

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Використання машинного навчання для модернізації
FPV-дронів»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерна інженерія
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело*

(підпис)

Катерина БРИЛЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав:	здобувачка вищої освіти гр. <u>КІД-41</u> <u>Катерина БРИЛЬ</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: науковий ступінь, вчене звання	<u>Ігор БУЧЕНКО</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Рецензент: науковий ступінь, вчене звання	_____ Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою Наталія ЛАЩЕВСЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«_____» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Бриль Катерина Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Використання машинного навчання для модернізації FPV-дронів

керівник кваліфікаційної роботи Ігор БУЧЕНКО,

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від
«27» лютого 2024р. № 36

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «3» червня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: FPV-дрони; Безпілотні літальні апарати; машинне навчання; принцип обертального руху; гіпотеза неперервності середовища; принцип Бернуллі; динаміка польоту; траскторний рух; симулятори польоту дронів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Класифікація та принципи застосування fpv-дронів

2. Дослідження та аналіз технічної конфігурації fpv-дронів

3. Дослідження використанням машинного навчання для модернізації fpv-дронів

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація

6. Дата видачі завдання «27» лютого 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	28.02-22.03.2024	Виконано
2	Обробка матеріалу	23.03-05.04.2024	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	06.04-10.04.2024	Виконано
4	Дослідження проблемних питань	11.04-30.04.2024	Виконано
5	Висновки за результатами аналізу	04.05-08.05.2024	Виконано
6	Розробка презентації	09.05-11.05.2024	Виконано
7	Передзахист	14.05-17.05.2024	Виконано
8	Здача в деканат	27.05-3.06.2024	Виконано

Здобувачка вищої освіти

(підпис)

Катерина БРИЛЬ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ігор БУЧЕНКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 64 стор., 22 рис., 31 джерел.

Мета роботи – дослідження можливості використання машинного навчання для модернізації безпілотних літальних апаратів(БПЛА) та FPV-дронів.

Об'єкт дослідження – дослідження вдосконалення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та FPV-дронів з використанням машинного навчання.

Предмет дослідження – особливості та умови використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та FPV-дронів в світі та їх модернізація.

Короткий зміст роботи: Безпілотні літальні апарати, відомі як дрони, за останні роки зарекомендували себе як інноваційний та перспективний технологічний тренд. Дрони використовуються у фотографії, кінематографії, безпеці, сільському господарстві та наукових дослідженнях. І найголовніше - у військовому секторі. Розвиток техніки та інформаційних технологій відкриває нові можливості для використання математичного моделювання як потужного інструменту оптимізації роботи систем. Сучасне комп'ютерне програмне забезпечення дозволяє проводити високоточні та ефективні дослідження.

Досліджується розробка симулятора FPV-дрона на базі платформи Unity. Виконано ряд важливих етапів, включаючи вибір та обґрунтування технології розробки. Крім того, розроблений симулятор було порівняно з існуючими аналогічними літальними апаратами. Особливості симулятора включають вибір характеристик дрона, наявність різних карт польотів, інтуїтивно зрозумілий і простий у використанні інтерфейс.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, FPV-ДРОНИ, UNITY, ESC, СППР.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ FPV-ДРОНІВ	9
1.1 Дрони та їх класифікація.....	9
1.2 Принципи та застосування FPV-дронів	16
1.3 Використання та технічні рішення БПЛА в сучасній російсько-українській війні.....	17
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ FPV-ДРОНІВ.....	23
2.1 Основи аеродинаміки: визначення, основні принципи, поняття та гіпотези.....	23
2.2 Динаміка польоту: принципи, відмінності, спільні риси.....	27
2.3 Аналіз технічної конфігурації FPV дронів.....	33
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ FPV-ДРОНІВ.....	41
3.1 Алгоритм застосування машинного навчання для модернізації FPV-дронів.....	41
3.2 Рекомендації щодо більш ефективного використання машинного навчання для модернізації FPV-дронів.....	49
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
Додаток А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація).....	64

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати, відомі як дрони, зарекомендували себе як інноваційний та перспективний технологічний тренд останніх років.

Дрони використовуються у фотографії, кінематографі, безпеці, сільському господарстві, наукових дослідженнях тощо. І найголовніше - у військовій.

Однак навчитися керувати дроном може бути складно, особливо для початківців, і може завдати великої шкоди обладнанню. Це також може призвести до пошкодження обладнання.

Розвиток техніки та інформаційних технологій відкриває нові можливості для використання математичного моделювання як потужного інструменту оптимізації продуктивності систем. Сучасне комп'ютерне програмне забезпечення дозволяє проводити дослідження з високим ступенем точності та ефективності.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) та дрони стають все більш популярними як недорогий спосіб збору інформації, моніторингу навколишнього середовища та доставки невеликих посилок.

Сучасні дрони можуть розвивати швидкість до 40 км/год, літати на відстані 15-20 км і нести корисне навантаження до 2,5 кг. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) або дрони є найбільш значним досягненням галузі. Вони використовуються для різних цілей.

На жаль, повний потенціал різних типів БПЛА не може бути використаний у повсякденному житті, оскільки всі ресурси зараз зосереджені на національній обороні.

Війна завжди була засобом використання нових технологій для отримання переваги в бою. Останніми роками використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а точніше електричних дронів-камікадзе, у військових операціях привертає все більше уваги. Україна не є винятком, і збройний конфлікт на сході країни зробив використання БПЛА в бою необхідним.

РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ FPV-ДРОНІВ

1.1 Дрони та їх класифікація

FPV-дрони – це безпілотні літальні апарати з можливістю перегляду від першої особи (FPV). Пілот керує дроном за допомогою пульта дистанційного керування і за допомогою спеціальних окулярів може бачити навколо дрона в реальному часі, так, ніби він сидить всередині дрона, як пілот.

Варто зазначити, що FPV дрони не є військовою технікою. Такі БПЛА використовуються в рекреаційних цивільних цілях, наприклад, на спортивних змаганнях.[11]

Хоча вони можуть нести корисне навантаження, FPV-безпілотники не мають автопілота і літають без GPS.

Натомість для польоту FPV потрібно наступне:

- БПЛА з вбудованою камерою, здатною передавати відео в реальному часі;
- контролер польоту (радіокерований пульт);
- монітор або окуляри віртуальної реальності.

Дрони, також відомі як безпілотні літальні апарати (БПЛА), активно інтегруються в багато сфер сучасного життя, включаючи військову, наукову, комерційну та розважальну.

Дрони можна розділити на кілька типів за різними критеріями.

Класифікація за розміром:

1. *мінідрони*. Важать до 2 кг і зазвичай використовуються для особистих розваг;
2. *малі дрони*. Важать від 2 до 25 кг і використовуються в комерційних або військових цілях;

3. *середні дрони*. Важать від 25 кг до 150 кг і використовуються переважно у військових або наукових цілях;

4. *великі дрони*. Важать понад 150 кг і використовуються переважно у військових цілях.

Класифікація за типом двигуна:

1. *дрони з електродвигунами*. Найчастіше використовуються електродвигуни та акумулятори;

2. *дрони з двигуном внутрішнього згоряння*. Використовуються для тривалих польотів або для перевезення важких вантажів.[6]

Класифікація за кількістю роторів:

1. *мультикоптери* – з декількома двигунами (зазвичай 4, 6 або 8). Найпопулярніший тип для комерційного та особистого використання;

2. *вертоліт*. Має основний двигун для підйому і додатковий двигун для стабілізації;

3. *гвинтокрил*. Має фіксоване крило, використовується для польотів на великі відстані;

4. *з вертикальним зльотом і посадкою (Vertical Take-Off and Landing – VTOL)*. Ці дрони можуть злітати і сідати вертикально і корисні в умовах обмеженого простору.[6]

Важливо зазначити, що FPV дрони можуть належати до будь-якої з цих категорій.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА), широко відомий як дрон — це літальний апарат без жодного пілота, екіпажу чи пасажирів на борту. Спочатку БПЛА розроблялися протягом двадцятого століття для військових місій, надто «нудних, брудних або небезпечних» для людей, і до двадцять першого вони стали основним активом для більшості військових. З удосконаленням технологій управління та падінням вартості їх використання розширилося до багатьох невійськових застосувань. До них належать аерофотозйомка, охоплення території, точне землеробство, моніторинг лісових пожеж, моніторинг річок, моніторинг навколишнього середовища, поліція та спостереження, інфраструктура перевірки,

контрабанда, доставка продуктів, розваги та гонки безпілотників.[12]

Багато термінів використовуються для літаків, які летять без людей на борту. Термін «дрон» використовувався з перших днів авіації, деякі з них застосовувалися до дистанційно керованих літаків-мішеней, які використовувалися для вправ стрільби з гармат лінкора, наприклад Fairey Queen 1920-х років і de Havilland Queen Bee 1930-х років. Пізніші приклади включали Airspeed Queen Wasp і Miles Queen Martinet, до остаточної заміни на GAF Jindivik. Термін залишається загальноживим. Окрім програмного забезпечення, автономні дрони також використовують безліч передових технологій, які дозволяють їм виконувати свої місії без втручання людини, таких як хмарні обчислення, комп'ютерне бачення, штучний інтелект, машинне навчання, глибоке навчання та термодатчики. Для рекреаційних цілей дрон для аерофотозйомки — це літальний апарат, який має відео від першої особи, автономні можливості або обидва.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) визначається як «механічний літальний апарат, який не має людини-оператора, використовує аеродинамічні сили для забезпечення підйомної сили транспортного засобу, може літати автономно або керуватися дистанційно, може бути одноразовим або відновлюваним, і може нести летальний або нелетальний корисний вантаж». БПЛА – це термін, який зазвичай застосовують до військових випадків. Ракети з боєголовками, як правило, не вважаються БПЛА, оскільки транспортний засіб сам по собі є боєприпасом, але певні типи гвинтових ракет громадськість і ЗМІ часто називають «дронами-камікадзе». Крім того, зв'язок БПЛА з дистанційно керованими літальними моделями неясний, БПЛА можуть включати або не включати дистанційно керовані моделі літальних апаратів. Деякі юрисдикції базують своє визначення на розмірі або вазі; однак FAA США визначає будь-який літаючий корабель без екіпажу як БПЛА незалежно від розміру. Подібним терміном є дистанційно пілотований літальний апарат (RPAV).

БПЛА або RPAV також можна розглядати як компонент безпілотної авіаційної системи (БЛАС), яка також включає наземний диспетчер і систему

зв'язку з літальним апаратом. Термін UAS був прийнятий Міністерством оборони США (DoD) і Федеральним управлінням цивільної авіації Сполучених Штатів (FAA) у 2005 році відповідно до їхньої Дорожньої карти системи безпілотних літальних апаратів на 2005–2030 роки. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) і Управління цивільної авіації Британії прийняли цей термін, який також використовується в Дорожній карті Європейського Союзу щодо організації повітряного руху (ATM) Єдиного європейського неба (SES) (Спільне підприємство SESAR) на 2020 рік. Цей термін підкреслює важливість інших елементів, крім літака. Він включає такі елементи, як наземні станції управління, лінії передачі даних та інше допоміжне обладнання. Подібними термінами є безпілотна авіаційна система (БПЛА) і дистанційно пілотована літальна система (ДПАС). Використовується багато подібних термінів. Згідно з новими правилами, які набули чинності 1 червня 2019 року, уряд Канади затвердив термін RPAS, який означає «набір конфігурованих елементів, що складається з дистанційно пілотованого літального апарату, його станції управління, командних і контрольних ліній зв'язку та будь-яких інших елементів системи, необхідний під час польоту».[12]

Безпілотний авіаційний комплекс (безпілотна авіаційна система) – безпілотне повітряне судно, пов'язані з ним пункти дистанційного пілотування (станції наземного керування), необхідні лінії керування і контролю та інші елементи, вказані в затвердженому проєкті типу цього комплексу. Цей комплекс може охоплювати кілька безпілотних літальних апаратів. Іншими словами «безпілотник», «БпЛА», «UAV» (від англ. unmanned aerial vehicle) – це літальний апарат, яким керує один або кілька пілотів за допомогою каналів зв'язку.

Їх можна класифікувати відповідно до:

- типів системи керування;
- ваги;
- масштабу завдань;
- паливної системи;
- типу крила;

- тривалості польоту;
- практичної «стелі» польоту;
- типу літального апарату;
- базування;
- правил польотів;
- кількості застосувань;
- типу паливного бака;
- радіусу дії;
- максимальної швидкості польоту;
- кількості двигунів;
- використання;
- напрямку підйому/посадки;
- типу підйому/посадки;
- часу отримання зібраної інформації.

В роботу буде оглянуто дві всесвітньо відомі класифікації:

1. Міжнародної асоціації з безпілотних літальних систем, UVSİ;
2. НАТО.

Класифікація БПЛА за UVS International. Класифікація Міжнародної асоціації з безпілотних літальних систем, UVSİ (Association for Unmanned Vehicle Systems International) розрізняє БПЛА відповідно до:

- льотної маси;
- тривалості польоту;
- дальності польоту;
- висоти польоту;
- галузі використання.

