

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

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

_____ Микола СІДЄЛЄВ

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ БПЛА НА БАЗІ
ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

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

Здобувач

Микита ГУЛЕНКО

«__» _____ 2025р.

Керівник роботи

канд. техн. наук,

доцент

Олег ЩЕСЮК

«__» _____ 2025р.

Консультант

канд. техн. наук,

доцент

Анна АЛЕКСЄЄВА

«__» _____ 2025р.

Миколаїв – 2025

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
 Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Бакалавратський
Освітній ступінь	Бакалаврат
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизації та
 комп'ютерно-інтегрованих технологій
 канд. техн. наук, доцент

_____Микола СІДЄЛЄВ

“ ____ ” _____ 202_ року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу здобувача

_____Гуленко Микита Петрович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту
 керівник проекту (роботи) канд. техн. наук, доцент Іщук Олег Володимирович,
 затверджені наказом вищого навчального закладу від “_30”_10_2024 року №299

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.06. 2025

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Збір інформації та даних з бортових датчиків, автономне керування ІІІ безпілотним літальним апаратом: злет, посадка та уникнення перешкод. Ідентифікація перешкод та цілей, а також місць для екстрених посадок.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація; вступ; аналітичний огляд літератури та патентної інформації за темою роботи; розробка структурної схеми системи; розробка алгоритму роботи автоматизованої системи; розробка функціональної та електричної принципової схем; розгляд охорони праці при експлуатації та тестуванні автоматизованої система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту ; висновки; перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структурна, функціональна, електрична принципова схеми, плакат з алгоритмом роботи автоматизованої системи керування БПЛА на базі елементів ІІІ при зльоті, посадці а також політі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ	25.10.2024	
2	Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ	09.02.2025	
3	Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ	15.04.2025	
4	Алексєєва А.О., доцент кафедри екології	13.05. 2025	

7. Дата видачі завдання «30» Жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	23.09.2024	Виконано
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	01.10.2024	Виконано
3	Формування завдання	30.10.2024	Виконано
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2024	Виконано
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2024	Виконано
6	Виконання першої частини	02.12.2024	Виконано
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	27.12.2024	Виконано
8	Опрацювання другої частини	14.03.2025	Виконано
9	Робота над третьою частиною	18.03. 2025	Виконано
10	Робота над розділом з охорони праці	20.05. 2025	Виконано
11	Передзахисти	27.05. 2025	Виконано
12	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	19.06.2025	Виконано
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	20.06. 2025	Виконано

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Здобувач

Микита ГУЛЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Керівник роботи

К. Т. Н. , доцент

Олег ЩЕСЮК

«__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Гуленко М.П. Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту. Бакалаврська кваліфікаційна робота із спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології. – Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 2025. – 82 сторінки, 35 рисунків, 3 таблиці.

У Бакалаврській роботі розглянуто підходи до розробки автоматизованої системи керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) з використанням елементів штучного інтелекту. Особливу увагу приділено проблемі забезпечення надійної автономної орієнтації та навігації БПЛА в умовах обмеженої доступності до зовнішніх джерел інформації, зокрема при втраті GPS-сигналу, радіозв'язку або відео трансляції.

Проведено аналіз сучасних методів автономного управління, таких як інерційні навігаційні системи, комп'ютерний зір, алгоритми обробки сигналів та штучний інтелект. Запропоновано інтегрований підхід до об'єднання цих методів у єдину систему, що забезпечує високу точність та надійність орієнтації БПЛА в реальному часі. Розглянуто особливості апаратної реалізації та обмеження, які необхідно враховувати при розробці програмно-апаратного комплексу.

Результати моделювання підтверджують ефективність розроблених рішень. Визначено перспективи практичного застосування системи у сферах екологічного моніторингу, цивільної безпеки, пошуково-рятувальних операцій. Робота містить рекомендації щодо подальших досліджень та удосконалення систем автономного управління БПЛА з використанням інтелектуальних технологій.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, автоматизована система керування, автономна орієнтація, штучний інтелект, комп'ютерний зір, інерційна навігація, радіопридушення.

ANNOTATION

Hulenko M.P. Automated UAV control system based on artificial intelligence elements. Bachelor work of specialty in 151 Automation and computer-integrated technologies. - Mykolaiv, Petro Mohyla Black Sea National University, 2025. – 85 pages, 35 images, 3 tables.

This course paper explores the development of an automated control system for unmanned aerial vehicles (UAVs) based on artificial intelligence technologies. The focus is placed on ensuring reliable autonomous orientation and navigation in scenarios with limited access to external information sources, such as GPS signal loss, radio communication suppression, or video link disruption.

The work analyzes modern approaches to autonomous UAV control, including inertial navigation systems (INS), computer vision, signal processing techniques, and artificial intelligence algorithms. An integrated approach to combining these methods into a unified system is proposed to enhance accuracy and operational reliability in real-time conditions. Special attention is given to hardware implementation aspects and resource constraints that must be considered when designing the control system.

Simulation results confirm the effectiveness of the proposed solutions. The paper highlights the potential applications of the system in environmental monitoring, civilian security, search and rescue missions. It also provides recommendations for further research and the advancement of intelligent UAV control systems.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), automated control system, autonomous orientation, artificial intelligence, computer vision, inertial navigation, radio signal suppression.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА	12
1.1 Авіаційна платформа БПЛА	13
1.2 Компоненти системи керування безпілотного літального апарату	17
1.3 Сучасні методи автономної орієнтації	23
1.4 Проблеми керування БПЛА в умовах перешкод (придушення зв'язку, відсутність GPS)	27
1.5 Огляд літератури та патентний пошук.....	29
1.6 Постановка задач дослідження	34
Висновки до розділу 1	35
РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ БПЛА	36
2.1 Розробка функціональної схеми моделі	36
2.2 Розробка електричної принципової схеми моделі	37
2.3 Апаратно-програмна реалізація інтелектуальної системи керування ..	43
2.4 Блок-схема інтелектуальної системи керування БПЛА	58
Висновки до розділу 2	65
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА	66
3.1 Симуляційна перевірка функціональності системи	66
3.2 Результати тестування які бажано отримати під час польових умов ...	68
Висновки до розділу 3	69
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕСТУВАННІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА НА БАЗІ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	70
4.1 Загальні вимоги безпеки при роботі з БПЛА	70
4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників	72

4.3 Вимоги до безпечної експлуатації та тестування	74
Висновки до розділу 4	81
ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	85

ВСТУП

У XXI столітті безпілотні літальні апарати (БПЛА) перетворилися на одну із найдинамічніших а також технологічно складних напрямів у галузі автоматизації, телеметрії та автономних систем. Їхнє використання відіграє ключову роль у багатьох сферах – від цивільного моніторингу навколишнього середовища до картографії, також при виконанні пошуково-рятувальних операцій, де виникає необхідність у гнучкому, точному та безпечному управлінні повітряним простором без участі людини. Особливого значення набувають системи, здатні працювати в автономному режимі за умов відсутності зв'язку, GPS-навігації або в умовах активного радіоелектронного придушення.

