НЕОРГАНІЗОВАНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Основними причинами, що обмежують застосування малих drones, є відносно невеликий льотний час та діапазон дальності зв'язку при дистанційному управлінні. Обидві вони пов'язані з енергетикою апаратів, акумуляторними батареями. Невеликі розміри та вага акумуляторної батареї призводять до їх обмеженої ємності, що є критичною проблемою для тих областей застосування drones, де важлива потужність передавача. Для підвищення льотної витривалості drone може бути використаний автономний режим польоту, що не потребує енергетичних витрат на зв'язок із оператором. Для розрахунку параметрів польоту, необхідних системі управління, у кваліфікаційній роботі будується математична модель, що дозволяє оцінювати енергетичні витрати на реалізацію заданої траєкторії руху drones при дії вітру – в якості фізичного неорганізованого середовища. При побудові математичної моделі руху drone необхідно враховувати безліч різних факторів, але дослідження, що проводяться, дозволяють обмежитися досить простою моделлю і не розглядати його аеродинаміку. При цьому основна увага буде націлена на оцінку впливу точності показань сенсорів на траєкторію руху drone, що формується. Така постановка задачі дозволяє вибрати в якості середовища моделювання MATLAB, що зумовлено його функціональністю.

Умови та обмеження, що враховуються при побудові моделі drone:

- на борту drone є мікроконтролер, який здатний підтримувати задану швидкість руху drone протягом заданого часу;
- drone не має зв'язку з оператором, і рух drone здійснюється в автономному режимі;
- drone має датчик, що визначає напрямок руху drone, наприклад, осьовий гіроскоп;

- у точці запуску є обладнання, що дозволяє визначати швидкість та напрямок вітру;
- всі сенсори, що використовуються, визначають параметри з відомою максимальною похибкою;
- точність бортового таймера вважається абсолютною;
- всі параметри руху drone передаються на борт drone у точці запуску;
- енергетичні витрати на переміщення drone у вертикальній площині не враховуються.

Зазначимо, що сучасні мікроконтролери, які управляють роторами двигунів drone, це інтелектуальні пристрої, що забезпечують різні режими польоту. Зокрема, це стосується розгону та гальмування при зльоті та посадці. Це дає можливість описувати в моделі рух drone за допомогою лінійних рівнянь, що справедливо для обмеженої швидкості польоту drone – менше 10 м/с та швидкості вітру до 5 м/с.

Розглянемо основні співвідношення, що використовуються під час створення моделі. На рисунку 3.1 показано траєкторію польоту drone за ідеальних умов, тобто у відсутності вітру та абсолютної точності всіх сенсорів.

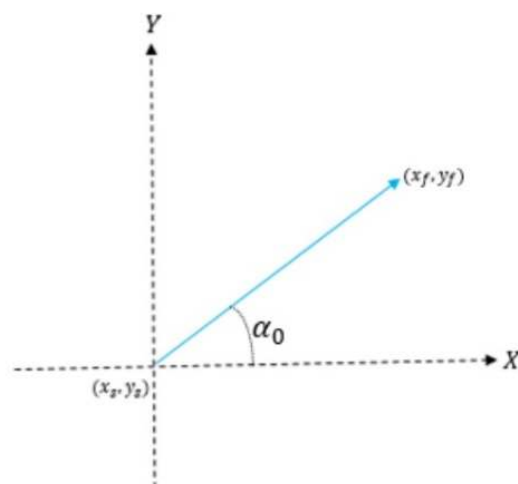


Рисунок 3.1 – Траєкторія руху drone в ідеальних умовах

Введемо такі позначення:

X_s, Y_s – координати початкової точки траєкторії, точка запуску drone;

X_f, Y_f – координати кінцевої точки траєкторії руху drone, цільової точки;

α_0 – розрахунковий кут нахилу траєкторії руху drone.