Відповідно до льотної маси виділяють:

- мікроБПЛА (Micro UAS), вагою до 1 кг;
- малий БПЛА (Small UAS) – від 1 до 25 кг;
- середній БПЛА (Medium UAS) – від 25 до 150 кг;

- великий БПЛА (Large UAS) – понад 150 кг.[13]

За призначенням розрізняють:

- комерційні БПЛА, що застосовуються з метою отримання прибутку, зокрема в агрокультурі, при відеозніманні, геологічних дослідженнях тощо;
- військові БПЛА, призначені для військових операцій, розвідки, підтримки, виконання завдань зв'язку тощо;
- громадські БПЛА для цивільних цілей, таких як пошук і порятунк, моніторинг довкілля, наукові дослідження тощо.

За дальністю і тривалістю польоту БПЛА характеризують як:

- короткотермінові (Short-Endurance) – з дальністю і тривалістю польоту до години;
- середньотермінові (Medium-Endurance) – від однієї до кількох годин;
- довготермінові (Long-Endurance) БПЛА – дальність і тривалість польоту яких понад кілька годин (до кількох десятків).

Цю класифікацію застосовують для визначення типів і характеристик БПЛА, залежно від галузей використання та функціональних можливостей.[13]

Класифікація НАТО. Відповідно до стандарту НАТО (STANAG 4670), воєнні БПЛА поділяються на три класи та сім категорій, залежно від висоти польоту та радіусу дії.

До класу I належать БПЛА трьох категорій, вагою до 150 кг:

- малі БПЛА, що важать понад 15 кг. Їх використовують у батальйонах та полках на висоті до 5000 футів (1500 метрів), радіус дії малих БПЛА – 50 км. Це, наприклад, Scan Eagle, вага якого 18 кг, корисне навантаження до 6 кг, швидкість 140 км/год, дальність польоту – до 100 км;
- міні БПЛА до 15 кг для рот, взводів, відділень. Їх висота польоту – до 3000 футів (914 метрів), радіус дії – до 25 км. До прикладу, Skylark, вагою – 7,5 кг, корисне навантаження – 1,1 кг, радіус дії - 20-40 км;
- мікро – надлегкі БПЛА для взводів, відділень, персонального використання. Їх висота польоту – до 200 футів (61 метр), радіус дії – до 5 км. Як-от, Black Hornet Nano, вагою 18 грамів, що розвиває швидкість до 5 м/с з радіусом

дії до 1 км.

Клас II – це тактичні БПЛА, вагою 150-600 кг. Їх використовують у підрозділах бригадного рівня. Висота польоту таких БПЛА до 18 000 футів (5500 метрів), радіус дії – до 200 км. Це, наприклад, Hermes 450, вагою до 450 кг, із корисним навантаженням до 150 кг, радіусом дії – 200 км.

Клас III – це БПЛА, вагою понад 600 кг. Їх поділяють на три підтипи, залежно від використання в стратегічному та оперативному театрах бойових дій:

- MALE (médium-altitude long-endurance) – тривало-баражуючі БПЛА, які сягають висоти до 45 000 футів (13716 метрів), довгої тривалості польоту, необмеженого радіуса дії. Наприклад, Heron з вагою до 1150 кг, швидкістю – до 240 км/год, висотою польоту 30019 футів (9150 м), радіусом дії – 1000 км;

- HALE (High-altitude long-endurance) – тривало-баражувальні БПЛА, що працюють на висоті до 65 000 футів (19812 метрів), довгої тривалості польоту, необмеженого радіуса дії. Як-от Global Hawk, вагою до 12 000 кг, його корисне навантаження – 900 кг, швидкість – до 645 км/год, дальність польоту – 25 000 км, тривалість роботи – 36 годин;

- ударні БПЛА великої висоти застосування (20 000 метрів) із необмеженим радіусом дії. Їх вага до 4760 кг, корисне навантаження – до 1700 кг, максимальна швидкість – 400 км/год, дальність польоту – 6000 км, тривалість роботи – 24 години.

За конструкцією БПЛА поділяються на 5 основних категорій:

1) літаки (Fixed-Wing), серед яких:

- моноплани (Monoplanes) – оснащені одним крилом;
- біплани (Biplanes) – з двома крилами – верхнім та нижнім;
- триплани (Triplanes) – з трьома крилами, розташованими одне над іншим;

- крила (Wings) у формі дельти.

2) мультироторні (Multirotor) БПЛА, до яких відносяться:

- квадрокоптери (Quadcopters) із чотирма роторами;
- гексакоптери (Hexacopters) з шістьма роторами;

- гірокоптери (Octocopters), оснащені вісьмома роторами.

3) тейлсіттери із крилами та мультироторами, для об'єднання переваг обох конструкцій;

4) VTOL, серед яких БПЛА, що можуть здійснювати вертикальний зліт і посадку, а потім працювати в горизонтальному режимі польоту;

5) Аеростати та дирижаблі (Airships) – надлегкі апарати, які працюють завдяки силам повітря і можуть мати газовий балон для підйому.

Кожна із зазначених конструкцій має свої переваги та обмеження.

Отже, ми розглянули типологію безпілотних літальних апаратів за класифікацією NATO (STANAG 4670), UVS International, та відповідно до:

- ваги;
- часу польоту;
- дальності польоту;
- висоти польоту.

Усі вищезазначені класифікації базуються на базових параметрах БПЛА, тож згідно з цими даними можна виробити узагальнену класифікацію для використання в розробках БПЛА в Україні та за її межами. [13]

1.2 Принципи та застосування FPV-дронів

First Person View (вид від першої особи) є інноваційною технологією, яка змінює спосіб взаємодії пілотів з дронами. Замість того, щоб спостерігати за дроном з землі, FPV надає пілоту вид від першої особи, створюючи враження, ніби пілот контролює політ на дроні. Це досягається шляхом передачі зображення з камери, встановленої на дроні, на окуляри або монітори, які використовуються пілотом для навігації.

FPV-системи мають кілька основних компонентів:

- *FPV-камера.* Знімає зображення і передає їх на наземну станцію. Деякі

системи оснащені камерами з регульованим полем зору, щоб забезпечити гнучкість для різних застосувань;

- *FPV-окуляри або монітори*. Приймають відеосигнал з камери і відображають його для польоту. Окуляри часто використовуються для посилення занурення в атмосферу польоту.

Завдяки своїм унікальним характеристикам, FPV застосовується в різних сферах:

- *військове застосування*. Можливість безпечної дистанційної розвідки та маневрування в складних умовах. Основними сферами застосування є: забезпечення спецоперацій, розвідувальні місії, повітряні атаки на противника та транспортування припасів та зброї;

- *наукові дослідження*. Підтримка досліджень у важкодоступних або небезпечних районах, таких як дослідження вулканів або моніторинг кліматичних змін;

- *спорт*. Використання у все більш популярних перегонах дронів та FPV-фрістайлі, де дрони виконують акробатичні трюки в повітрі. Гоночні пристрої характеризуються такими особливостями: маневреність, невелика вага, компактність, високі швидкісні характеристики та чудова аеродинаміка. Ці характеристики дозволяють літальному апарату літати по трасах різної складності і демонструвати майстерність водіння та майстерність пілота;

- *кіно і фотографія*. Дрони FPV використовуються для зйомки унікальних зображень з різних ракурсів, яких неможливо досягти традиційними методами зйомки. Вони знаходять використання у таких галузях: створення рекламного контенту, під час геодезичних зйомок, у сільськогосподарській діяльності, зйомок фільмів, рятувальні та пошукові роботи, моніторинг навколишнього середовища та охорона території.[6]

1.3 Використання та технічні рішення БПЛА в сучасній російсько-українській війні

Українські військові активно використовують БПЛА від початку повномасштабного російського вторгнення. Їх використовують різні підрозділи Збройних сил, Національної гвардії, СБУ, Сил спеціальних операцій та Головного управління розвідки Міністерства оборони України.

Військові зазвичай працюють невеликими групами операторів та їхніх помічників, іноді FPV-безпілотники комбінують з розвідувальними вертольотами, що підвищує ефективність роботи операторів та їхню обізнаність про ситуацію.

Поява великої кількості FPV-дронів на фронті війни між Росією та Україною стала революційною подією у військовій сфері. Міністерство оборони України та багато дослідників описують FPV-безпілотники як революційний засіб ведення війни і порівнюють їх використання зі снайперською зброєю. Ця революційність пояснюється тим, що FPV-безпілотники надзвичайно дешеві та серійно виробляються, тоді як до появи FPV-безпілотників здатність здійснювати високоточні атаки була прерогативою дорогих і складних систем, що використовувалися точково.[3]

Однією з головних переваг таких дронів над іншими засобами є те, що дрони вартістю від сотень до тисяч доларів можуть ефективно знищувати техніку вартістю в мільйони доларів (танки, артилерію, засоби радіоелектронної боротьби, системи протиповітряної оборони) або офіцерів ар'єргарду, що знаходяться поблизу. Дрони FPV дешевші за квадрокоптери DJI Mavic, які зазвичай використовуються на передовій і дорожчі за звичайні дрони-камікадзе та ПТРК (Протитанковий ракетний комплекс). Наприклад, Switchblade 300 (рис.1.1) зі схожими характеристиками коштує 8 000 доларів США, а ракета "Стугна" – 20 000 доларів США.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд Switchblade 300

Використання БПЛА з електродвигунами має декілька переваг порівняно з традиційними двигунами внутрішнього згорання.

По-перше, електродвигун є екологічно безпечним, оскільки не викидає шкідливих елементів, таких як вуглекислий газ або інші токсичні речовини. Це особливо важливо під час військових операцій, де навколишнє середовище часто піддається забрудненню.

По-друге, БПЛА з електродвигунами енергоефективні. Він використовує електричну енергію з різних джерел, включаючи батареї та паливні елементи. Це підвищує маневреність БПЛА.

Окрім цього, електричні БПЛА мають менші технічні проблеми, пов'язані з споживанням палива та обслуговуванням паливних систем, що спрощує їхню експлуатацію та зменшує витрати на обслуговування.[5]

Основними методами керування двигуном є скалярне та векторне керування. Вибір між ними залежить від конкретних вимог і додатків.

Скалярне керування є простим у реалізації, але має недолік, його здатність контролювати швидкість і крутний момент обмежена, і воно схильне до втрати контролю при зміні навантаження.

Векторне керування, з іншого боку, забезпечує незалежне і безінерційне керування швидкості обертання і моменту електродвигуна. Це забезпечує вищу точність регулювання швидкості, плавний старт і зупинку, а також швидку реакцію на зміну навантаження. Векторне керування також зменшує втрати на нагрівання і намагнічування та підвищує ККД двигуна. Однак векторне керування вимагає складніших розрахунків і налаштування параметрів двигуна. Крім того, швидкість може коливатися при постійному навантаженні.

Остаточний вибір між скалярним і векторним керуванням залежить від конкретних вимог застосування, необхідності точності керування, динаміки та інших факторів.

Серед усіх типів електродвигунів найбільш популярними для дронів є двигуни постійного струму з постійними магнітами. Це пов'язано з високим ККД, потужністю, компактністю, безшумністю, керованістю і тривалим терміном служби. Ці двигуни є важливою складовою сучасних військових операцій і можуть виконувати широкий спектр завдань з високою точністю та надійністю.

Використання електродвигунів у безпілотних літальних апаратах (БПЛА) відкриває важливі можливості застосування в контексті військових конфліктів в Україні.

Одним з ключових сценаріїв є збір розвідувальної інформації. Електричні двигуни роблять БПЛА менш помітними, що дозволяє проводити більш ефективну розвідку та зменшує ризик виявлення ворогом.

Другий сценарій – атака ворожих цілей. Моторизовані БПЛА можуть бути оснащені різними типами озброєння, в тому числі ракетами і бомбами. Такі БПЛА можуть використовуватися для здійснення точних і ефективних атак на важливі військові об'єкти противника без безпосередньої загрози для пілота.

Інша можливість – використання моторизованих БПЛА для забезпечення ефективного зв'язку. Такі БПЛА можуть бути оснащені спеціальними антенами та обладнанням для забезпечення стабільного та безперебійного зв'язку на полі бою.

У четвертому сценарії БПЛА можуть бути оснащені засобами радіоелектронної боротьби та розвідки. На відміну від Росії, яка має літаки А-50, Україна не має можливості використовувати такі великі радіолокаційні апарати, оскільки вони вразливі до ракет дальнього радіусу дії. Однак вона може використовувати менші, менш ефективні БПЛА і компенсувати це за рахунок використання більшої кількості БПЛА.

В Україні дуже часто використовуються дрони власного виробництва, такі як комплекс Leleka LR призначена для артилерійської розвідки та управління вогнем. Для цього вона оснащена 2-осьовим гіростабілізованим оптико-

електронним модулем з 25-кратним оптичним і 4-кратним цифровим зумом. Модуль легко знімається і доступний для денного і нічного використання з тепловізійним каналом.

Крім того, бортовий комп'ютер безпілотника оснащений алгоритмами цифрової обробки відео. Він може відстежувати нерухомі та рухомі об'єкти і автоматично центрувати їх у кадрі.

Ця система дозволяє використовувати безпілотник разом з артилерією та реактивними системами залпового вогню, такими як «Himars».

Характеристики Leleka LR:

- робоча висота — 1200-1500 м;
- максимальна висота — 2000 м;
- максимальна швидкість — 32 м/с;
- крейсерська швидкість — 22 м/с;
- розмах крил — 3 м;
- злітна вага — 8,7 кг;
- вага корисного навантаження — 600 гр;
- радіус польоту — 90 км;
- час польоту — 4 години.