Розвиток штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові перспективи для вирішення цих задач. Застосування інтелектуальних алгоритмів у системах керування БПЛА дозволяє реалізувати здатність апаратів до самостійного прийняття рішень, навігації, розпізнавання середовища, адаптації до змін зовнішніх умов і виконання завдань із мінімальним людським втручанням. Саме інтеграція методів ШІ з іншими технологіями — такими як інерційні навігаційні системи, комп'ютерний зір і обробка сигналів — забезпечує створення високоефективних автономних систем управління.

Одним із ключових викликів є розробка стійких до відмов систем орієнтації та навігації БПЛА, здатних працювати за умов втрати GPS або зв'язку з наземною станцією. У таких ситуаціях традиційні засоби керування виявляються недостатніми, що обґрунтовує потребу у впровадженні нових підходів до побудови інтелектуальних систем керування. Врахування апаратних обмежень, ефективність обробки даних та здатність до адаптації в реальному часі — основні вимоги до таких систем.

Актуальність теми полягає в тому, що сучасні виклики, пов'язані з застосуванням БПЛА у складних умовах (радіоперешкоди, відсутність GPS, необхідність автономії), потребують інноваційних технічних рішень.

Використання штучного інтелекту дозволяє створювати адаптивні та надійні системи управління, які можуть працювати незалежно від зовнішніх джерел інформації, що критично важливо для застосування в рятувальній а також в дослідницькій діяльності.

Метою дипломної роботи є дослідження та розробка автоматизованої системи керування БПЛА з інтеграцією елементів штучного інтелекту, здатної забезпечувати автономне функціонування літального апарату в умовах обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел.

Об'єктом дослідження є автоматизовані системи керування безпілотними літальними апаратами на базі ШІ, яке включає в себе реалізацію адаптивних алгоритмів, приймати рішення в реальному часі, виявляти перешкоди та реагувати на зміни та умови навколишнього середовища.

Предметом дослідження є принципи побудови інтелектуальних систем автономної орієнтації та навігації БПЛА, алгоритми які здатні обробляти дані з бортових сенсорів, прийняття рішень у реальному часі та методи обробки інформації в умовах відсутності зовнішнього зв'язку. А також здатність забезпечити стійку та надійну роботу БПЛА без зовнішнього втручання.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких основних завдань:

- проаналізувати сучасні підходи до автономної орієнтації БПЛА;
- визначити ключові проблеми, що виникають під час втрати зв'язку;
- дослідити можливості застосування алгоритмів ШІ у системах керування;
- розробити узагальнену архітектуру інтелектуальної системи керування БПЛА;
- оцінити ефективність запропонованих рішень у моделювальних або реальних умовах.

Таким чином, дана робота спрямована на формування комплексного підходу до проєктування інтелектуальних систем управління БПЛА, здатних функціонувати в умовах інформаційної ізоляції. Результати дослідження можуть

бути основою для подальшого розвитку у сфері автономної робототехніки та інших бортових безпілотних систем.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) є засобами повітряного пересування, що функціонують без безпосередньої участі пілота на борту, перебуваючи під контролем дистанційного оператора або діючи автономно завдяки вбудованим алгоритмам. Історично БПЛА були орієнтовані на військове використання, однак з розвитком технологій їх застосування поширилося на цивільні галузі — агросектор, екологічний моніторинг, топографічну зйомку, пошуково-рятувальні операції тощо.

Класифікація БПЛА за принципом аеродинамічної схеми (рис. 1.1) передбачає: літальні апарати літакового типу, вертолітного типу, багатороторні системи (мультикоптери) та конвертоплани. Вибір конструкції залежить від завдань, що покладаються на систему, необхідної автономності, дальності польоту та вантажопідйомності.

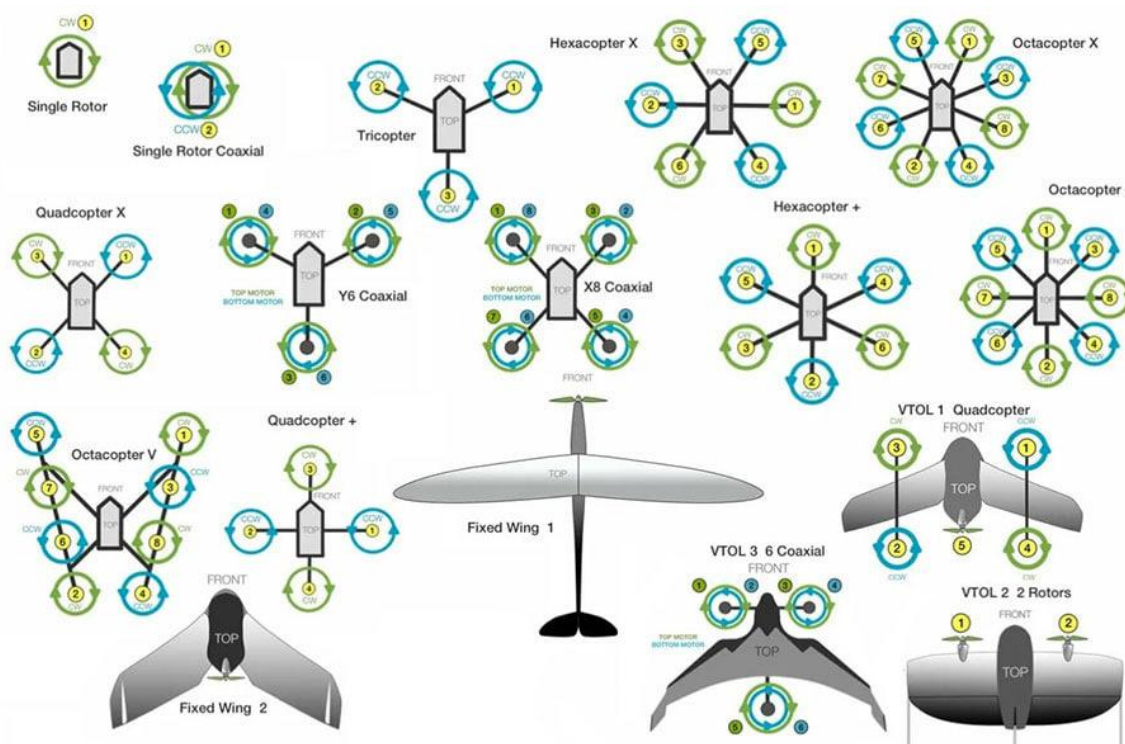


Рисунок 1.1 – Види БПЛА

У контексті побудови інтелектуальної системи керування БПЛА ключову роль відіграє апаратно-програмна архітектура апарата, що включає сукупність сенсорів, виконавчих механізмів, обчислювальних модулів та каналів зв'язку.

1.1 Авіаційна платформа БПЛА

Для побудови моделі в авіації, особливо для симуляції та аналізу аеродинамічних, механічних і фізичних процесів, необхідно розуміти низку основних теоретичних аспектів. Нижче наведені основні теорії з формулами, які можуть допомогти при створенні авіамоделей.

1.1.1 Аеродинаміка

Аеродинаміка в авіації вивчає взаємодію між тілом літального апарата та рухомим повітрям. Враховуються основні сили, такі як підйом, опір та моменти, які визначають стабільність і керованість апарата (Рис. 1.2).