Обчислення значень швидкості об'єкта щодо осей X та Y за відсутності вітру (рисунок 3.2) може бути визначено наступним чином:

$$D_X = (X_F - X_S), \quad (3.1)$$

$$D_Y = (Y_F - Y_S), \quad (3.2)$$

$$\alpha_0 = \arctg \cdot (D_X / D_Y). \quad (3.3)$$

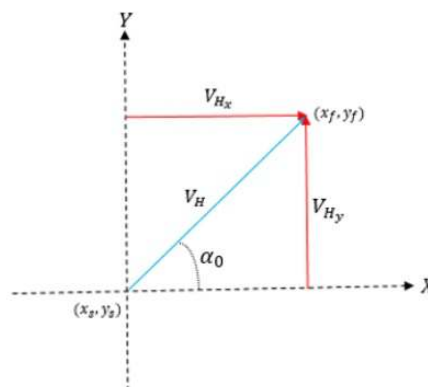


Рисунок 3.2 – Обчислення значень швидкості об'єкта щодо вісей X та Y

Розрахункові співвідношення:

V_H – власна швидкість польоту drone;

$V_{Hx} = V_H * \cos(\alpha_0)$ – значення швидкості об'єкта вздовж осі X;

$V_{Hy} = V_H * \sin(\alpha_0)$ – значення швидкості об'єкта вздовж осі Y.

Розрахунок траєкторії руху drone в ідеальних умовах не викликає труднощів, проте не може використовуватися на практиці, оскільки не

враховує параметри середовища, а саме швидкість та напрямок вітру. На рисунку 3.3 показано параметри, що характеризують рух вітру. Зазначимо, що у кваліфікаційній роботі не враховуються вертикальний рух повітряних мас та турбулентність, що цілком застосовно до коротких місій.

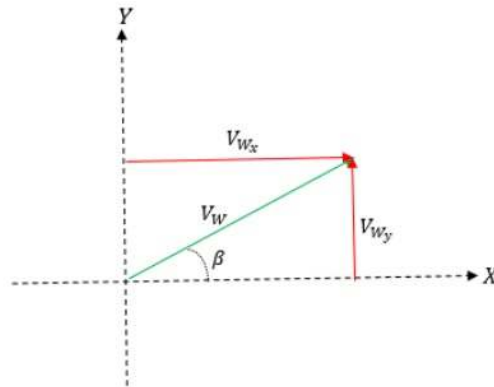


Рисунок 3.3 – Напрямок руху вітру

Розрахункові співвідношення:

V_W – швидкість вітру;

β – кут вітру;

$V_{Wx} = V_W * \cos(\beta)$ – швидкість вітру вздовж осі X;

$V_{Wy} = V_W * \sin(\beta)$ – швидкість вітру вздовж осі Y.

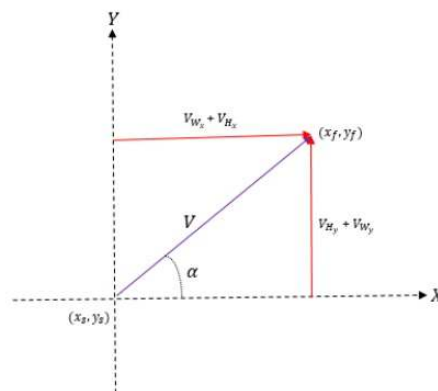


Рисунок 3.4 – Реальна траєкторія руху drone

Для розрахунку параметрів траєкторії руху drone при дії вітру (рисунок 3.4) введемо такі позначення:

V – швидкість drone щодо поверхні Землі;

V_x – швидкість drone щодо осі X ;

V_y – швидкість drone щодо осі Y ;

α – розрахунковий кут руху drone з урахуванням швидкості вітру.

Далі необхідно визначити розрахунковий кут напрямку руху drone – (α).

Розраховуватимемо його виходячи з того, що drone повинен досягти кінцевої точки траєкторії з координатами X_f, Y_f .

Проведемо розрахунок кута руху drone. Уявимо рух drone, як незалежне переміщення вздовж осей X та Y . Оскільки час руху drone (t) однаковий, то буде справедливо наступне співвідношення:

$$\frac{(V_{H_x} + V_{W_x}) \cdot t}{V_H \cdot \cos(\alpha) + V_W \cdot \cos(\beta)} = \frac{(V_{H_y} + V_{W_y}) \cdot t}{V_H \cdot \sin(\alpha) + V_W \cdot \sin(\beta)}, \quad (3.4)$$

або

$$\frac{D_x}{V_H \cdot \cos(\alpha) + V_W \cdot \cos(\beta)} = \frac{D_y}{V_H \cdot \sin(\alpha) + V_W \cdot \sin(\beta)}, \quad (3.5)$$

де $D_x = X_f - X_s$ – значень швидкості drone щодо осі X ;

$D_y = Y_f - Y_s$ – значень швидкості drone щодо осі Y .