Виробник зазначив, що однією з переваг нового комплексу є те, що екіпаж БПЛА "Лелека-100"(рис.1.2) легше перенавчити для роботи з новим комплексом. "Релека-100" та "Лелека-100" мають схожі алгоритми обслуговування та програмне забезпечення. Екіпаж може бути навчений менш ніж за два тижні.

Безпілотний розвідувальний комплекс був випробуваний спецпідрозділами на передовій, зокрема в Запорізькій області, і, як повідомляється, використовувався для координації дій української артилерії.[8]



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд БПЛА "Лелека-100"

Слід зазначити, що є й інший вид дронів – FPV дрони-камікадзе. Серед функцій безпілотних літальних апаратів особливе місце займають прямі бойові завдання, тобто атаки на наземні або водні цілі. Для цього найчастіше використовуються так звані дрони-камікадзе. На практиці це вибухові боєприпаси, керовані оператором або заздалегідь визначеним алгоритмом. За оцінками експертів, близько 35% втрат техніки під час російсько-української війни у 2023 році були спричинені дронами-камікадзе.

Типи дронів-камікадзе. Цю техніку можна розділити на дві групи:

- БПЛА дальнього радіусу дії, як правило, є апаратами авіаційного типу з двигунами внутрішнього згоряння. Багато з них можуть літати на відстані понад 1000 км з корисним вантажем на десятки кілометрів. Зазвичай використовуються для атаки великих статичних логістичних цілей (нафтових баз, командних пунктів противника, об'єктів логістичної інфраструктури);

- БПЛА малого радіусу дії використовуються для тактичних операцій поблизу лінії зіткнення. Такі БПЛА випускаються у вигляді квадрокоптерів або загороджувальних бомб; вони рідко літають далі 20-30 км і не мають значного корисного навантаження (цей параметр зазвичай обмежується кількома кілограмами). Невеликі дрони-камікадзе мають ще один козир: швидкість, маневреність і складність виявлення та знищення. І, звичайно, вони в десятки разів дешевші за великі БПЛА.[7]

Проте, дрони-камікадзе мають свої недоліки. Як й інші види зброї, безпілотні літальні апарати не позбавлені недоліків. Наприклад, для того, щоб нести якомога більше корисного навантаження, вони повинні бути якомога легшими за своєю конструкцією. Як наслідок, розробники змушені встановлювати легкі батареї малої ємності, що негативно впливає на дальність і час польоту. Крім того, легкі дрони менш стійкі до вітру.

Ще одна проблема – *складність управління*. Для виконання ручного пілотажу пілоту потрібен дуже високий рівень майстерності. Навчання пілотів може тривати днями, і навіть досвідчені пілоти можуть промахнутися або втратити свої дрони через випадкові зіткнення з перешкодами.[10]

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ FPV-ДРОНІВ

2.1 Основи аеродинаміки: визначення, основні принципи, поняття та гіпотези

Метою аеродинаміки є аналіз форми і властивостей об'єкта та оптимізація його можливостей, загальної ефективності та продуктивності польоту.

Аеродинаміка використовується в багатьох галузях промисловості, включаючи літаки, ракети, автомобілі, спортивне обладнання і навіть проектування будівель.

Принцип обертального руху. Аеродинаміка часто використовує принцип обертального руху для зручності. Це означає, що замість того, щоб думати про літак, який летить у нерухомому повітрі, уявіть собі нерухомий літак, що обтікає конвективний повітряний потік. Цей потік має протилежний напрямок і його швидкість дорівнює швидкості літака. При цьому обертання руху не змінює теплову взаємодію між потужністю літака і повітрям.

Гіпотеза неперервності середовища. Повітря – це сукупність молекул. Воно рухається в просторі нерівномірно. Концентрація молекул у нижніх шарах атмосфери (тропосфері), де літають комерційні літаки, дуже висока. Тому, згідно з гіпотезою континууму, повітря є статичним середовищем, а матерія завжди перебуває в підвішеному стані в просторі. Більшість наукових гіпотез обмежені умовами, які роблять їх застосування неточним. Їх використання також буде неточним.

Критерії Кнудсена були використані для оцінки застосовності гіпотези неперервності:

$$Kn = \frac{l}{L} \quad (2.1)$$

де l – середня довжина вільного пробігу молекул;

L – характерний лінійний розмір обтікаючого тіла.[1]

Якщо $Kn < 0,01$, повітря вважається суцільним середовищем. Ця умова завжди виконується для висот, на яких літають сучасні ЛА цивільної авіації. Окрім загальних принципів, існують інші важливі аеродинамічні поняття, такі як аеродинамічний опір і підйомна сила, які слід розглянути більш детально.



Рисунок 2.1 – Аеродинамічний опір

Аеродинамічний опір – це сила, яка чинить опір руху об'єкта в повітрі і викликана тертям повітря об поверхню літального апарату. Ця сила діє в напрямку, протилежному руху літака або БПЛА, зменшуючи швидкість літака або БПЛА і вимагаючи додаткової потужності двигуна для підтримки заданої швидкості або висоти.[1]

Величина аеродинамічного опору залежить від наступних факторів:

- форма літака або БПЛА;
- властивості поверхні;
- швидкість руху;
- щільність повітря.

Зменшення аеродинамічного опору має вирішальне значення для підвищення швидкості та паливної ефективності транспортного засобу. Інженери використовують різні методи для мінімізації аеродинамічного опору та

покращення аеродинамічної ефективності. Вони експериментують з аеродинамічними формами та текстурами гладких поверхонь, а також оптимізують дизайн крила.

Підйомна сила – це сила, яка піднімає літак або БПЛА в повітря. Вона зумовлена формою крила та різницею тиску між верхньою та нижньою поверхнями. Величина підйомної сили залежить від кількох факторів, серед яких:

- форма крила (профіль);
- форма (профіль) лопаті;
- площа поверхні лопаті;
- швидкість літака;
- кут атаки (кут між хордою крила і відносним вітром);
- щільність повітря.

БПЛА, як й інші літальні апарати, використовують силу плавучості, щоб протидіяти силі тяжіння і залишатися в повітрі. Для стабільного польоту і набору висоти ця сила повинна дорівнювати або перевищувати вагу БПЛА. Якщо підйомна сила недостатня, БПЛА буде знижуватися або втрачати висоту.

Принцип Бернуллі. Цей принцип описує взаємозв'язок між тиском і швидкістю рідини. Його часто застосовують, щоб пояснити, як виникає підйомна сила на крилі літака.

$$m = \rho VF = \text{Const}, \quad (2.2)$$

де m – маса повітря, що проходить через поперечний переріз струменя потоку (СП), за одиницю часу;

ρ – густина повітря в цьому перерізі СП;

V – швидкість повітря в цьому перерізі СП;

F – площа поперечного перерізу СП.[1]

Вплив аеродинамічних сил на політ літального апарату; інженери БПЛА ретельно продумують конструкцію крила та інші аеродинамічні властивості для оптимізації підйомної сили та забезпечення стабільного польоту; пілоти БПЛА,

оператори та дистанційні пілоти використовують кут атаки та механізми керування (елерони, елеватори, рулі напрямку) для керування підйомною силою та підтримання бажаної траєкторії та висоти польоту.

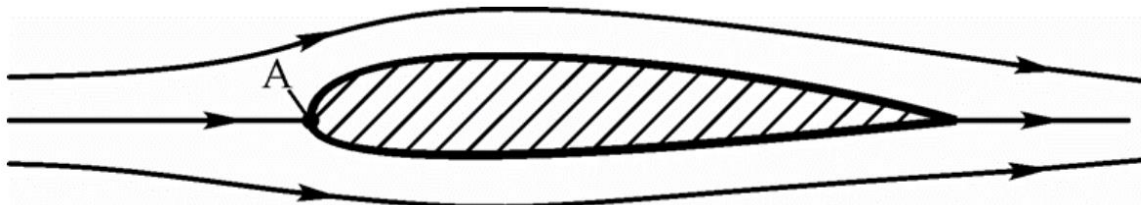


Рисунок 2.2 – Обтікання тіла зустрічним потоком повітря

Як показано на рисунку (Рисунок 2.2), при обтіканні тіла зустрічним потоком повітря на носовій частині з'являється точка А (критична точка), де швидкість потоку дорівнює нулю при повному гальмуванні. У цій точці динамічна складова дорівнює нулю, а статичний тиск дорівнює максимальному загальному тиску. В інших частинах поверхні транспортного засобу швидкість потоку більша за нуль, а статичний тиск менший за критичну точку.

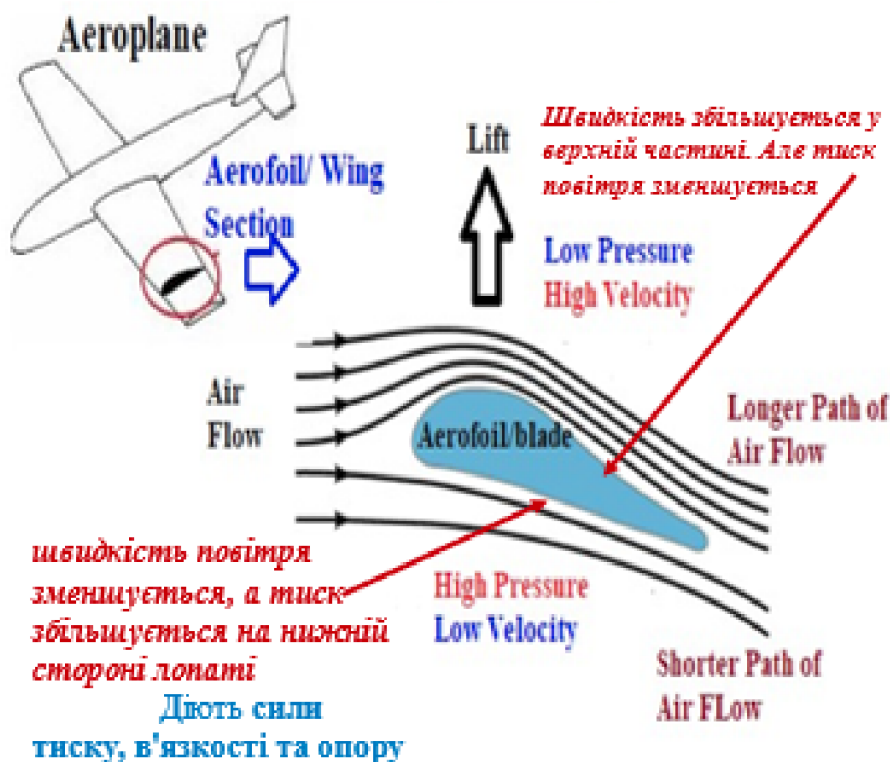


Рисунок 2.3 – Формування підйомної сили крила/лопаті

Згідно з принципом Бернуллі, коли повітря обтікає вигнуту верхню поверхню крила, повітря прискорюється, а тиск зменшується. У той же час, повітря, що протікає під плоскою нижньою поверхнею крила, рухається повільніше і зазнає більшого тиску. Ця різниця тиску створює висхідну силу, яка називається підйомною силою (Рисунок 2.3).

2.2 Динаміка польоту: принципи, відмінності, спільні риси

Динаміка польоту – це наука, яка вивчає продуктивність, стабільність і принципи керування літаючими апаратами у повітрі або космосі. Вона займається вивченням того, як сили, що діють на літальний апарат, впливають на його швидкість і можливості з плином часу.

Динаміка польоту – це також наука про рух літальних апаратів. Розрізняють рух центру мас літака (орбітальний рух) і рух літака навколо центру мас. Орбітальний рух включає в себе:

- горизонтальний політ ЛА;
- набір висоти;
- зниження;
- зліт;
- посадка;
- віраж тощо.

Під час руху навколо центру мас ЛА може:

- нахилитися (накренитися) вбік;
- підіймати або занурювати ніс;
- обертатися ліворуч або праворуч.

З іншого боку, літак повинен бути керованим і зберігати своє положення в просторі.

Розглянемо спочатку траєкторний рух, потім – стійкість та керованість.

Траєкторний рух літака. Літак рухається в повітрі під дією аеродинамічної сили R , сили тяги двигунів та сили A P тяжіння G .

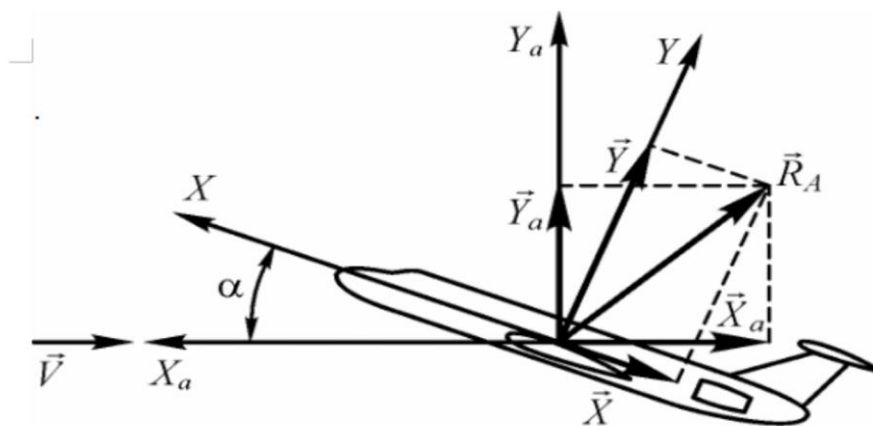


Рисунок 2.4 – Формування аеродинамічної сили ЛА

Сила тяги створюється силовим устаткуванням літака. Вектор зазвичай розташовується в базовій площині літака та утворює деякий кут із віссю пов'язаної системи координат, але, щоб було простіше, будемо вважати цей кут рівним нулю, а вектор – розташованим у центрі мас.[2]

Політ літака можна умовно розділити на кілька етапів:

- зліт;
- набір висоти;
- горизонтальний політ;
- зниження;
- посадка.