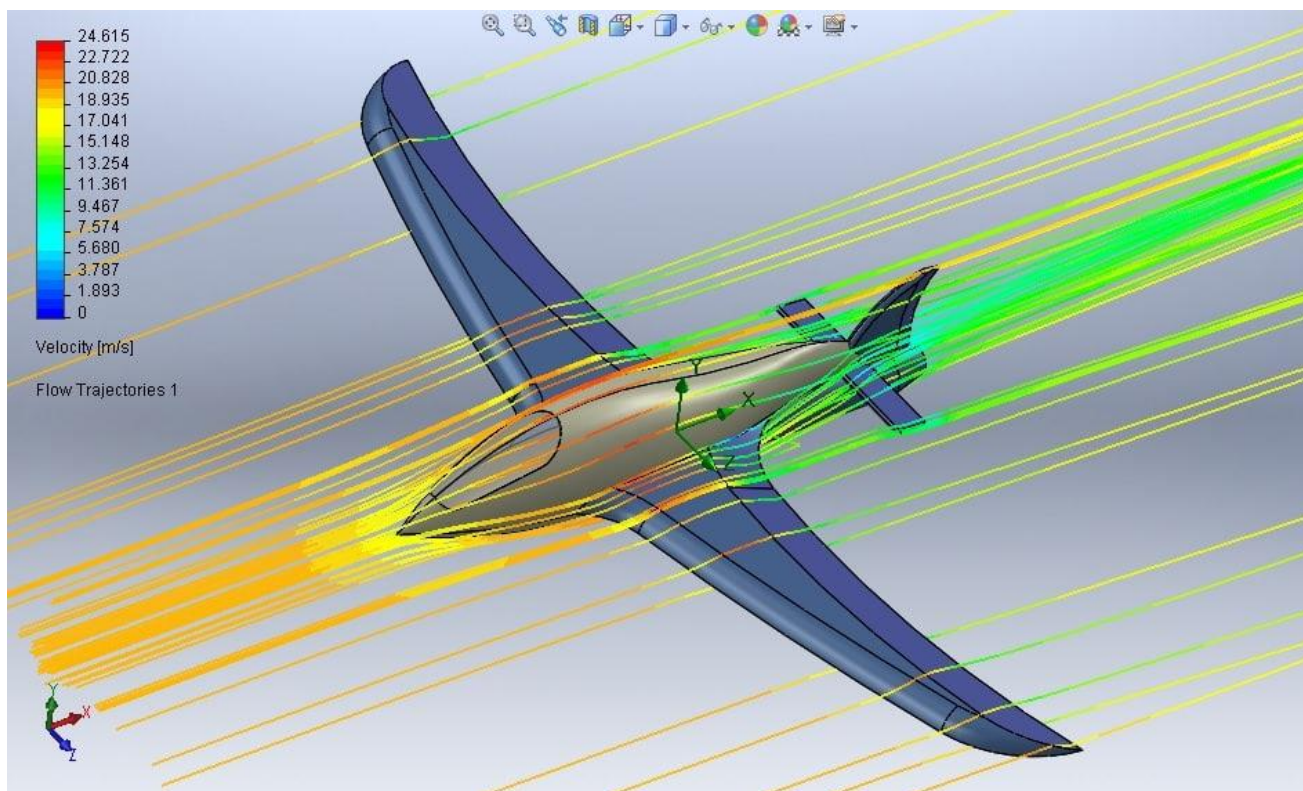


Рисунок 1.2 – Аеродинаміка БПЛА авіаційного типу

Для опису аеродинамічних процесів використовують рівняння Бернуллі, яке дає зв'язок між швидкістю потоку, тиском та висотою:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{const}$$

де: P – тиск на певній точці потоку, ρ – густина повітря, v – швидкість потоку, g – прискорення вільного падіння, h – висота.

Загальна сила, яка діє на літальний апарат, в основному складається з підйомної сили та сили опору. Підйомна сила залежить від швидкості потоку, площі крила і коефіцієнта підйому, а опір – від форми апарата та швидкості. Їх можна записати так:

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_L$$

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D$$

де: L – підйомна сила, D – сила опору, C_L – коефіцієнт підйому, C_D – коефіцієнт опору.

1.1.2 Механіка польоту

Механіка польоту описує рух літального апарата в тривимірному просторі з урахуванням усіх сил, що на нього діють, таких як сила тяги, опір, підйом і гравітація.

Для аналізу поступального руху можна використовувати рівняння Ньютона:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{\text{тяги}} - D$$

де: m – маса апарата, $F_{\text{тяги}}$ – сила тяги, D – сила опору.

Для опису обертального руху застосовують рівняння моментів сил:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M$$

де: I – момент інерції, ω – кутова швидкість, M – момент сили, що діє на апарат.

1.1.3 Термодинаміка та енергетичні процеси

Термодинаміка важлива для розуміння процесів, що відбуваються в двигунах і під час взаємодії літального апарата з навколишнім середовищем.

Перший закон термодинаміки визначає, що енергія в замкнутій системі зберігається, тобто зміна внутрішньої енергії системи дорівнює різниці між теплом, яке надходить до системи, і роботою, виконаною системою:

$$\Delta U = Q - W$$

де: ΔU — зміна внутрішньої енергії системи, Q — тепло, що додається до системи, W — робота, виконана системою.

Це рівняння описує енергетичні перетворення в процесах, таких як стиснення чи розширення газу в двигунах, обігрів або охолодження різних компонентів.

Для **ідеальних газів**, які часто використовуються в аналізі роботи двигунів та аеродинамічних процесів, рівняння стану має вигляд:

$$PV = nRT$$

де: P – тиск газу, V – об'єм газу, n – кількість молей газу, R – універсальна газова стала, T – температура газу.

Це рівняння використовується для розрахунку параметрів газових процесів, таких як стиснення або розширення повітря в камерах згоряння двигунів.

Кількість тепла, яке передається або поглинається системою в результаті зміни температури, може бути визначено через масу тіла, його питому теплоємність та зміну температури:

$$Q = mc\Delta T$$

де: m – маса тіла, c – питома теплоємність матеріалу, ΔT – зміна температури.

Другий закон термодинаміки визначає, що в процесах, що відбуваються в замкнутих системах, ентропія (міра неупорядкованості системи) завжди збільшується. Зміна ентропії при передачі тепла в оборотному процесі описується рівнянням:

$$\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T}$$

де: ΔS – зміна ентропії, Q_{rev} – кількість тепла, що передається в оборотному процесі, T – температура в процесі.

Кінетична енергія об'єкта, зокрема літального апарата, розраховується за класичною формулою:

$$E_{кін} = \frac{1}{2}mv^2$$

де: $E_{кін}$ – кінетична енергія, v — швидкість апарата.

Ця формула описує енергію, яку має літальний апарат у процесі його руху з певною швидкістю. Кінетична енергія є важливою для визначення швидкості зміни енергії в системі, а також для аналізу роботи двигуна та інших механізмів.

У реальних умовах під час руху через середовище (повітря, вода тощо) частина енергії витрачається на подолання опору. **Сила опору** може бути описана як функція швидкості, а енергія, що втрачається через опір,

розраховується за допомогою інтегралів по часу:

$$E_{втрати} = \int F_{опір} \cdot v dt$$

де: $F_{опір}$ – сила опору, v — швидкість, $E_{втрати}$ – енергія, що втрачається через опір, dt — елемент часу.