Виконавши математичні перетворення одержимо, що шуканий кут α дорівнює

$$\alpha_0 = \arcsin \cdot \left(\frac{C}{R} \right) + \theta. \quad (3.6)$$

Використовуючи знайдений параметр, ми отримуємо рівняння руху drone:

$$\begin{cases} X(t) = X_S + (V_H \cdot \cos(\alpha) + V_W \cdot \cos(\beta)) \cdot t \\ Y(t) = Y_S + (V_H \cdot \sin(\alpha) + V_W \cdot \sin(\beta)) \cdot t \end{cases} \quad (3.7)$$

де: $X(t)$ – поточне значення координати X ;

$Y(t)$ – поточне значення координати Y ;

t – час з моменту старту drone.

Ці рівняння лежать в основі математичної моделі руху drones при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем, що досліджується у кваліфікаційній роботі. На рисунку 3.5 показаний приклад траєкторії руху drones.

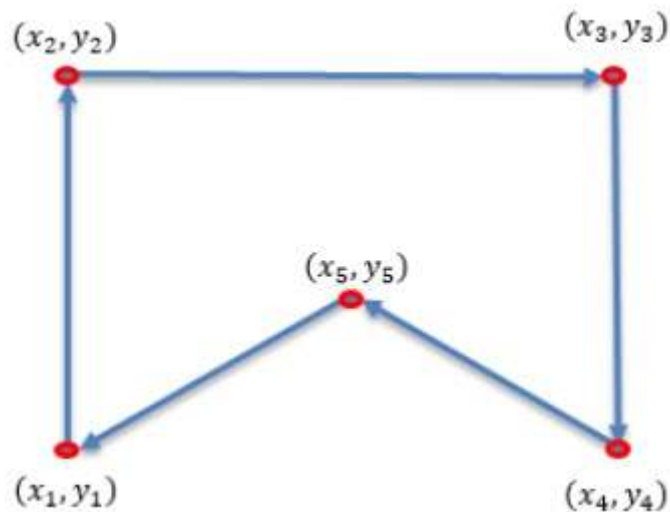


Рисунок 3.5 – Приклад траєкторії руху drones

Під час руху drones в умовах вітрового навантаження, drone слідуватиме по найкоротшій відстані між початковою та кінцевою точками, використовуючи скориговане значення кута руху.

Далі представлена реалізація моделі руху drones у середовищі Matlab при дії вітру.

Нехай задана послідовність маршрутних координат у вигляді списку: $\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_K, Y_K)\}$. Для кожної пари координат знайдемо значення кута α напряму руху drones, використовуючи співвідношення (3.6) і вважаючи, що $X_S = X_i, Y_S = Y_i, X_F = X_{i+1}, Y_F = Y_{i+1}$. У разі замкнутої траєкторії для останньої ділянки: $X_S = X_K, Y_S = Y_K, X_F = X_1, Y_F = Y_1$. Час руху drones на ділянці знаходимо за формулою (3.5).

Перед запуском у керуючу систему drones вводяться розраховані значення кутів та часи руху на кожному відрізку траєкторії. Зазначимо, що ця стратегія реалізує рух drones по найкоротшій відстані між усіма парами точок.

Аналітичний розрахунок траєкторії руху drones. Визначимо значення всіх параметрів моделі для лінійної траєкторії руху drones.

Для розрахунку траєкторії руху drones необхідно знайти розрахунковий кут руху drones α . Для їх визначення скористаємося співвідношеннями (3.5), (3.6) и (3.7).