Літак також може здійснювати віраж та інші маневри. На деяких етапах польоту його рух може бути як сталим, так і несталим. При сталому русі літак рухається зі сталими швидкістю, кутами атаки, крену та ковзання. Далі розглянемо лише сталий рух на етапах горизонтального польоту, набору висоти та зниження.

Сталий горизонтальний політ – це прямолінійний політ зі сталою швидкістю на однаковій висоті.

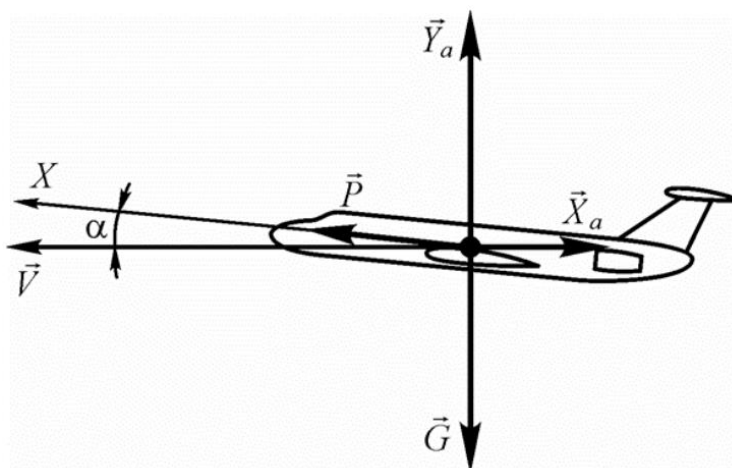


Рисунок 2.5 – Схема сил, що діють на літак у горизонтальному сталому польоті

Відповідне рівняння руху центра мас літака виглядатиме так:

$$P \cos \alpha = X_a; \quad (2.3)$$

$$Y_a + P \sin \alpha = G. \quad (2.4)$$

Оскільки кут атаки α незначний ($\cos \alpha \approx 1, \alpha \sin \alpha \approx 0$), можна зазначити:

$$P = X_a; Y_a = G, \quad (2.5)$$

Якщо перша з цих тотожностей (2.5) виконувана, тобто $P \neq X$, то швидкість літака буде зростати або зменшуватися. Це означає, що умова сталого руху не буде виконуватися.[2]

Якщо підйомна сила не дорівнює силі тяжіння ($Y_a \neq G$), літак буде або підійматися, або $a \neq G$) знижуватися, а це означає, що не буде виконуватися умова горизонтального польоту. За допомогою рівності

$$Y_a = G \quad (2.6)$$

та формули підіймної сили
 $(Y_a = c_{ya} \frac{\rho V^2}{2} S_{kr}, \text{ де } c_{ya} - \text{коефіцієнт підіймної сили})$ обчислимо швидкість,
 необхідну для здійснення горизонтального польоту $V_{гп}$. [2]

Враховуючи, що

$$G = mg \quad (2.7)$$

де m – маса літака;

g – прискорення вільного падіння.[2]

Отримаємо:

$$c_{ya} \frac{\rho V^2}{2} S_{kr} = mg \quad (2.8)$$

тож:

$$V_{гп} = \sqrt{\frac{2mg}{c_{ya}\rho S_{kr}}} \quad (2.9)$$

Ця формула (2.9) показує, що швидкість горизонтального польоту $V_{гп}$ залежить від:

- маси літака m ;
- густини повітря ρ ;
- площі крила S_{kr} ;
- та коефіцієнта підіймної сили c_{ya} . [2]

Сталий набір висоти – прямолінійний рух літака вгору зі сталою швидкістю. Розташування сил, що діють на літак, при сталому наборі висоти з кутом нахилу траєкторії θ , бачимо на схемі.

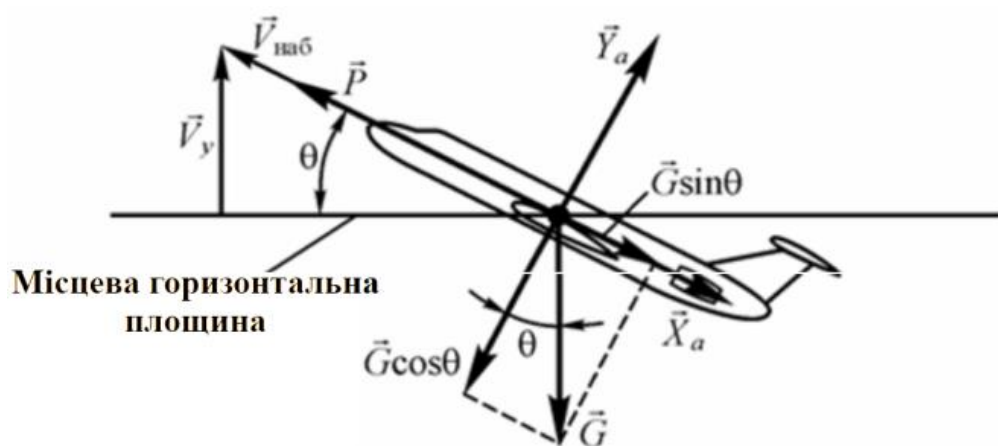


Рисунок 2.6 – Сталий набір висоти

Тож рівняння руху виглядатиме так:

$$P = X_a + G \sin \theta; Y_a = G \cos \theta \quad (2.10)$$

Варто зазначити, що при наборі висоти тяга двигунів P врівноважує не тільки силу лобового опору X_a , як при горизонтальному польоті, але й складник сили тяжіння.

$$G \cos \theta < G \quad (2.11)$$

Ще одна важлива характеристика літака – його швидкопідйомність – вертикальна швидкість набору висоти V_y . На схемі вище (Рисунок 2.6) бачимо:

$$V_y = V_{\text{наб}} \sin \theta \quad (2.12)$$

Перейдемо до наступного різновиду траєкторного руху БПЛА – сталого зниження – прямолінійного руху літака вниз зі сталою швидкістю. На схемі бачимо розташування сил, що діють на літак при зниженні.

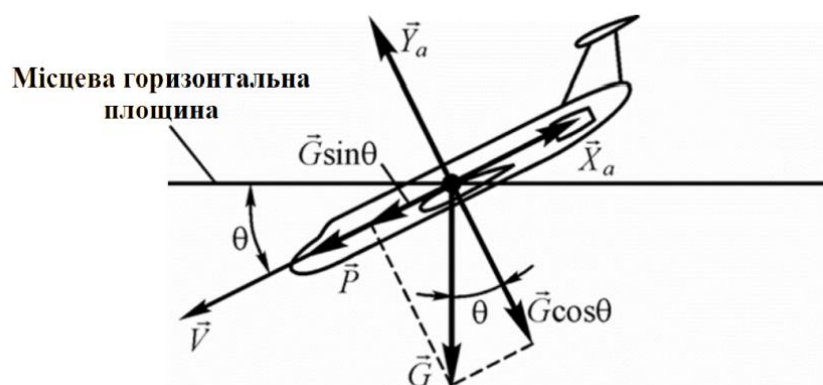


Рисунок 2.7 – Стале зниження ЛА.

Отже, рівняння руху для сталого зниження таке:

$$P = X_a - G \sin \theta; Y_a = G \cos \theta \quad (2.13)$$

Якщо в першому рівнянні (2.13) перемістити X_a ліворуч та поділити перше рівняння (2.13) на друге, отримаємо:

$$\frac{X_a - P}{Y_a} = \tan \theta \quad (2.14)$$

Тому (2.14) стале зниження можливе лише, якщо сила тяги менша за лобовий опір ($P < X_a$). Зазвичай зниження відбувається при низьких значеннях тяги (коли газ майже не використовується), тому можна припустити, що $P \approx 0$. Такий режим польоту відомий як планерування. Отримаємо таку тотожність:

$$\tan \theta = \frac{X_a}{Y_a} = \frac{1}{K} \quad (2.15)$$

Дальність планування $L_{пл}$ за певної висоти $H_{пл}$ – ще одна важлива характеристика. [2]

Бачимо, що:

$$\tan \theta = \frac{H_{пл}}{L_{пл}} \quad (2.16)$$

тож:

$$L_{пл} = \frac{H_{пл}}{tg\theta} = H_{пл}K \quad (2.17)$$

Відповідно до формули (2.17), чим краща аеродинамічна якість літака, тим далі летітиме літак.

Отже, було досліджено особливості траєкторного руху БПЛА на прикладах сталого горизонтального польоту, сталого набору висоти та сталого зниження

2.3 Аналіз технічної конфігурації FPV дронів

Польотний контролер є основним компонентом FPV-безпілота і контролює рух і стабілізацію безпілота. Він схожий на пілота авіакомпанії і є мозком дрона.

Контролер складається з мікропроцесора, який керує іншими компонентами дрона, і датчиків, які вимірюють орієнтацію дрона та інші дані. Ці датчики зазвичай включають висотомір, акселерометр, барометр і іноді компас.

1. *мікропроцесор*. Серце рульового контролера. Він обробляє всі дані, отримані від датчиків і радіоприймача, і на основі цих даних видає команди двигунам дрона;

2. *гіроскоп*. Вимірює обертальний рух дрона за трьома осями: крен, тангаж і ролання. Це основний датчик для стабілізації барабана;

3. *акселерометр*. Акселерометр вимірює прискорення дрона в трьох вимірах. Ця інформація використовується для регулювання положення дрона в просторі;

4. *барометр*. Барометри використовують зміни атмосферного тиску для вимірювання висоти;

5. *компас*. Не всі FPV дрони оснащені компасом, але він допомагає

визначити напрямок польоту.

Всі ці компоненти працюють разом для стабілізації та керування дроном. Контролер керування дає команду двигунам змінювати швидкість обертання і, відповідно, напрямок руху дрона.

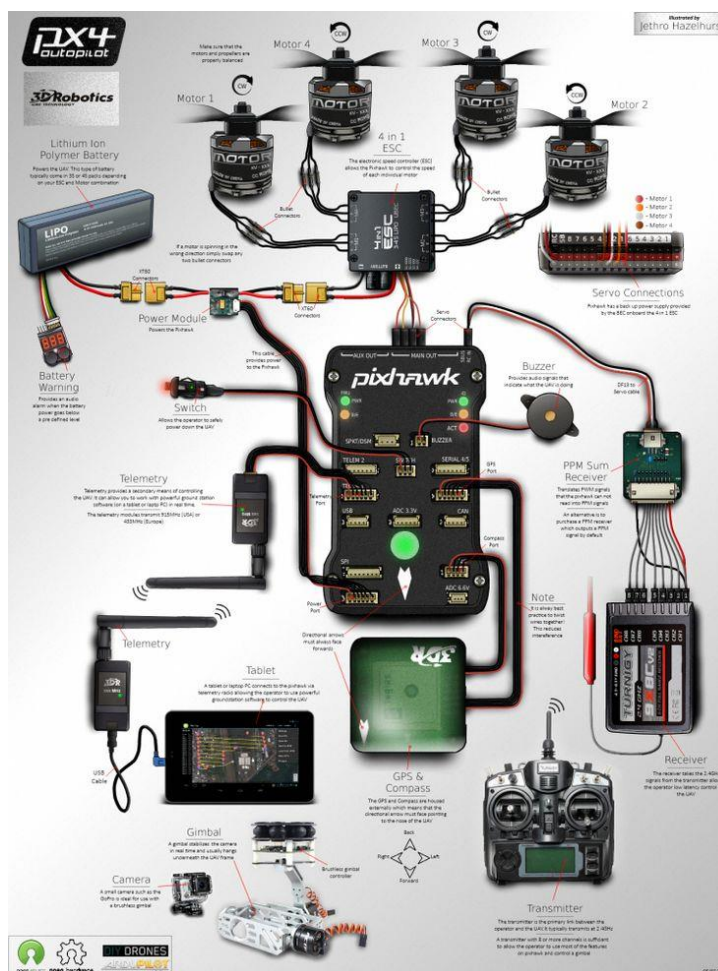


Рисунок 2.8 – Комплектація дрона

При розробці FPV-тренажерів важливо точно змоделювати поведінку контролера управління, щоб досягти реалістичного досвіду польоту.

Електродвигуни. Електродвигуни є важливим компонентом FPV-дронів і відповідають за вироблення енергії, необхідної для підйому та маневрування. Електродвигуни поєднуються з крилами для створення тяги і керування рухом дрона.



Рисунок 2.9 – Електродвигун

Електродвигуни для сканерів можна розділити на дві основні категорії: безщіткові та щіткові. Безщіткові двигуни більш популярні в FPV-спільноті завдяки своїй високій ефективності, довговічності та здатності генерувати велику потужність. Щіткові двигуни, як правило, використовуються в недорогих, невеликих додатках для дронів.