Сила опору залежить від різних факторів, зокрема від форми та розмірів об'єкта, швидкості, густини середовища та інших параметрів. У загальному випадку можна враховувати, що сила опору $F_{опір}$ пропорційна квадрату

швидкості v^2 , або більш складні залежності у випадку аеродинамічних або гідродинамічних потоків.

1.2 Компоненти системи керування безпілотною літальною апарату

Автоматизована система керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) є складною сукупністю апаратних та програмних засобів, які взаємодіють між собою з метою реалізації стабільного та ефективного польоту в автономному або напіваавтономному режимі. Ефективність функціонування системи керування напряму залежить від конструктивної повноти її складників, швидкості обробки даних, точності вимірювань та здатності адаптуватися до змін зовнішнього середовища.

У науковій літературі, наводиться узагальнена структурна модель типового БПЛА з поділом на функціональні модулі. Основні компоненти системи управління БПЛА можна класифікувати наступним чином:

1.2.1 Авіоніка

Авіоніка — це електронна підсистема, яка забезпечує керування польотом, навігацію, стабілізацію та виконання місії. До її складу входять:

- інерційна навігаційна система (ІНС), яка використовує гіроскопи та акселерометри для визначення положення і орієнтації апарата у просторі;
- глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS/GPS), що забезпечують геопозиціювання (у стандартних умовах);
- барометричні альтиметри для визначення висоти;
- електронний компас для визначення напрямку руху;
- автопілот для реалізації стабілізаційних алгоритмів та виконання запланованих маршрутів.

1.2.2 Контролери

Це вбудовані мікроконтролери або одноплатні комп'ютери (Рис. 1.3) наприклад, STM32, Pixhawk, Raspberry Pi, які обробляють інформацію з сенсорів,

виконують алгоритми стабілізації, маршрутизації та управління навігацією. Вони слугують центральним обчислювальним ядром, яке забезпечує обробку команд користувача або автономної системи прийняття рішень.



Рисунок 1.3 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 5

1.2.3 Сенсорика

Сенсори є ключовими джерелами інформації про зовнішнє середовище та внутрішній стан БПЛА. Вони включають:

- **гіроскопи та акселерометри** — для вимірювання кутових швидкостей і прискорень;
- **магнітометри** — для орієнтації по магнітному полю Землі;
- **барометри** — для визначення висоти;
- **ультразвукові та лазерні далекоміри** — для точного визначення відстані до поверхні;
- **камери та інші візуальні сенсори** — для комп'ютерного зору, розпізнавання об'єктів, слідкування за маркерами, навігації у візуальних умовах.

Наприклад, в розробках Тесли (Рис. 1.4) особливу увагу приділено поєднанню даних з кількох сенсорів для підвищення надійності орієнтації, зокрема — комбінуванню ІНС та комп'ютерного зору.



Рисунок 1.4 – Комбінація навігації Тесли

1.2.4 Система зв'язку

Цей модуль відповідає за двосторонній обмін інформацією між БПЛА та наземною станцією. Що включає в себе:

Електромагнітні хвилі та радіочастоти для БПЛА

Основою для передачі даних є радіохвилі, що належать до електромагнітного спектра. Для ефективного радіозв'язку використовуються різні частоти, які дозволяють мінімізувати вплив атмосферних перешкод, забезпечити дальність і надійність сигналу. Характеристики хвиль, як частота та довжина хвилі, визначають діапазони зв'язку для різних типів БПЛА.

Основним рівнянням для опису радіохвиль є:

$$E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t + \varphi)$$

де: $E(x, t)$ – електричне поле хвилі, E_0 – амплітуда хвилі, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильове число, $\omega = 2\pi f$ – кутова частота, φ – фаза хвилі.

Для радіозв'язку БПЛА використовуються частоти в діапазонах від декількох мегагерців до кількох гігагерців (наприклад, 2.4 GHz, 5.8 GHz для малих БПЛА).

Модуляція сигналу для передачі команд

Модуляція — це процес зміни сигналу перевізника відповідно до сигналу повідомлення. Ця техніка застосовується для модифікації характеристик сигналу. В основному модуляція поділяється на два типи:

- **Аналогова модуляція;**
- **Цифрова модуляція.**

При аналоговому модулюванні використовують аналоговий сигнал (синусоїдальний), який виступає як несучий сигнал і змінює параметри сигналу повідомлення або передачі даних. Основні характеристики синусоїдальної хвилі включають три параметри, які можна змінювати для регулювання модуляції: амплітуду, частоту та фазу. Отже, існують такі типи аналогової модуляції:

- **Амплітудна модуляція (AM);**
- **Частотна модуляція (FM);**
- **Фазова модуляція (PM).**

На (рис. 1.5) наведено типи аналогової модуляції.

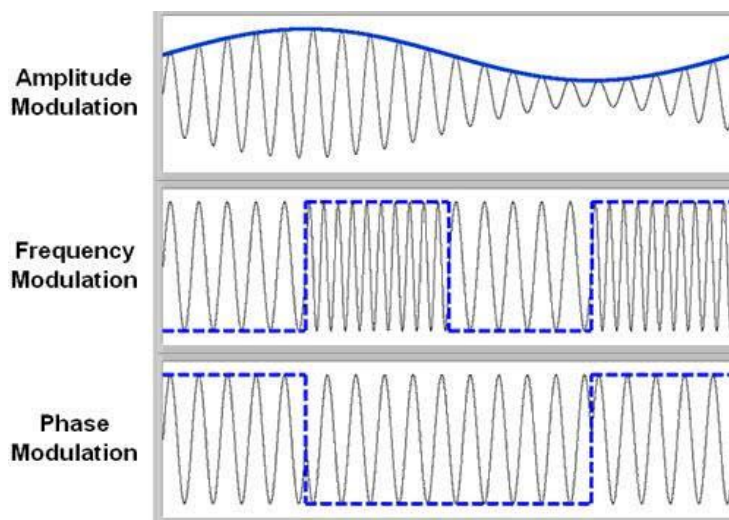


Рисунок 1.5 – Типи аналогової модуляції

У цифровій модуляції хвиля носія вмикається та вимикається, утворюючи імпульси, що дозволяє здійснити модуляцію сигналу. Як і в аналоговій модуляції,

тип цифрової модуляції визначається варіаціями параметрів хвилі носія, таких як амплітуда, частота та фаза (рис. 1.6).