Таблиця 3.1 – Значення параметрів математичної моделі

Параметр	Значення
V_H	6 м/с
V_W	0,5 м/с
β	0°
X_S, Y_S	0,0 (м)
X_F, Y_F	0,100 (м)

Наведемо результати обчислень:

$$\alpha_0 = \arcsin \cdot \left(\frac{C}{R}\right) + \theta = \arcsin \cdot \left(\frac{100}{500}\right) + 1.5708 = 1.7722 .$$

Використовуючи знайдене значення кута руху дроне α , ми можемо отримати координати граничних точок траєкторії з урахуванням можливих помилок сенсорів. Знайдемо граничні точки сегмента лінійної траєкторії, використовуючи співвідношення (3.7):

$$x_1 = 0 + (5.5 + \cos \cdot (1.807) + 0.9 \cdot \cos \cdot (0.087)) \cdot 20.41 = -7.978,$$

$$y_1 = 0 + (5.5 + \sin \cdot (1.807) + 0.9 \cdot \sin \cdot (0.087)) \cdot 20.41 = 110.8,$$

$$x_2 = 0 + (5.5 + \cos \cdot (1.737) + 1.1 \cdot \cos \cdot (0.087)) \cdot 20.41 = 3.76,$$

$$y_2 = 0 + (5.5 + \sin \cdot (1.737) + 1.1 \cdot \sin \cdot (0.087)) \cdot 20. = 112.7,$$

$$x_3 = 0 + (4.5 + \cos \cdot (1.737) + 1.1 \cdot \cos \cdot (-0.087)) \cdot 20.41 = 7.149,$$

$$y_3 = 0 + (4.5 + \sin \cdot (1.737) + 1.1 \cdot \sin \cdot (-0.087)) \cdot 20.41 = 88.63,$$

$$x_4 = 0 + (4.5 + \cos \cdot (1.807) + 0.9 \cdot \cos \cdot (-0.087)) \cdot 20.41 = -3.2,$$

$$y_4 = 0 + (4.5 + \sin \cdot (1.807) + 0.9 \cdot \sin \cdot (-0.087)) \cdot 20.41 = 87.7.$$

На рисунку 3.6 показано траєкторію руху дроне до граничної точки, отриманої за розрахунковими даними.

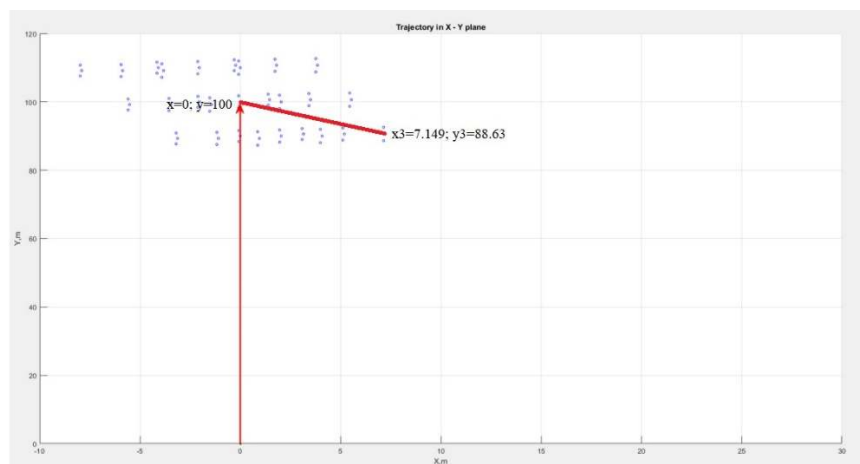


Рисунок 3.6 – Граничні точки сегмента лінійної траєкторії руху дроне за розрахунковими даними

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було досліджено математичну модель руху drones при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем.

Область застосування drones неухильно розширюється. Цьому сприяє активний розвиток елементної бази електроніки та поява дешевих сенсорів, що забезпечують автономність drones. Характерною особливістю сучасного етапу розвитку drones можна вважати наявність сталого попиту на drones у всіх класах – від надлегких моделей до важких drones. Це ефективно стимулює наукові дослідження, пов'язані із удосконаленням drones.

Проведений огляд існуючої класифікації дронів включає клас малих і надмалих дронів, однак в якості їх основної області застосування вважають ігрові додатки для домашнього використання.