Безщіткові двигуни можна розділити на два типи: "внутрішні" та "зовнішні". Двигуни з внутрішнім ходом мають внутрішню частину, що обертається (ротор), і зазвичай працюють на більш високих швидкостях, але з меншим крутним моментом. З іншого боку, двигуни, що випереджають, мають зовнішню частину, що обертається, і, як правило, створюють більший крутний момент, але працюють на нижчих швидкостях. [15]

При виборі двигуна для FPV-дрона слід враховувати кілька факторів, зокрема розмір і вагу дрона, кількість і розмір пропелерів, ємність і напругу акумулятора, а також тип польоту.

Регулятор швидкості. Електричний регулятор швидкості (ESC) – це пристрій, який контролює швидкість електродвигунів дрона. Це відбувається шляхом регулювання сили струму, що подається на двигуни; ESC важливі для підтримки стабільності дрона під час польоту, дозволяючи пристрою змінювати швидкість кожного двигуна на льоту за потреби.



Рисунок 2.10 – Регулятор швидкості

Зазвичай ESC для дрилів є безщітковими і використовуються в поєднанні з безщітковими двигунами. Ці ESC мають різні рівні потужності, виражені в амперах, що вказує на максимальний струм, який можна подати.

Батареї. Дрони, в тому числі FPV, живляться від акумуляторів. Літій-полімерні батареї (LiPo) здебільшого використовуються для цієї мети завдяки їхній високій енергетичній ємності та здатності забезпечувати високі струми, необхідні для швидкої реакції двигуна.



Рисунок 2.11 – Батарея дрона

Акумулятори LiPo мають кілька важливих параметрів, на які слід звернути увагу.

По-перше, це ємність, яка вимірюється в міліампер-годинах (мАг) і показує,

скільки енергії може зберігати батарея. Чим вища ємність, тим довше дрон може літати, але при цьому збільшується і вага акумулятора.

Другий параметр – це число "S", яке вказує на кількість елементів ("банків") в акумуляторі. Кожен елемент має напругу 3,7 В, тому двоелементна батарея ("2S") має напругу 7,4 В, триелементна ("3S") – 11,1 В і так далі.

Третій параметр - це максимальний струм або значення "C". Він вказує на те, як швидко батарея може віддавати енергію; чим вищий показник "C", тим більший струм може видавати батарея, що важливо для дронів, які потребують високих пікових навантажень, наприклад, для гоночних FPV-дронів. [16]

Літій-іонні (Li-ion) батареї також широко використовуються в дронах, але вони менш поширені в FPV-дронах, ніж LiPo. Літій-іонні батареї мають менший вихідний струм, але набагато більшу енергоємність на одиницю ваги, що робить їх ідеальними для тривалих місій, де час польоту повинен бути максимальним.

Літій-іонні батареї також мають більшу кількість циклів заряду і розряду і постійний рівень напруги протягом усього періоду розряду.

FPV Камера. FPV-камера є ключовим компонентом FPV-дрона і забезпечує пілота відеопотоком в реальному часі з перспективою від першої особи. Потім цей сигнал передається на наземну станцію або FPV-окуляри.



Рисунок 2.12 – FPV Камера

Основні характеристики, які слід враховувати при виборі FPV-камери, включають роздільну здатність, поле зору (FOV), якість зображення в різних умовах освітлення і розмір.

FPV Окуляри / Приймач. FPV-окуляри захоплюють відео з дрона в реальному часі і показують його пілоту, дозволяючи йому бачити дрон так, ніби він знаходиться на ньому.



Рисунок 2.13 – FPV окуляри / приймач

FPV-окуляри мають різні характеристики, включаючи роздільну здатність, поле зору (FOV), зручність та параметри посадки. Деякі окуляри мають вбудований відеореєстратор для запису відео безпосередньо з дрона.

Деякі FPV-монітори використовуються як альтернатива окулярам. Це корисно для людей, які носять окуляри або яким незручно носити FPV-окуляри протягом тривалого часу.

Анени. Існують різні типи антен залежно від конкретних потреб.



Рисунок 2.14 – Анени

Наприклад, лінійні антени прості у виготовленні та використанні, але можуть втрачати сигнал, якщо напрямок дроту змінюється.

Анени з круговою поляризацією можуть забезпечити більш стабільний

сигнал незалежно від напрямку дрона, але вони складніші у виготовленні і часто громіздкі.

Вибір антени також залежить від використовуваної частоти: Найпопулярніші частоти для FPV-польотів - 2,4 ГГц і 5,8 ГГц, але є й інші варіанти. [17]

Відеопередавач. VTX працюють на різних частотах, зазвичай у діапазоні 5,8 ГГц, але існують також варіанти 2,4 ГГц і 1,3 ГГц. Чим вища потужність передавача, тим більша дальність польоту, але при цьому можуть збільшитися перешкоди для інших систем FPV і може знадобитися більша потужність.



Рисунок 2.15 – Відеопередавач

Відеопередавачі передають відеосигнали з FPV-камери на FPV-окуляри або монітор.

Рама дрона. Рама є центральним компонентом усіх безпілотних літальних апаратів і впливає на вагу, маневреність, стійкість і здатність витримувати зіткнення та удари.



Рисунок 2.16 – Рама дрона

Рами бувають різних типів і форм залежно від застосування. Для перегонів FPV-дронів найпопулярнішими є рами у формі "X" та "H": X-подібна рама забезпечує оптимальну стабільність і маневреність, тоді як H-подібна рама має додатковий простір для розміщення електронних компонентів.

Рами можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи пластик, алюмінієві та сталеві сплави, але найпоширенішим матеріалом є вуглецеве волокно, яке є міцним і легким.[18]

Розмір рами зазвичай вимірюється в дюймах і означає найбільшу відстань між двигунами по діагоналі. Для гоночних і фрістайл дронів найбільш поширені рами розміром 3-7 дюймів, тоді як менші дрони можуть використовувати рами розміром 2 дюйми або менше.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ FPV-ДРОНІВ

3.1 Алгоритм застосування машинного навчання для модернізації FPV-дронів

Штучний інтелект. Штучний інтелект – це тренд сучасного суспільства і один з основних векторів розвитку. Військова техніка не залишається осторонь цих тенденцій. Зокрема, технологія штучного інтелекту вже впроваджена в безпілотниках, в тому числі і в українських БПЛА. Розмови про розробку штучного інтелекту ведуться вже щонайменше півроку.[14]

З'ясовано, що наразі відомо про БПЛА зі штучним інтелектом, які могли б допомогти Україні в обороні та наблизити перемогу над Росією, як відбувається цей процес, які можливості та ефективність мають безпілотники зі штучним інтелектом.

Є, також, багато можливостей, які дає штучний інтелект дронам. Дрони зі штучним інтелектом можуть моніторити великі території, виявляти підозрілу активність і відстежувати людей і транспортні засоби в режимі реального часу. Алгоритми розпізнавання облич і виявлення об'єктів покращують здатність виявляти потенційні загрози.

Інтеграція штучного інтелекту в дрони дає численні переваги:

- алгоритми ШІ дозволяють дронам працювати автономно, зменшуючи потребу в постійному втручанні людини;
- дрони зі штучним інтелектом можуть обробляти і аналізувати дані в режимі реального часу;
- ШІ дозволяє дронам адаптуватися до мінливих ситуацій і сценаріїв;
- ШІ допомагає безпілотникам виявляти та уникати перешкод, зменшуючи ризик зіткнень та аварій.[14]

Як заявив наприкінці січня лейтенант Андрій Коваленко, заступник директора Центру інформаційних заходів РНБО, спортивні дрони зі штучним інтелектом з'явилися в США три-чотири роки тому, а дрони-камікадзе з штучним інтелектом незабаром вийдуть на передові позиції.

В українські безпілотики інтегрують штучний інтелект. Європейська кампанія вже заявляла про намір впровадити технологію штучного інтелекту в безпілотики, в тому числі в українські БПЛА. 24 лютого міністр та Гюнтберт Шерф, генеральний директор та співзасновник компанії Helsing GmbH, підписали меморандум про взаєморозуміння щодо співпраці у секторі безпеки та оборони. Але українські винахідники працюють над дронами зі штучним інтелектом набагато довше і вже говорять про деякі можливості. До цього, слід зазначити, що є вже кілька прикладів розробки систем зі штучним інтелектом для дронів.

Twist Robotics. Львівська компанія Twist Robotics спеціалізується на розробці та виробництві IP-камер і дронів.

Вони презентували тестове відео програмного забезпечення на основі штучного інтелекту, яке може суттєво оновити арсенал українських FPV-дронів; інформація про тестування AI-розробок була опублікована в червні 2023 року.

За словами Ростислава Оленчина, співзасновника компанії Twist Robotics, нова система наведення на основі штучного інтелекту дозволить БПЛА залишатися на цілі навіть тоді, коли дрон втрачає зв'язок з оператором через наявність перешкод або великих фізичних об'єктів, таких як пагорби.

"Після наведення на ціль безпілотики керується цією системою", - сказав Оленчин. Датчики безпілотики розпізнають фізичні характеристики цілі і відповідно коригують траєкторію корабля.[14]

SkyKnight 2. У серпні 2023 року українські фахівці розробили автопілотований безпілотики зі штучним інтелектом SkyKnight 2 (рис.3.1), який, як повідомляється, був схвалений до використання Міністерством оборони України.

Безпілотики може використовуватися як дрон-камікадзе або для скидання корисного вантажу на цілі за допомогою керованих маневрів. Однією з

особливостей цього безпілотної є функція "автопілота". Це означає, що після виявлення цілі безпілотної автоматично летить до неї під контролем бортового комп'ютера. "Наприклад, якщо зв'язок втрачено через радіоелектронну боротьбу, безпілотної в такому режимі полетить до цілі, навіть якщо вона перебуває в русі".

Технічні характеристики SkyKnight 2:

- максимальне корисне навантаження 2,5 кг;
- модуль сітчастої мережі;
- спеціалізоване льотне ядро з модулем штучного інтелекту;
- автоматичний режим польоту.[14]



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд БПЛА SkyKnight 2

Платформа Unity. Є декілька причин, чому слід обрати платформу Unity(рис.3.2) для створення FPV-симулятора дрона. Unity є одним з найпопулярніших ігрових рушіїв на сьогоднішній день і має багато переваг для розробки симуляторів. Unity підтримує багато платформ, включаючи Windows, MacOS, Android, iOS, Linux, Android, iOS, Linux та VR-платформи. Це робить Unity ідеальним вибором для розробки симуляцій FPV дронів, доступ до яких можна отримати з різних пристроїв і платформ.



Рисунок 3.2 – Логотип платформи Unity

Розширений набір інструментів. Unity має широкий набір інструментів для створення візуально привабливих та фізично достовірних сцен. Це означає, що можна використовувати вбудований фізичний рушій Unity, освітлення та інші інструменти для створення реалістичних сцен і моделей для FPV польотів.

Спільнота та підтримка. Unity має одну з найактивніших спільнот розробників, яка допомагає вам вирішувати проблеми, вивчати нові техніки та ділитися ресурсами. Існує також багато онлайн-курсів, навчальних посібників та документації, доступних для навчання та допомоги в процесі розробки.

Бібліотеки та плагіни. Unity має велику кількість плагінів та бібліотек. Це дозволяє легко інтегрувати додаткові функції та компоненти, такі як підтримка контролерів.[6]

Ці фактори роблять Unity чудовим інструментом для розробки симуляторів FPV дронів, що дозволяє створювати реалістичні багатоплатформні додатки з широким спектром можливостей.

Технічні вимоги та стандарти для FPV-симуляторів. Технічні вимоги та стандарти до FPV-симуляторів продиктовані як потребами користувача, так і необхідністю створення реалістичного досвіду польоту.[18]

Вони охоплюють ряд важливих аспектів:

1. *реалістична фізика польоту.* Однією з ключових вимог до FPV-симуляторів дронів є здатність точно відтворювати фізику польоту. Це означає, що при моделюванні поведінки дрона необхідно враховувати реальні фактори, такі як гравітація, аеродинамічний опір, маневреність і поведінка ротора;

2. *відтворення умов польоту.* Симулятор FPV дрона повинен мати можливість відтворювати різні умови польоту, включаючи різні типи місцевості,

погодні умови та освітлення;

3. *підтримка контролера*. FPV-симулятор повинен підтримувати різні контролери, включаючи радіопередавачі, що використовуються в реальних FPV-дронах;

4. *режими навчання*. Різні режими навчання можуть допомогти пілотам покращити конкретні навички, такі як реакція, орієнтація та керування дроном;

5. *зв'язок з реальним світом*. На відміну від традиційних ігрових симуляторів, FPV-симулятори повинні мати зв'язок з реальним світом дронів, включаючи реальні гоночні треки, підтримку та деталі для дронів. [6]

Вибір та обґрунтування технологій для розробки FPV-симулятора. Для розробки FPV-симулятора було обрано кілька ключових технологій, які полегшують процес створення та відповідають заданим вимогам.

Першою технологією є ігровий рушій Unity, який дуже добре відомий як потужний та гнучкий рушій для розробки ігор з великою кількістю інструментів та різноманітних можливостей. Unity є одним з найвідоміших рушіїв для розробки ігор на ринку завдяки своїй універсальності та простоті у використанні.