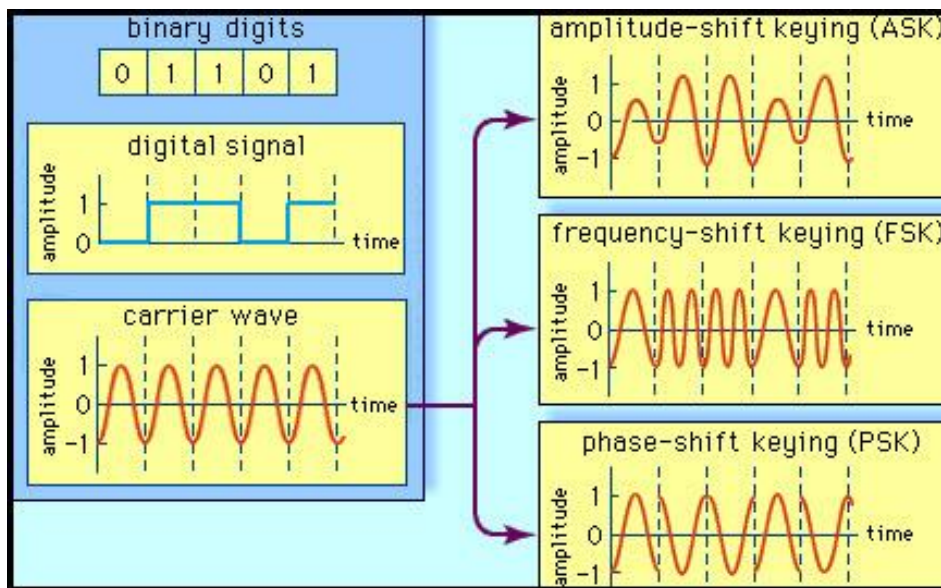


Рисунок 1.6 – Цифрова модуляція

Основні методи цифрової модуляції включають:

- **Зміна амплітуди;**
- **Зміна частоти;**
- **Зміна фази;**
- **Перемикання фаз;**
- **Квадратурне фазове перемикання;**
- **Мінімальна зміна;**
- **Гальванічне мінімізоване зміщення;**
- **Мультиплексування з ортогональним частотним поділом.**

На (рис. 1.7) наведені всі типи цифрової модуляції.

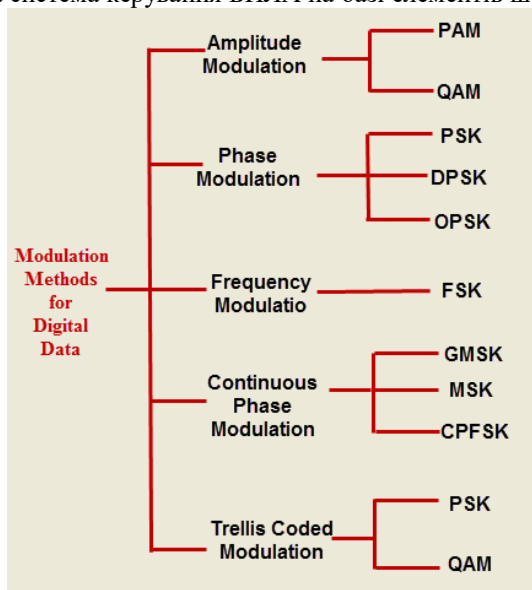


Рисунок 1.7 – Типи цифрової модуляції

При **зміні амплітуди** амплітуда хвилі носія змінюється відповідно до сигналу повідомлення або базового сигналу в цифровому форматі. Цей метод чутливий до шуму та зазвичай застосовується для низькочастотних вимог.

При **зміні частоти** частота хвилі носія варіюється для кожного символу цифрових даних, що потребує більших пропускних каналів. У свою чергу, **зміна фази** носія для кожного символу забезпечує меншу чутливість до шуму.

Загасання сигналу та дистанція зв'язку

При передачі сигналу через атмосферу він піддається загасанням. Це зниження потужності сигналу з відстанню можна виразити через формулу:

$$Pr = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

де: P_r – потужність прийнятого сигналу, P_t – потужність переданого сигналу, G_t та G_r – коефіцієнти підсилення антени, λ – довжина хвилі, d – відстань між антеною передавача та приймача.

Важливо враховувати відстань між передавачем і приймачем, а також можливість проходження сигналу через різні атмосферні умови (наприклад, туман, дощ, або інші перешкоди).

1.3 Сучасні методи автономної орієнтації

Автономна орієнтація безпілотної літальної апарату (БПЛА) є одним із ключових функціональних аспектів його ефективного і безпечного використання. Здатність апарату орієнтуватися у просторі без участі оператора чи зовнішніх джерел навігаційної інформації забезпечує основу для реалізації автономного польоту, особливо в умовах втрати зв'язку, відсутності сигналів GPS або ворожого радіоелектронного впливу.

З розвитком сенсорних технологій, комп'ютерного зору та штучного інтелекту стали можливими нові методи орієнтації, що базуються на поєднанні традиційних систем навігації з інтелектуальними алгоритмами. У джерелах систематизовано сучасні підходи до автономної орієнтації, які можна умовно класифікувати за кількома напрямками:

1.3.1 Інерційна навігація (INS)

Інерційна навігаційна система (ІНС) є базовим автономним джерелом інформації про положення, швидкість та орієнтацію БПЛА. Вона ґрунтується на використанні гіроскопів та акселерометрів, які фіксують зміну лінійного і кутового прискорення апарату. Перевага ІНС полягає в її повній незалежності від зовнішніх сигналів, що дозволяє підтримувати орієнтацію навіть у випадках придушення GPS або втрати радіозв'язку.

Проте головним недоліком ІНС є накопичення похибки в часі (дрейф), яке зумовлює поступове зниження точності орієнтації. З цієї причини ІНС у реальних системах майже завжди доповнюється іншими засобами, наприклад, супутниковою навігацією або комп'ютерним зором.

Візьмемо як приклад датчик положення MPU6050 (рис. 1.8), який об'єднує три-вісь прискорення та гіроскоп.

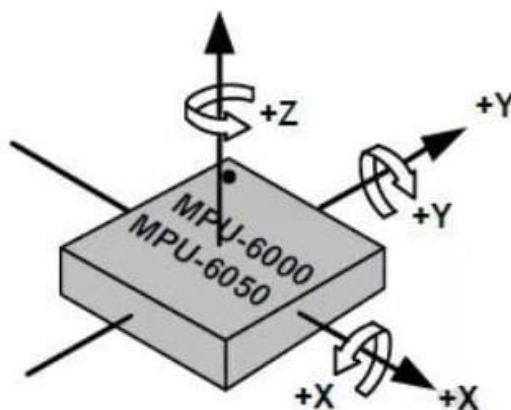


Рисунок 1.8 – MPU6050

Припустимо, що вісь z- системи координат снаряда вказує на небо. Ми закріпили фішку лицьовою стороною вгору, і система координат збіглася з системою координат снаряда. Вектор прискорення $a(x, y, z)$ можна сформувати, взявши за компоненти прискорення в трьох осьових напрямках. Припускаючи, що поточний чіп перебуває в стані рівномірного лінійного руху, то a має бути перпендикулярним до землі вгору, тобто вказувати на позитивний напрямок осі Z, ми можемо розрахувати кут нахилу відповідно до наступного малюнка (Рис. 1.9).

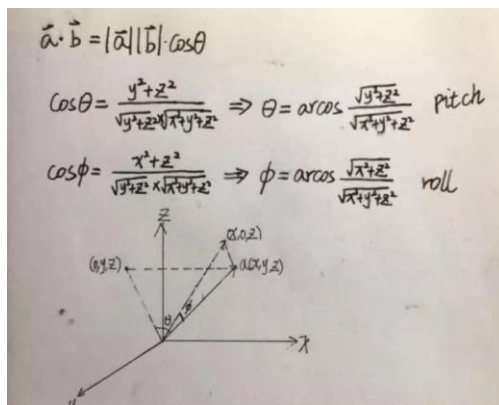


Рисунок 1.9 – Розрахунок куту нахилу

Як показано на малюнку вище, кут тангажу — це кут між вектором прискорення та його проекцією на площину ризання, а кут крену — це кут між вектором прискорення та площиною хоз. Ці два кути можна отримати за формулою внутрішнього добутку вектора.