Проведений огляд класифікації рівнів автономності дронів відносить до вищого рівня повністю автономні дрони. При цьому оператор тільки формує конкретні завдання дронів і в подальшому не взаємодіє з ними. Для забезпечення такого рівня автономності в дрони використовують інтегровану систему сенсорів у поєднанні з механізмами глобального супутникового позиціонування, що характерно для важких дронів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ткачов В.М., Токарев В.В., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «Мультикоптер-сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. №2(42). - С.154-157
2. Пат. 118921 Україна, МПК Н04W 64/00. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією / В.М. Ткачов, В.В. Токарев - № u201704085; заявл. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017. Бюл. № 16. 5с.
3. Радченко В.А., Токарев В.В., Ткачев В.М. Мобільна система передачі даних на базі динамічно реконфігурованих мультикоптерних пристроїв / В.О. Радченко, В.В. Токарев, В.М. Ткачов // Проблеми інформатизації: тези доповідей V - наук. - техн. конф., 13 - 15 лист. 2017р. - Харків, 2017. - С.36.
4. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного НВЧ випромінювання: звіт про НДР (заключ.) № держреєстрації 0117U003916.: Ф76/109-2017 / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки; керівник Г. И. Чурюмов. – Харків, 2017. – 116 с.
5. Ruban I.V., Churyumov G.I., Tokarev V.V., Tkachov V.M. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / I.V. Ruban, G.I. Churyumov, V.V. Tokarev, V.M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security: (ITS 2017). CEUR Workshop Processing., 30 nov. 2017 y. - Kyiv, 2017. - P. 105-111.
6. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariev V., Nannan W. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / A. Serkov, V. Kravets, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev, W.

Nannan // The 10h IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: (DESSERT'2019)., 5-7 june, 2019 y. - Leeds, 2019. - P.26 - 29.

7. Серков О. А., Пустовойтов П. Є., Яковенко І. В., Лазуренко Б. О., Чурюмов Г. І., Токарев В. В., Наннан Ванг. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами. / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019. - Т.3, №2. - С.22-27.

8. Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І., Токарев В.В. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів / О.А. Серков, В.В. Князев, Б.О. Лазуренко, І.В. Яковенко, Г.І. Чурюмов, В.В. Токарев // Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (ЕМС-2019):збірник наукових робіт четвертої міжн. наук.-техн. конф., 24 жовт. 2019 р. - Харків, 2019. - С. 55-57.

9. Krivoulya G., Tokariiev V., Ilina I, Shcherbak V. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic / G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Ilina, V. Shcherbak // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T), 06-09 oct. 2020y. - Kharkiv, 2020. - P.197 - 201.

10. Krivoulya G., Tokariiev V., Ilina I., Lebediev O., Shcherbak V. Algorithm of Iterations of Distribution of Subtasks Between «S-Bot» in One «Swarm-Bot» System // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2022). CEUR Workshop Proceedings., 12-13 may. 2022 y. - Gliwice, Poland. - P. 1531-1541.

11. Koshevoy N., Ilina I., Tokariiev V., Malkova A., Muratov V. Implementation Of The Gravity Search Method For Optimization By Cost Expenses Of Plans For Multifactorial Experiments // Radioelectronic and Computer Systems. – 2023. Vol. 1(105). - P. 23-32. Doi: 10.32620/reks.2023.1.02

(Scopus).

12. Кривуля Г.Ф., Токарев В.В., Ільїна І.В., Кравець В.Є. Взаємодія між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system у фізичному неорганізованому середовищі. // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2023. №1(71). - С.108-111. Doi: 10.26906/SUNZ.

13. Krivoulya G., Koshevoy N., Tokariev V., Ilna I., Dubinsky D. Solving the Task of Topological Formation Intelligent Mobile «S-bots» for One «Swarm-bot» System // Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2023). CEUR Workshop Proceedings., 20-21 april. 2023 y. - Kharkiv, Ukraine. - pp. 273-282.

14. Токарев В.В., Жемір О.В. Математична модель руху «s-bot» при взаємодії з фізичним неорганізованим середовищем / В.В.Токарев, О.В. Жемір // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: збірник тез доповідей, 20 вер. 2023р. - Тернопіль: 2023. - випуск 80. - С.88 - 89.