Важливим аспектом підключення FPV пультів є можливість роботи з симуляторами. Оскільки Unity підтримує широкий спектр контролерів вводу, можна без особливих зусиль підключати FPV-пульти до симуляторів. Це відкриває шлях до максимально реалістичного відтворення досвіду польоту з FPV.

Не менш важливою технологією є фізичний рушій PhysX, що входить до складу Unity, який дозволяє реалістично моделювати фізичні взаємодії, такі як зіткнення, тяга, опір і гравітація. Все це має вирішальне значення для більш точного відтворення реальної поведінки FPV-дронів. [19]

Розробка концепції FPV – симулятора. Концепція розробки FPV-тренажера базується на ідеї створення реалістичного досвіду польоту безпілотної. Це означає, що основні елементи та взаємодії, які відбуваються під час польоту реального дрона, повинні бути максимально точно відтворені в симуляторі.

Користувацький інтерфейс, який має відображати вигляд кабіни пілота

FPV-дрона. Цей вид буде включати інформацію про поточну швидкість і зображення з FPV-камери.

Фізика польоту. Моделювання фізичної поведінки безпілотної має бути найбільш наближеним до реальності, аби досвід, отриманий на симуляторі, можливо було перенести на реальний безпілотної.

Необхідно також дозволити симулятору вибирати різні моделі дронів та їхні компоненти. Це не тільки додасть грі глибини, але й змогу користувачам проводити експерименти з різними налаштуваннями і бачити, яким чином вони впливають на поведінку дрона.

Квадрокоптери, або дрони з чотирма роторами, є унікальними у тому, що вони здатні переміщатися в будь-якому напрямку та обертатися навколо будь-якої осі в просторі. Це досягається симетричністю квадрокоптера.

Під час моделювання фізики польоту важливо враховувати всі сили, що впливають на дрон. Наприклад, тяга, яку створюють ротори, протистоїть силі гравітації. Коли тяга більша за гравітаційну силу, дрон піднімається, і навпаки. Крім того, при переміщенні дрона вперед потрібно враховувати силу повітряного опору, яка залежить від швидкості та орієнтації дрона.

Середовище для польотів. Середовище польоту є дуже важливим елементом FPV-симулятора. Воно має бути реалістичним, деталізованим та захоплюючим, щоб забезпечити користувачеві якісний та унікальний досвід польоту. Крім того, різні середовища надають можливість тестувати і відпрацьовувати різні техніки пілотування. [20]

Екологічний розвиток починається з вибору типу локації. Це може бути міське середовище з вузькими вуличками та багатоповерхівками, природний ландшафт з полями та лісами, спортивний стадіон з різними видами перешкод для FPV-перегонів або критий майданчик для мікро-дронів.

Крім того, для моделювання тривимірних просторів використовується низка інструментів Unity, зокрема примітиви для моделювання навколишніх ландшафтів та об'єктів, складні 3D-моделі та ландшафтна система Unity для створення реалістичних природних ландшафтів.

Освітлення і матеріал об'єктів відіграють дуже велику роль у створенні атмосфери та реалістичності.

Аби зробити оточення якомога динамічнішим та цікавішим, можна додати рухомі об'єкти, наприклад: інші дрони, транспорт, люди та тварини, а також погодні умови, такі як вітер, дощ або сніг, які впливають на складність польоту дрона.

Нарешті, можна додати звукові ефекти. Звуки дрона, навколишнього середовища та інтерфейсу допомагають створити унікальну атмосферу та покращити загальне відчуття польоту.

Порівняння з іншими симуляторами. Під час створення FPV-тренажера слід враховувати основні функціональні особливості сучасних аналогічних літальних апаратів і додати багато нових рішень, які роблять тренажер унікальним. [21]

Комерційні симулятори мають багато обмежень. Наприклад, більшість з них не дозволяють обирати характеристики дрона. Однак симулятор дозволяє користувачеві обирати характеристики дрона, що дає змогу експериментувати з різними параметрами польоту і підлаштовувати досвід пілотування під власні уподобання.

Коли справа доходить до середовища польоту, більшість симуляторів досить обмежені. Слід розробити різноманітні карти польотів, щоб дозволити користувачам експериментувати з різними сценаріями та навичками, включаючи відкриті зони та, в майбутньому, закриті зони. Всі ці варіації допомагають зробити досвід польоту більш цікавим і реалістичним.

У такий спосіб, симулятор FPV-дрону містить всі переваги наших конкурентів, а завдяки додаванню нових функцій стає більш привабливим для користувачів різного рівня.

Розглянемо на приклад симулятора Betaflight. Betaflight – це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, спеціально розроблене для керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА), включаючи квадрокоптери, з видом від першої особи (FPV).



Рисунок 3.3 – Логотип симулятора Betaflight

Нижче наведені основні можливості та функції Betaflight:

- FPV фокус Betaflight присвячений найпопулярнішим типам FPV БПЛА, включаючи квадрокоптери;
- швидке і точне керування;
- програмне забезпечення розроблене для задоволення потреб гонщиків і пілотів, які виконують складні маневри і демонстрації;
- широкий діапазон налаштувань PID дозволяє точно налаштувати параметри управління польотної платформи для оптимальної продуктивності і стабільності;
- різноманітні режими польоту, включаючи Acro (акробатичний), Angle (кут стабілізації) та Horizon (політ у горизонтальній площині);
- автоматичні режими, включаючи стабілізацію, RTL (Return to Launch) та інші режими;
- моніторинг стану польотної платформи надає інструменти для перегляду і аналізу даних з польотної платформи, включаючи телеметрію, графіки;
- підтримка різних апаратних платформ, програмне забезпечення сумісне з різними контролерами польотної платформи;
- відкритий вихідний код дозволяє розробникам спільноти змінювати і розширювати функціональність програмного забезпечення. [22]

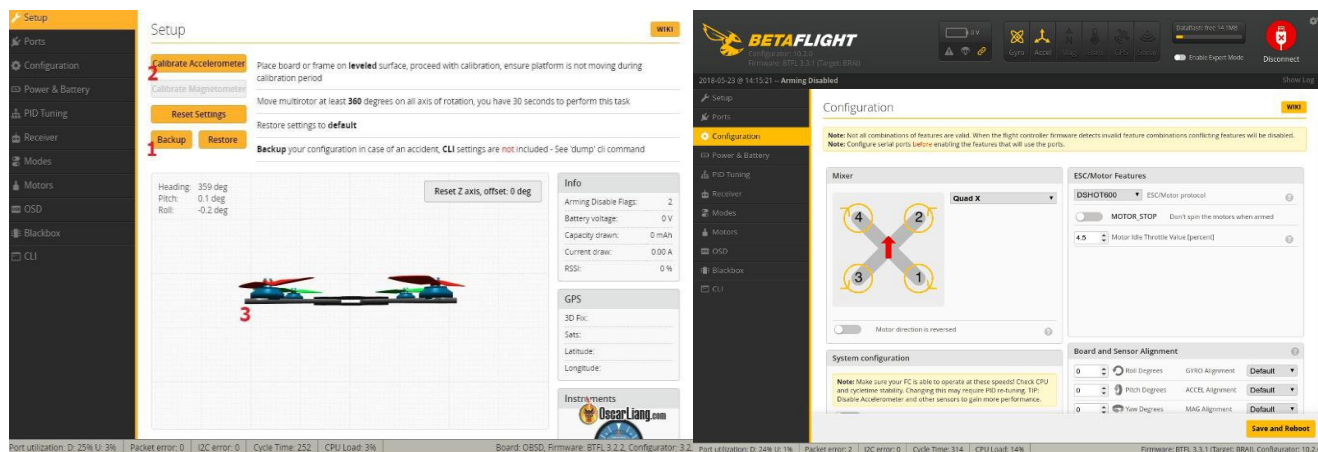


Рисунок 3.4 – Приклади інтерфейсу симулятора Betaflight

Betaflight є популярним ПЗ для керування FPV-перегонниками та квадрокоптерами, де важлива точність та надійність. Він популярний серед пілотів, які цінують точність і надійність.

3.2 Рекомендації щодо більш ефективного використання машинного навчання для модернізації FPV-дронів

Функціональною основою СППР (Система підтримки прийняття рішень) управління БПЛА є інформаційна технологія планування дій.

Інтегроване інформаційне середовище підтримує всі етапи розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та їх адаптації до вирішення завдань, що застосовуються для ефективного управління БПЛА:

- системи розпізнавання визначають характер відхилень показників від критеріїв прийнятності БЗ і на цій основі вирішують задачі розпізнавання;
- системи моніторингу орієнтовані на безперервну інтерпретацію даних у реальному часі та сигналізацію про вихід певних параметрів за межі допустимих значень;
- система управління визначає оптимальний курс дій і схему польоту та контролює його виконання;

– система прогнозування робить висновки про майбутній розвиток подій на основі поточних умов і оцінює параметри різних моделей польоту і режимів польоту. [23]

Завдання, які вирішує СППР:

- аналіз, оцінка та розпізнавання ситуацій та об'єктів;
- узагальнення результатів розпізнавання обстановки та об'єктів від декількох джерел зондування для формування єдиного інформаційного простору;
- контроль, оцінка та діагностика станів і параметрів;
- оцінка та визначення пріоритетів важливості альтернатив;
- виявлення та оповіщення про аварійні ситуації, надзвичайні ситуації, що загрожують БПЛА, та їх реєстрація;
- прогнозування розвитку подій, ситуацій та дій;
- застосування алгоритмів планування шляхів і сценаріїв дій;
- розробка рекомендацій та оцінка варіантів рішень;
- забезпечення швидкого налаштування, адаптації та модифікації систем до нових умов експлуатації. [24]

Основними структурними елементами інтелектуальної СППР є база знань і механізм логічних міркувань. Система базується на логічному обчисленні предикатів першого порядку. Для побудови моделі знань використовується спеціалізована внутрішня мова опису експертних знань. Механізм логічного висновку є модифікованим рішенням для обчислення предикатів. База знань призначена для зберігання набору фактів, закономірностей і зв'язків (знань), що визначають проблемну область, і набору правил, що визначають відповідну форму для структурування, формалізації і перетворення знань в цій області.

Механізм виведення – це набір методів для застосування правил виведення: СППР використовує поточні або проміжні входні дані (факти) та інформацію з бази знань для моніторингу стану підсистеми БПЛА, в результаті чого отримуються входні дані, отримані від бортової системи приладів або наземного пункту управління (факти), які при застосуванні до даних формують набір правил, які при застосуванні до даних призводять до вирішення конкретних завдань:

діагностики, прогнозування та коригування параметрів польоту та виконання місії. [25]

Гнучка і відкрита структура СППР дозволяє системі розширювати свої можливості і коло завдань, що вирішуються в процесі експлуатації, а використання досвіду, накопиченого в базі знань, постійно підвищує точність аналізу, прогнозування, планування, організації, координації і контролю прийняття рішень. Наявність достатньо повних інформаційних моделей у визначених предметних областях і постійний моніторинг тенденцій зміни контрольованих параметрів гарантують діагностику і прогнозування їх поведінки з достатньо високим ступенем достовірності і прогнозованої точності.

Модулі та бібліотеки. Модуль визначення предикатів призначений для створення бази даних фактів обраної системи аксіом на основі відношень першого (базового) порядку (предикатів) з бази даних.

База правил призначена для формального визначення логічних задач мовою обчислення предикатів першого порядку.

Бази фактів використовуються для інтерпретації аксіом в процесі логічних міркувань.

Бібліотеки обчислювальних модулів призначені для отримання необхідних даних для побудови баз фактів. [26]

Бібліотека внутрішніх функцій призначена для реалізації пов'язаних функцій, відношень та алгоритмів.

Таким чином, база знань системи включає базу правил і базу запитань. База правил формально визначає логічні задачі на мові представлення знань системи. База запитань призначена для оновлення, зберігання та використання списку можливих запитань для кожної логічної задачі.

Центральним елементом системи є модуль логічних міркувань, призначений для логічного виведення висновків (відповідей) із систем правил, що містяться в базі знань.

Модулі доступу до даних або універсальні процедури ідентифікації використовуються для створення бази фактів (початкових і проміжних даних

логічної задачі, що розв'язується) для системи аксіом, відібраних за первинними (базовими) зв'язками з даними в базі даних. [27]

Пояснювальна підсистема (у великокомплексній версії програми) надає вичерпну інформацію про причини отримання тих чи інших відповідей (фактів і правил) для логічних виводів, полегшує тестування системи і підвищує довіру до отриманих результатів.

Основні режими роботи системи:

- модифікація та оновлення бази знань;
- консультування або режим "питання-відповідь" (система надає відповіді на діагнози, рекомендації, повідомлення тощо). Наземні системи надають операторам можливість прийняття рішень природною мовою в режимі реального часу);
- автоматичний режим (основний режим для систем на базі БПЛА);
- пояснення результатів (додавки наземних систем надають вичерпну інформацію про причини тієї чи іншої відповіді, включаючи факти і правила, відбувається в процесі логічного міркування). [28]

Складність існуючих методів доведення в методах логіки предикатів обумовлена їх нерозв'язністю та необхідністю перебору великої кількості варіантів доведення в процесі пошуку рішення. Тому високі часові витрати на реалізацію деяких з цих методів роблять їх нульовою практичною цінністю.