1.3.2 Штучний інтелект та машинне навчання

Штучний інтелект (ШІ) — це галузь науки, що займається створенням систем, здатних виконувати завдання, які традиційно потребують людського інтелекту. Для ефективного виконання таких завдань, як розпізнавання мови, обробка зображень або прийняття рішень, використовуються різноманітні математичні моделі та алгоритми.

Машинне навчання (ML) є основою ШІ, адже дає змогу системам навчатися і покращувати свої прогнози на основі даних. Основною задачею машинного навчання є мінімізація функції втрат, яка вимірює помилку між прогнозом моделі та реальними даними. Типи машинного навчання наведено на (рис. 1.10).

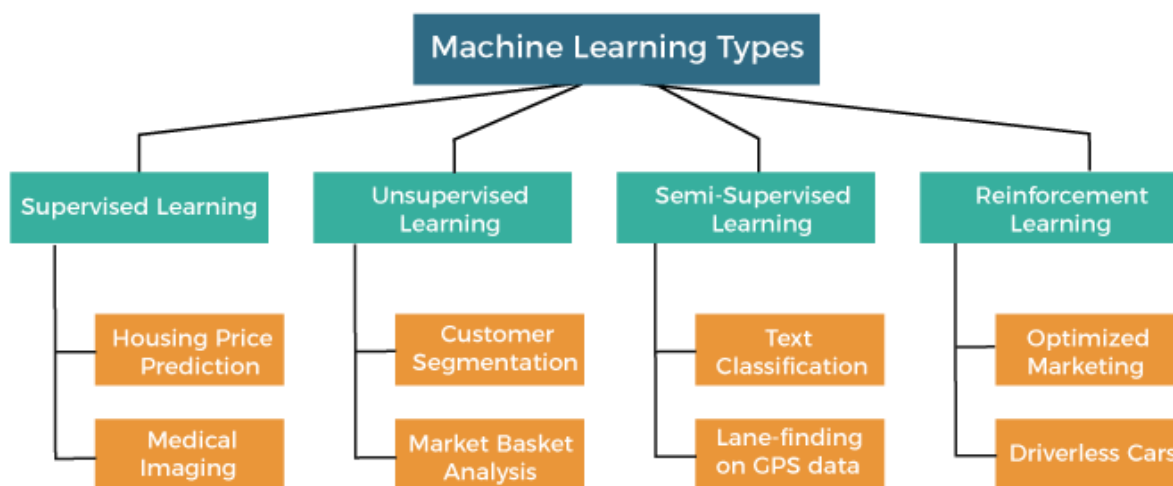


Рисунок 1.10 – Методи машинного навчання

Математична модель:

$$y = f(x, \theta)$$

де: x – вхідні дані, θ – параметри моделі, y — результат роботи моделі.

Метою навчання є мінімізація помилки, використовуючи функцію втрат:

$$L(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, \theta))^2$$

Для оптимізації параметрів моделі застосовується метод градієнтного спуску:

$$\theta := \theta - \alpha \nabla L(\theta)$$

де: α — швидкість навчання, $\nabla L(\theta)$ — градієнт функції втрат.

Нейронні мережі (Artificial Neural Networks, ANN) — це математичні моделі, натхненні роботою людського мозку. Вони складаються з кількох шарів, які перетворюють вхідні дані за допомогою ваг та зміщень. На (рис. 1.11) наведений приклад нейронних мереж графічно.

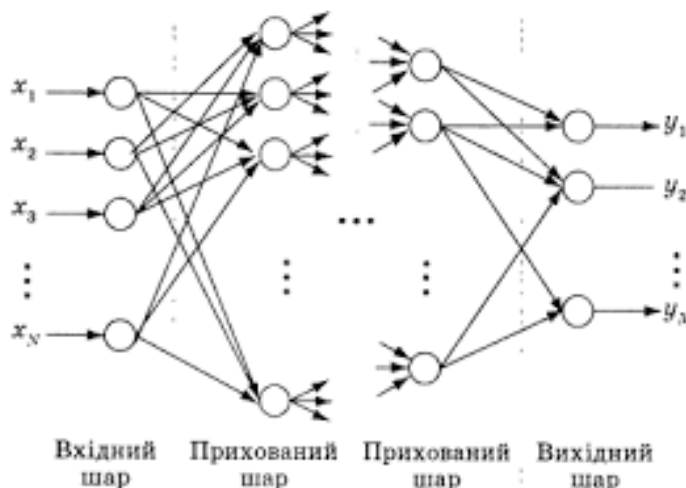


Рисунок 1.11 – Нейронні мережі ШІ

Один нейрон: Вагова сума вхідних даних для одного нейрона:

$$z = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b$$

де: w_i — ваги, x_i — вхідні дані, b — зміщення (bias).

Після цього застосовується функція активації, наприклад, сигмоїда:

$$a = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

або ReLU:

$$a = \sigma(z) = \max(0, z)$$

Навчання нейронної мережі: Основною задачею навчання нейронної мережі є мінімізація функції помилки, наприклад, крос-ентропії:

$$J(\theta) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i \log(a_i) + (1 - y_i) \log(1 - a_i)]$$

Де a_i — прогноз моделі, y_i — істинне значення.

Навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) використовується, коли агент взаємодіє з оточуючим середовищем і навчається максимізувати довгострокову нагороду. Цей підхід широко застосовується в робототехніці та автономних системах, таких як управління БПЛА.

Математична модель: Агент виконує дію a в стані s , переходить у нове стан s' і отримує нагороду r . Метою агента є максимізація очікуваної суми нагороди:

$$G_t = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1}$$

де: G_t – сумарна нагорода на момент часу t , γ – коефіцієнт дисконтування.

Алгоритм Q-learning: Функція $Q(s,a)$ оновлюється на основі нагороди та максимального значення функції цінності для наступного стану:

$$Q(s,a) := Q(s,a) + \alpha[r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a)]$$

де: $Q(s,a)$ — цінність дії a в стані s , α — швидкість навчання.

1.4 Проблеми керування БПЛА в умовах перешкод (придушення зв'язку, відсутність GPS)

Однією з найважливіших технічних і функціональних проблем сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є забезпечення надійного управління в умовах втрати зовнішніх джерел інформації — насамперед супутникової навігації (GPS) та радіоканалів зв'язку. Такі ситуації особливо актуальні у бойових або надзвичайних умовах, де активно застосовуються засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), або в географічно складних регіонах (гірська місцевість, ущелини, густі міські забудови), де сигнал супутників або базових станцій може бути відсутнім або нестабільним.

1.4.1 Придушення зв'язку

БПЛА зазвичай функціонують у режимі постійного обміну даними з наземною станцією управління. Через цей канал передаються команди керування, телеметрична інформація, відеопотік і службові сигнали. У разі придушення каналу зв'язку — наприклад, внаслідок радіоперешкод або глушіння на частотах 2.4/5.8 ГГц — апарат втрачає можливість отримувати нові команди та надсилати інформацію про свій стан. У кращому випадку це призводить до переходу в аварійний режим (наприклад, автоповернення), у гіршому — до повної втрати контролю над БПЛА.