У загальному вигляді база знань для кожного предиката виглядає наступним чином:

- тип (первинний – визначається фактами, квадратичний – визначається формулами, обчислюваний – визначається фактами, отриманими в результаті логічних міркувань);
- внутрішнє представлення на спеціальній формалізованій мові;
- смислове наповнення;
- формула обчислення предикатів (для вторинних);
- формули для визначення фактів (для обчислюваних);
- семантичний зміст речення. [21]

Смисловим наповненням предиката є текст відповіді на поставлене запитання. Смисловий зміст вказує на змінну (якій присвоюється значення, знайдене в результаті логічного висновку). Істинність або хибність предикату обчислюється внутрішнім програмним модулем алгоритму логічного висновку. Після присвоєння предикатам реальних значень.

Наприклад, для створення ІТ-системи для виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єктів на місцевості спочатку необхідно створити базу знань, що містить початкову сигнатурну інформацію про ціль та підстилаючу поверхню. Сигнатурна інформація може включати комбінацію інтегральних та спектральних коефіцієнтів яскравості, індекси цих коефіцієнтів, інтегральні та диференціальні поверхні розсіювання, типові портрети тощо. База знань фіксує умови, в яких використовувався БПЛА (кут спостереження об'єкта бортовою апаратурою, час доби, умови освітлення, вологість та інші погодні показники).

З появою безпілотних літальних апаратів розвинулися і технології захисту від них.

Існує безліч методів захисту, найпоширенішими з яких є такі способи нейтралізації:

- акустичні;
- лазери;
- мікрохвильова піч;
- традиційні сіткові системи;
- системи зупинки управління;
- безпілотники-перехоплювачі;
- системи радіоелектронної боротьби (РЕБ). [5]

Акустична система працює за принципом впливу на дрон звуком на частоті, яка резонує з вбудованим в пристрій гіроскопом. Гіроскопічний датчик - це компонент, який контролює положення дрона в просторі. Вибір резонансної частоти може призвести до неправильних показань гіроскопа та аварій. Недоліком цього методу є те, що його можна використовувати лише для відносно недорогих пристроїв, які не мають магнітометра, що дає точні координати курсу,

незважаючи на акустичні перешкоди. Крім того, дальність дії таких пристроїв обмежена приблизно 50 метрами при акустичній потужності 150 дБ. [30]

Військово-морський флот США розробляє лазерну систему. Такі системи здатні нейтралізувати безпілотні літальні апарати в радіусі 2 км від місця їх встановлення. Основою такої системи є твердотільний лазер, що працює в інфрачервоному діапазоні. Потужність таких лазерів може досягати 30 кВт, а час знешкодження цілі – до двох секунд. Система може працювати як у режимі нейтралізації датчиків цілі, так і у високоенергетичному режимі, який повністю нейтралізує ціль.

Мікрохвильові системи працюють за дещо іншим принципом. На відміну від прямого фізичного впливу лазера, мета нейтралізується за рахунок руйнування електронних компонентів всередині дрона під впливом електромагнітного випромінювання. Перевага таких систем полягає в тому, що одночасно можна нейтралізувати кілька цілей, розташованих поблизу.

Використання звичайних сіток - це найпростіший і найінтуїтивніший спосіб нейтралізації дронів. Достатньо виявити дрон і вистрілити з мережі, враховуючи траєкторію його польоту. Такі системи можуть бути повністю ручними або автоматичними. Автоматичну систему розробила компанія Openworks Engineering, яка розробила систему, здатну автоматично нейтралізувати дрони в радіусі одного метра від місця встановлення. Розроблена компанією система працює як в автономному, так і в ручному режимах управління.

Дрони-перехоплювачі - це БПЛА, призначені для нейтралізації інших дронів. Такі апарати зазвичай мають більш міцні корпуси та двигуни, ніж звичайні типи. Такі дрони можуть бути обладнані мережами для нейтралізації несанкціонованих дронів. Розробкою таких систем займаються японські фахівці.[29]

Системи радіоелектронної боротьби вже використовуються багатьма арміями світу. Такі пристрої можуть перешкоджати зв'язку між дроном і оператором, використовуючи шуми, що передаються на частотах, характерних для управління публічними дронами. Різні класи дронів по-різному реагують на

втрату сигналу від оператора. Деякі дрони використовують автономне керування та системи GPS і ГЛОНАСС, щоб спробувати повернутися до своїх координат зльоту. Щоб запобігти їх захопленню зловмисником, необхідно перехоплювати сигнали від навігаційної системи, а також сигнали контрольної частоти. Розвиток систем радіоелектронної боротьби призвів до використання переносних систем у вигляді гвинтівок. Недоліком такого підходу є те, що він не може нейтралізувати БПЛА, які працюють на частотах, не призначених для систем радіоелектронної боротьби, або працюють повністю автономно за заздалегідь визначеною програмою.

Системи блокування управління схожі на системи радіоелектронної боротьби і, на відміну від "глушіння" частот передачі сигналів управління, такі системи намагаються передавати власні команди БПЛА.

Існує три методи блокування управління:

- розшифрування криптографічного ключа з використанням грубої сили або вразливостей реалізації в певних криптографічних протоколах;
- використання вразливостей програмного забезпечення, таких як переповнення буфера;
- використання пропрієтарних інтерфейсів управління для запуску стороннього коду. [31]

Навіть дорогі БПЛА створюються з використанням технології Wi-Fi для зв'язку з оператором літального апарату. Для мінімізації затримок в управлінні часто використовують протоколи з мінімальним рівнем шифрування. Наприклад, протокол WEP, який зазвичай використовується для захисту мереж Wi-Fi, можна розшифрувати за лічені секунди. Як наслідок, можливі атаки "зловмисника посередині", під час яких перехоплюються пакети від операторів і надсилаються власні команди на управління.

Захист від безпілотних літальних об'єктів вимагає не тільки методів нейтралізації, але й методів виявлення та відстеження таких об'єктів. Ця стаття присвячена застосуванню технології комп'ютерного зору в задачах відстеження БПЛА, що використовуються в оборонних системах.

На жаль, обмежені ресурси, що виділяються сьогодні на оборону нашої країни, не дозволяють використовувати весь потенціал застосування різних типів БПЛА в повсякденному житті.

Війни завжди були ареною, де новітні технології використовуються для отримання переваги на полі бою. Останніми роками все більше уваги приділяється використанню безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з електричним двигуном у військових операціях. Україна не є винятком, а збройний конфлікт на сході країни зробив використання БПЛА в бойових діях просто необхідним.

Використання електричних БПЛА має кілька переваг перед звичайними паливними двигунами. По-перше, електричні двигуни є екологічно чистими, оскільки не викидають вуглекислий газ та інші шкідливі речовини. Це особливо важливо у військових операціях, де часто відбувається забруднення навколишнього середовища.

По-друге, електричні БПЛА енергоефективні. Вони використовують електричну енергію з різних джерел, включаючи акумулятори та паливні елементи. Це робить їх більш маневреними.

Крім того, електричні БПЛА мають менше технічних проблем, пов'язаних з витратою палива і обслуговуванням паливної системи, що спрощує експлуатацію і знижує витрати на обслуговування. [18]

Основними методами керування двигуном є скалярне та векторне керування. Вибір між ними залежить від конкретних вимог і застосування. Скалярне керування є простішим у реалізації, але має недоліки: обмежені можливості контролю швидкості та крутного моменту, а також схильність ставати неконтрольованим при зміні навантаження.

Векторне керування, з іншого боку, забезпечує незалежне інерційне керування швидкістю та крутним моментом двигуна. Це забезпечує вищу точність регулювання швидкості, плавний пуск і зупинку, а також швидшу реакцію на зміну навантаження. Векторне керування також підвищує ефективність двигуна за рахунок зменшення тепловиділення та втрат на намагнічування.

Однак векторне керування вимагає більш складних розрахунків і налаштування параметрів двигуна. Крім того, швидкість може коливатися при постійному навантаженні.

Остаточний вибір між скалярним і векторним керуванням залежить від конкретних вимог застосування, необхідності точності керування, динаміки та інших факторів. [25]

Серед усіх типів електродвигунів найпопулярнішим у дронах є двигун постійного струму з постійними магнітами. Це зумовлено високим ККД, потужністю, компактністю, безшумністю, керованістю та тривалим терміном експлуатації. Вони є важливою складовою сучасних військових операцій і можуть виконувати широкий спектр завдань з високою точністю та надійністю.

ВИСНОВКИ

У цьому документі досліджується сфера FPV дронів з особливим акцентом на військове застосування, включаючи класифікацію дронів, основи технології FPV, аналіз існуючих симуляторів, оцінку Unity як платформи для розробки симуляторів, а також технічні вимоги та стандарти для симуляторів FPV.

Розділ "Компоненти дронів FPV" охоплює основні компоненти дронів, включаючи контролери польоту, двигуни, електронні регулятори швидкості (ESC), акумулятори, камери FPV, окуляри/приймачі FPV, антени, відеопередавачі (VTX) та рами дронів. Ця інформація має вирішальне значення для розуміння того, як працює дрон і як взаємодіють його компоненти.

Враховуючи вищезазначені факти, існує нагальна потреба у підготовці великої кількості операторів БПЛА. При цьому дуже важливо з самого початку набутти навичок пілотування в різних завданнях. Хорошою концепцією для БПЛА початкового рівня є FPV-квадрокоптер з міцною кованою рамою, радіо та відеопідсилювачем високої якості сигналу.

Використання БПЛА в українській війні є корисною і перспективною стратегією, оскільки вони забезпечують безшумну, екологічно чисту мобільність і підвищують ефективність польотів і тривалість польоту. Їх використання різноманітне, включаючи розвідку, атаку ворожих об'єктів та комунікації.

Україна активно розробляє власні БПЛА для посилення своєї обороноздатності та забезпечення енергетичної самодостатності.

Обміни з партнерами з інших країн також сприяють вдосконаленню технологій та розширенню можливостей застосування БПЛА в бою.

Використання моторизованих БПЛА є важливим кроком у розвитку військових технологій і сприяє підвищенню ефективності та безпеки військових операцій. Ці технології дозволяють Україні вести точну та ефективну оборону кордонів, захищати своїх громадян та виконувати завдання у складних ситуаціях збройних конфліктів.

Серед практичних завдань – розробка FPV-тренажера безпілота на платформі Unity. Було виконано ряд важливих етапів, серед яких вибір та обґрунтування технологій розробки.

Крім того, було проведено порівняння розробленого тренажера з існуючими аналогічними літальними апаратами. Симулятор характеризується можливістю вибору характеристик дрона, наявністю різних карт для польоту, а також інтуїтивно зрозумілим та простим у використанні інтерфейсом.

Загалом, результати цієї роботи підтверджують актуальність теми та її важливість у військовому секторі. Як показано в цій роботі, симулятори FPV можуть слугувати важливим інструментом навчання і тренувань та надавати можливість покращити навички пілотування без ризику для дорогого обладнання або критично важливих місій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Харченко :. В. П. Основи аеродинаміки: визначення, основні принципи, поняття та гіпотези. courses.prometheus.org.ua. URL: <https://courses.prometheus.org.ua/assets/courseware/> (дата звернення: 05.04.2024).
2. Харченко :. В. П. Динаміка польоту: принципи, відмінності, спільні риси з аеродинамічним. courses.prometheus.org.ua. URL: <https://courses.prometheus.org.ua/assets/courseware/v1/5852100886e1151a81e41fd028bc8aad/> (дата звернення: 05.04.2024).
3. Для чого потрібні FPV дрони. wondertech.ua. URL: <https://wondertech.ua/ua/blog/dlya-chogo-potribni-fpv-droni> (дата звернення: 05.04.2024).
4. Як працюють FPV-дрони. aviatsiyahalychyny.com. URL: <https://www.aviatsiyahalychyny.com/blog/rozbyraemos-iak-pratsiuiut-fpv-drony/> (дата звернення: 05.04.2024).
5. Бережний А. О. Методи та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів. er.chdtu.edu.ua. URL: https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/1144/5/Бережний%20А.О._дисертація%2005.13.06.pdf (дата звернення: 06.04.2024).
6. Родцевич О.Т. Розробка симулятора для FPV дронів. ami.lnu.edu.ua. URL: <https://ami.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/Rodtsevych.pdf> (дата звернення: 06.04.2024).
7. Бутенко М. С. Автоматизована система керування електроприводами БПЛА. ela.kpi.ua. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/3f33b2ad-a26f-4efe-a2c3-8a5b25bd3f59/content> (дата звернення: 07.05.2024).
8. Безпілотник leleka LR. https://mil.in.ua. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayini-predstavlyly-novyy-bezpilotnyk-leleka-lr/> (дата звернення: 07.04.2024).