Особливо критичною є втрата **відеозв'язку** — каналу передачі зображень із бортової камери, що дозволяє оператору орієнтуватися в реальному середовищі. Без відеопотоку дистанційне керування стає неможливим. Для автономної компенсації таких втрат необхідне впровадження комп'ютерного зору, локального аналізу зображень та автономного прийняття рішень на основі бортових даних.

1.4.2 Відсутність GPS-сигналу

GPS-навігація є основою глобального позиціонування більшості сучасних БПЛА. Вона забезпечує точне визначення координат, швидкості та напрямку руху. Проте у випадках, коли сигнал GPS глушиться або перекривається (наприклад, у міських каньйонах, тунелях, зонах бойових дій), БПЛА втрачає здатність орієнтуватися в глобальному просторі.

Відсутність GPS призводить до низки проблем:

- неможливість точного контролю траєкторії;
- відмова в роботі алгоритмів автоповернення та автопосадки;
- зростання похибок у навігаційних обчисленнях;
- накопичення помилок в ІНС без корекції.

У таких випадках єдиним виходом є використання **альтернативних джерел просторової інформації**, зокрема:

- **візуальної навігації** (Visual Odometry, SLAM);

- **інтегрованої навігації з поєднанням ІНС і комп'ютерного зору;**
- **моделей машинного навчання, які здатні передбачити положення або відновити орієнтацію на основі тренуваних сценаріїв.**

1.4.3 Інші типи перешкод

Окрім прямого глушіння сигналів, проблеми можуть виникати через:

- **затримки або збої передачі даних** (наприклад, у мобільних мережах);
- **надмірний шум у сенсорах** внаслідок електромагнітних перешкод;
- **проблеми з локальними системами позиціонування** (наприклад, коли об'єкти заважають ультразвуковим або лазерним датчикам).

1.4.4 Вимоги до системи керування

Під впливом таких загроз зростають вимоги до **відмовостійкості та інтелектуальної автономності БПЛА**. Зокрема:

- Система має самостійно **виявляти втрату зв'язку або GPS;**
- Забезпечувати **перехід у автономний режим** із застосуванням вбудованих сенсорів;
- Використовувати **моделі прогнозування та ухвалення рішень** без участі оператора;
- Мати **резервні джерела орієнтації** та маршрути аварійного приземлення;
- Застосовувати **внутрішні карти місцевості або інерційно-візуальну локалізацію.**

1.5 Огляд літератури та патентний пошук

Авторське свідоцтво UA 142431 U

Назва: Система захисту управління безпілотного літального апарата.

Призначення:

Спрямована на забезпечення захисту від перехоплення керування, виходу за межі зони дії ретранслятора, а також мінімізацію впливу перешкод під час роботи автопілота.

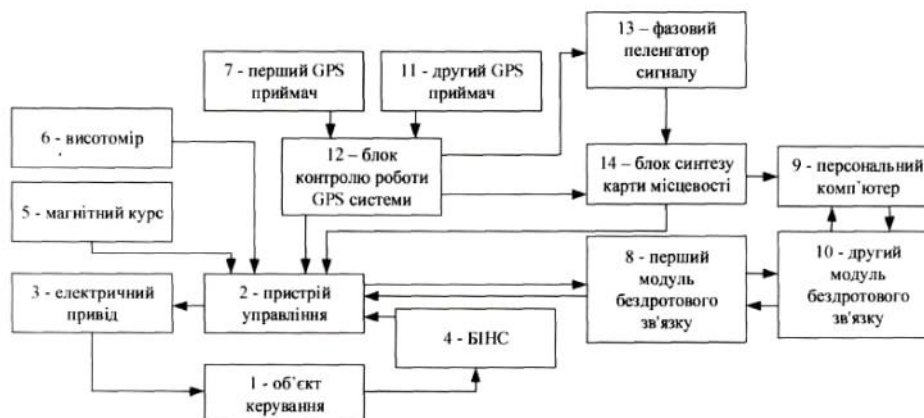


Рисунок 1.12 – Схема пристрою

Основні компоненти:

1. Об'єкт керування:

Пристрій, що виконує основну місію БПЛА під управлінням навігаційної системи.

2. Пристрій керування:

Модулі, які отримують команди для регулювання поведінки об'єкта керування.

3. Електричний привід:

Забезпечує фізичне переміщення основних елементів БПЛА, зокрема двигуна.

4. Блок інерціальної навігації (БІНС):

Використовує дані з інерціальних сенсорів для визначення координат та траєкторії.

5. Магнітний курс:

Датчик, який визначає напрямок на основі магнітного поля Землі.

6. Висотомір:

Дозволяє вимірювати висоту польоту над рівнем моря.

7. GPS-приймачі (перший і другий):

Перший GPS-приймач використовується для основної навігації, другий — для підвищення точності і резервування.

8. Модулі бездротового зв'язку:

Перший забезпечує передачу даних між БПЛА і базою, другий служить резервним каналом зв'язку.

9. Блок контролю роботи GPS-системи:

Моніторинг і підтримка функціональності GPS-приймачів.

10. Фазовий пеленгатор сигналу:

Використовується для визначення напрямку на джерело сигналу за допомогою фазової різниці.

11. Блок синтезу карти місцевості:

Створює 3D-карту місцевості для навігації та уникнення перешкод.

Особливості:

- Захист від зовнішнього втручання у канал управління.
- Повернення до бази або ухилення від зони глушіння сигналу.
- Забезпечення безпеки при включеному автопілоті.

Авторське свідоцтво UA 123456 C2

Назва: Система автоматичного ухилення від перешкод для БПЛА.

Призначення:

Забезпечує автономний обхід перешкод у польоті без втручання оператора.

Основні компоненти:

1. Лідарна система:

Формує тривимірну карту перешкод навколо БПЛА.

2. Модуль прогнозування руху:

Розраховує можливі шляхи обльоту перешкод у реальному часі.

3. Камера з функцією машинного зору:

Розпізнає об'єкти та визначає їхню траєкторію руху.

4. Контролер ухилення:

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту
Автоматично коригує курс польоту для уникнення зіткнень.

Особливості:

- Робота у складних умовах (міські зони, густі ліси).
- Інтеграція з автономними навігаційними системами.

Авторське свідоцтво ЕР 3178981 В1

Назва: Система захисту від перехоплення радіосигналу для безпілотних літальних апаратів.

Призначення:

Забезпечує безпеку переданих даних і команд управління через впровадження шифрування та частотної адаптації.

Основні компоненти:

1. Модуль шифрування сигналу:

Шифрує передані дані за допомогою алгоритмів AES або RSA, що унеможливорює перехоплення управління.

2. Адаптивний передавач:

Автоматично змінює частоту сигналу для уникнення глушіння.

3. Моніторинг спектра сигналу:

Визначає перешкоди та переналаштовує частоту передачі.

4. Система автентифікації:

Забезпечує доступ до управління лише авторизованим користувачам через обмін цифровими сертифікатами.

Особливості:

- Захист управління у реальному часі.
- Висока ефективність у складних радіочастотних середовищах.

Авторське свідоцтво UA 141239 U

Назва: Система для захисту безпілотного літального апарата від глушіння GPS-сигналів.