9. Динаміка польоту. *uk.wikipedia.org*.
URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Динаміка_польоту (дата звернення: 08.04.2024).
10. Дрон-камікадзе: характеристики та як працює безпілотник. *technotaras.com.ua*. URL: <https://www.technotaras.com.ua/blog/dron-kamikadze> (дата звернення: 08.04.2024).
11. FPV дрони. *defpoint.io*. URL: [https://defpoint.io/drony-ta-zapchastyny/fpv-drony#:~:text=FPV%20дрони%20\(First%20Person%20View,ix%20функції%20та%20ОМОЖЛИВОСТІ%20БЛИЖЧЕ](https://defpoint.io/drony-ta-zapchastyny/fpv-drony#:~:text=FPV%20дрони%20(First%20Person%20View,ix%20функції%20та%20ОМОЖЛИВОСТІ%20БЛИЖЧЕ). (дата звернення: 08.05.2024).
12. Безпілотний літальний апарат (БПЛА). *en.wikipedia.org*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle (дата звернення: 08.05.2024).
13. Куцька Наталія. Класифікації Безпілотних літальних апаратів (БПЛА). *courses.prometheus.org.ua*.
URL: https://courses.prometheus.org.ua/assets/courseware/v1/68ebc064390d45e9563400cfe630e96d/asset-v1:Prometheus+UAV_EB101+2023_T3+type@asset+block/1.4._Класифікації_Безпілотних_літальних_апаратів_БПЛА_.pdf (дата звернення: 09.05.2024).
14. Що дає штучний інтелект дронам. *dev.ua*. URL: <https://dev.ua/news/droni-zi-shtuchnym-intelektom> (дата звернення: 09.05.2024).
15. 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. (дата звернення: 09.05.2024).
16. Збруцький О. В., Масько О. М., Сухов В. В. Безпілотні літальні апарати контейнерного старту: сучасний стан і напрямки досліджень. Вісник НТУУ “КПІ”. Машинобудування : зб. наук. пр. 2012. № 64. С. 47–55. (дата звернення: 09.05.2024).
17. Радецький В. Г., Руснак І. С., Даник Ю. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія. Київ : НАОУ, 2008. 224 с. (дата звернення: 09.05.2024)

18. Цимбалістова О. А. Розвиток ринку послуг безпілотних літальних апаратів як основний напрямок інноваційного прогресу сучасної авіації. Економічний аналіз : зб. наук. пр. 2015. Т. 19, № 1. С. 116-122. (дата звернення: 09.05.2024)

19. Carr E. Unmanned Aerial Vehicles: Examining the Safety, Security, Privacy and Regulatory Issues of Integration into U.S. Airspace. Dallas, 2012. 44 p. (дата звернення: 09.05.2024)

20. Casti J. L. Dynamical Systems and their Applications: Linear Theory. New York : Academic Press, 1977. 240 p. (дата звернення: 09.05.2024)

21. Ceccarelli N., Enright J. J., Frazzoli E., Rasmussen S. J., Schumacher C. J. Micro UAV Path Planning for Reconnaissance in Wind. 2007 American Control Conference, New York, 9-13 July 2007. New York, 2007. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4282479>(дата звернення: 09.05.2024)

22. Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences : XXII ISPRS Congress, Melbourne, 25.08.2012-01.09.2012. Melbourne, 2012. P. 351–354. (дата звернення: 09.05.2024)

23. Koopman B. O. The Theory of Search: II. Target Detection. Operations Research. 1956. Vol. 4, № 4. URL: <https://doi.org/10.1287/opre.4.5.503> (Date of access: 15.01.2020). (дата звернення: 09.05.2024)

24. Mustapha Bekhti, Marwen Abdennebi, Nadjib Achir, Khaled Boussetta. Path Planning of Unmanned Aerial Vehicles With Terrestrial Wireless Network Tracking. Wireless Days (WD), Toulouse, 23-25 March 2016. Toulouse, 2016. P. 1–6. (дата звернення: 09.05.2024)

25. Plastiras G., Kyrkou C., Theocharides T. Efficient ConvNet-based Object Detection for Unmanned Aerial Vehicles by Selective Tile Processing. ICDSC '18 : Proceedings of the 12th International Conference on Distributed Smart Cameras, Eindhoven, 2018. September 2018. № 3. P.1–6. URL: <https://doi.org/10.1145/3243394.3243692> (дата звернення: 09.05.2024)

26. Shreyamsh Kamate, Nuri Yilmazer. Application of Object Detection and Tracking Techniques for Unmanned Aerial Vehicles. *Procedia Computer Science*. 2015. № 61. P. 436–441.

27. Stone L. D. Necessary and Sufficient Conditions for Optimal Search Plans for Moving Targets. *Mathematics of Operations Research*. 1979. Vol. 4, № 4. URL: <https://doi.org/10.1287/moor.4.4.431> (дата звернення: 09.05.2024)

28. Stone L.D., Stanshine J. A. Persinger C. A. Optimal search in the presence of Poisson-distributed false targets. *SIAM J. on Appl. Math.* 1972. Vol. 23, № 1. P. 6–27. (дата звернення: 09.05.2024)

29. Unmanned vehicles. Handbook 2017. Burnham : Shephard press, 2017. 278 p. (дата звернення: 09.05.2024)

30. Yan Jin, Yan Liao, Minai A. A., Polycarpou M. M. Balancing Search and Target Response in Cooperative Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Teams. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. 2006. Vol. 36, № 3. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1634650/citations?tabFilter=papers#citations> (дата звернення: 09.05.2024)

31. Koopman B. O. The Theory of Search III. The Optimum Distribution of Searching Efforts. *Operations Research*. 1957. Vol. 5, № 5. URL: <https://doi.org/10.1287/opre.5.5.613> (дата звернення: 09.05.2024)

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ
(Презентація)



**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
на тему: «Використання машинного навчання для
модернізації FPV-дронів»**

Виконала студентка групи КІД-41
Бриль Катерина Сергіївна
Керівник кваліфікаційної роботи:
Бученко Ігор Анатолійович,
старший викладач кафедри КІ

Київ – 2024

Мета роботи – дослідження можливості використання машинного навчання для модернізації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та FPV-дронів.

Об'єкт дослідження – дослідження вдосконалення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та FPV-дронів з використанням машинного навчання.

Предмет дослідження – особливості та умови використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та FPV-дронів в світі та їх модернізація.

Актуальність обраної теми

Впровадження машинного навчання в розробку дронів відкриває безліч можливостей для подальшого розвитку цієї технології. Застосування штучного інтелекту дозволяє дронам стати більш автономними, здатними виконувати завдання без постійного керування оператором.

Завдяки машинному навчанню, дрони можуть виявляти об'єкти на землі, розпізнавати обличчя, визначати місцезнаходження та уникати перешкод. Це не лише поліпшує їхні можливості для виконання завдань у реальному часі, але й забезпечує безпеку та ефективність їхньої роботи.

Машинне навчання також допомагає оптимізувати роботу дронів, зменшуючи споживання енергії та підвищуючи швидкість виконання завдань. Аналіз великих обсягів даних, зібраних від дронів, дозволяє вдосконалювати їхні алгоритми та підвищувати точність їхньої роботи.

Отже, використання машинного навчання в розробці дронів є важливим кроком у напрямку покращення їхніх можливостей, роблячи їх більш ефективними, автономними та універсальними для різних сфер застосування.

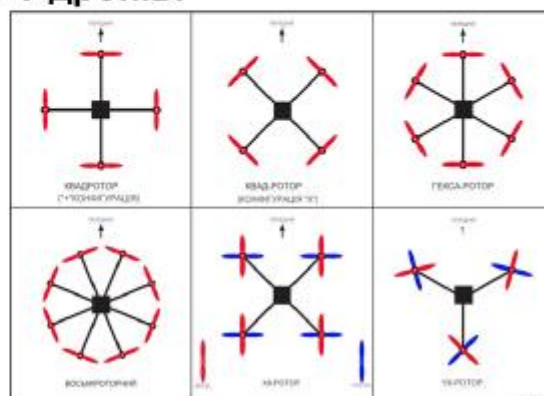
3

FPV-дрони та їх класифікація



FPV-дрони – це безпілотні літальні апарати з можливістю перегляду від першої особи (FPV).

Класифікація FPV-дронів:



4

БПЛА та їх класифікація

Безпілотний літальний апарат (БПЛА), широко відомий як дрон — це літальний апарат без жодного пілота, екіпажу чи пасажирів на борту.



Класифікація БПЛА



Клас	Категорія	Висота застосування
I (маса до 150 кг)	малі (15–150 кг)	до 1500 м
II (маса 150–600 кг)	тактичні	до 5500 м
III (маса понад 600 кг)	середньовисотні великої дальності (MALE — Medium-altitude long endurance)	до 14000 м
	висотні великої дальності (HALE — High-altitude long endurance)	до 20000 м

5



Комплектація дрона



Складові компоненти дрона:

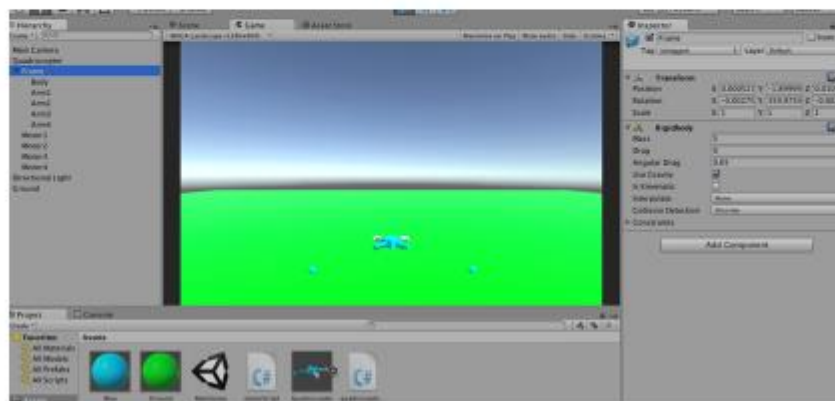
- електродвигуни;
- плата розподілу;
- контролер польоту;
- регулятор швидкості;
- батареї;
- FPV камера;
- FPV окуляри / приймач;
- антени;
- відеопередавач;
- рама дрона;
- пульт керування;
- GPS;
- телеметрія.

6

UNITY

Причини вибору Unity:

- розширений набір інструментів;
- спільнота та підтримка;
- бібліотека та плагіни.



7

Машинне навчання



Області, де машинне навчання може бути застосоване в FPV-дронах:

- автономна навігація;
- стабілізація та керування польотом;
- обробка відео в реальному часі;
- планування маршруту;
- застосування в гонках FPV;
- безпека.



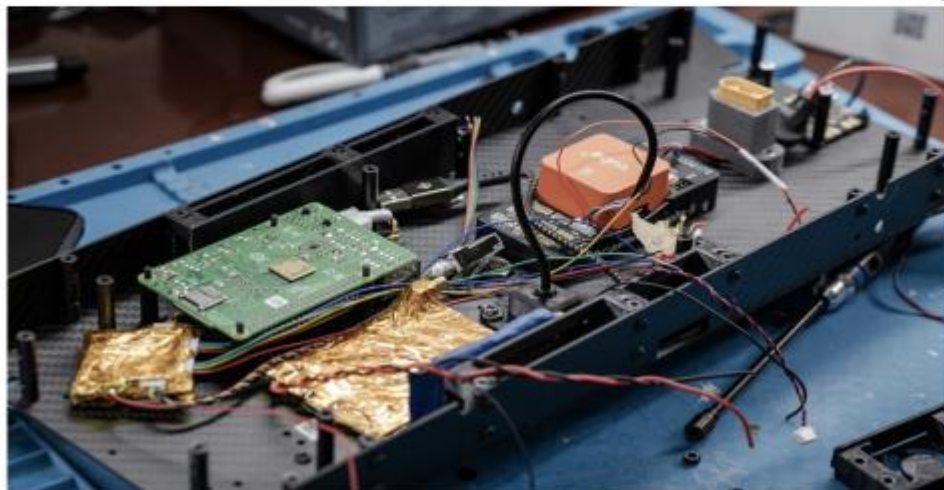
8

Машинне навчання FPV-дронів



9

Приклад системи для дронів з використанням машинного навчання



10

Приклад системи для дронів з використанням машинного навчання

SKYKNIGHT

Технічні характеристики SkyKnig

- максимальне корисне навантаження 2,5 кг;
- модуль сітчастої мережі;
- спеціалізоване льотне ядро з модулем штучного інтелекту;
- автоматичний режим польоту.



11

Комплектація дрона SkyKnight



12

ВИСНОВКИ



У цій роботі було досліджено сферу FPV-дронів з особливим акцентом на військове застосування, включаючи класифікацію дронів, основи технології FPV, аналіз існуючих симуляторів, оцінку Unity як платформи для розробки симуляторів, а також перспективи та приклади впровадження машинного навчання у розробку систем для дронів.

Дослідження підтвердили, що застосування алгоритмів машинного навчання може значно підвищити ефективність та функціональність FPV-дронів, розширюючи їх потенційне застосування у різних сферах, включаючи зйомку, розвідку, рятувальні операції та змагання.

Основні результати роботи свідчать про значне покращення точності керування дроном, що дозволило зменшити вплив людського фактора та підвищити стабільність польотів навіть у складних умовах.

13

ПРОДОВЖЕННЯ ВИСНОВКІВ



Використання штучного інтелекту та методів глибокого навчання дозволило б розробити систему автономної навігації, яка здатна самостійно визначати оптимальні маршрути, уникати перешкод та адаптуватися до змін у навколишньому середовищі.

Машинне навчання значно покращило б можливості обробки та аналізу даних, зібраних дроном, що підвищило б якість отримуваної інформації та прискорило б процес прийняття рішень.

Результати роботи підтверджують, що інтеграція машинного навчання у FPV-дрони є перспективним напрямком розвитку, який має значний потенціал для подальших інновацій та вдосконалень.

14