Призначення:

Ця система орієнтована на використання альтернативних технологій позиціонування та зв'язку у випадках, коли сигнали супутникової навігації (GPS, GLONASS) перебувають під загрозою.

Основні компоненти:

1. Блок супутникової навігації (GPS/GLONASS):

Основний приймач для отримання геолокаційних даних.

2. Блок аналізу спектра сигналу:

Виявляє перешкоди та визначає ймовірність глушіння сигналів.

3. Система дублювання навігаційних даних:

Використовує інерціальні сенсори, магнітометр і карту місцевості для визначення положення.

4. Система альтернативного зв'язку:

Забезпечує передачу даних через ретранслятори або за допомогою лазерних каналів зв'язку.

Особливості:

- Аналіз перешкод в реальному часі.
- Автоматичне перемикання між режимами супутникової навігації та альтернативної.
- Можливість створення маршрутів з урахуванням зон високої активності перешкод.

Авторське свідоцтво RU 2725318 C1

Назва: Система енергозабезпечення для довготривалого польоту БПЛА.

Призначення:

Підвищення автономності БПЛА шляхом використання альтернативних джерел енергії.

Основні компоненти:

1. Сонячні панелі:

Використовуються для зарядки акумуляторів під час польоту.

2. Система управління енергоспоживанням:

Автоматично оптимізує роботу компонентів для зниження енергоспоживання.

3. Дублюючі джерела енергії:

Можливість підключення резервних батарей або генераторів.

Особливості:

- Підходить для тривалих місій, таких як моніторинг територій.
- Можливість роботи у режимах низького енергоспоживання.

1.6 Постановка задач дослідження

Спираючись на поставленні завдання за темою бакалаврської роботи, було визначено головні задачі а проектування:

1. проаналізувати сучасні підходи до автономної орієнтації БПЛА;
2. визначити ключові проблеми, що виникають під час втрати зв'язку;
3. дослідити можливості застосування алгоритмів ШІ у системах керування;
4. розробити узагальнену архітектуру інтелектуальної системи керування БПЛА;
5. оцінити ефективність запропонованих рішень у моделювальних або реальних умовах.

Висновки до розділу 1

У першому розділі курсової роботи було проведено аналітичний огляд сучасних тенденцій у розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їх систем автоматизованого керування з використанням елементів штучного інтелекту. На основі джерела «А» встановлено, що застосування інтелектуальних алгоритмів у БПЛА забезпечує підвищену автономність, адаптивність до середовища та здатність до самостійного прийняття рішень у критичних умовах, зокрема при втраті зв'язку або сигналу GPS.

У ході аналізу було систематизовано типи БПЛА, розглянуто їх конструктивні особливості, принципи функціонування сенсорних систем, навігації та методи побудови інтелектуального керування. Особливу увагу приділено методам машинного зору, класифікації місцевості, використанню нейронних мереж та їх інтеграції у програмні платформи типу ROS 2.

Визначено, що сучасна інтелектуальна система керування БПЛА повинна поєднувати такі компоненти: модулі збору даних (GPS, IMU, камери, лідар), блоки машинного навчання для обробки зображень, алгоритми ухвалення рішень, а також інтерфейси керування автопілотом. Було сформульовано перелік потенційних проблем автономного керування, зокрема в умовах радіоперешкод, невизначеного середовища або інформаційного шуму.

За результатами огляду було чітко визначено мету, об'єкт, предмет дослідження та сформульовано основні задачі, що стали основою для подальшого проектування інтелектуальної системи керування БПЛА.

РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ БПЛА

Розробка демонстраційного БПЛА з інтеграцією штучного інтелекту (ШІ) є важливим кроком у створенні інноваційних технологій для безпілотних літальних апаратів. Цей процес включає в себе широкий спектр завдань — від технічного проектування до впровадження складних алгоритмів для забезпечення автономії та інтелектуальних можливостей.

2.1 Розробка функціональної схеми моделі

В рамках проєкту була розроблена функціональна схема демонстраційної моделі безпілотного літального апарата, яка включає інтеграцію штучного інтелекту. Ця схема охоплює всі основні компоненти БПЛА та передбачає взаємодію з системами ШІ, що дозволяють здійснювати аналіз даних і приймати рішення в реальному часі, що значно підвищує ефективність роботи апарата.

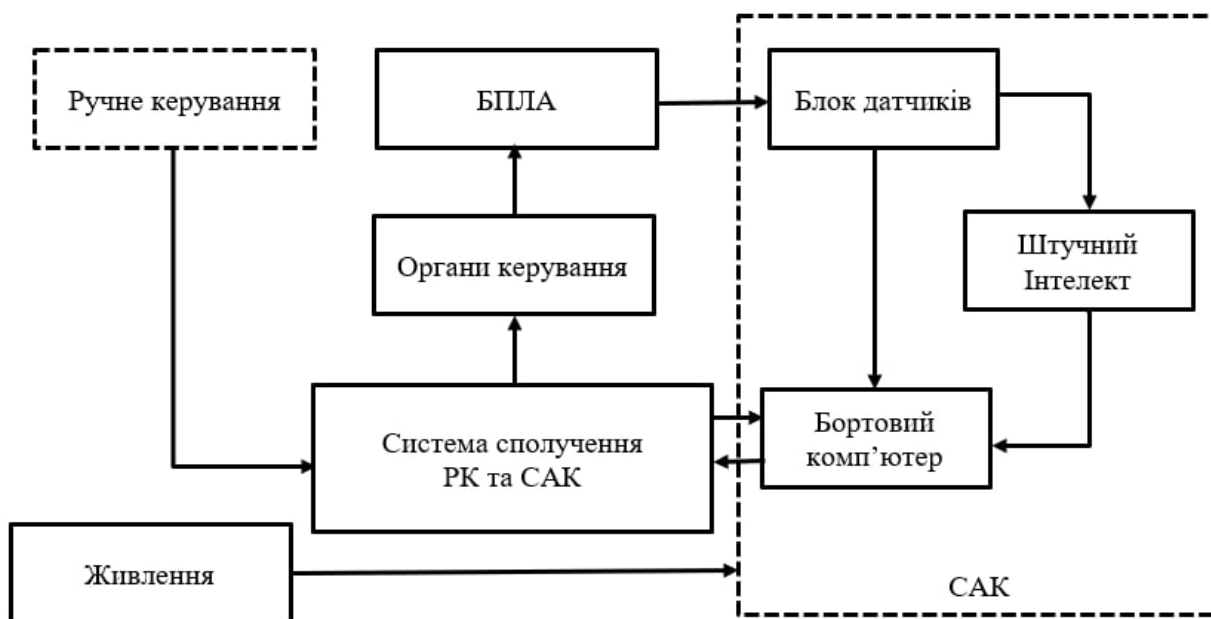


Рисунок 2.1 – Функціональна схема моделі

Так, як модель має демонстраційний характер, його схема доволі проста. Самим головним елементом є Система автоматичного керування, яка за допомогою датчиків, камери, GPS та лідара передає інформацію на бортовий

комп'ютер а також в сам штучний інтелект який є частиною бортового комп'ютера. Також сам ШІ отримує данні та за допомогою цих самих датчиків для навчання в реальних умовах. Цей блок в свою чергу взаємодіє з системою сполучення для допомоги пілоту який навчається керувати або повністю передає керування системі автоматичного керування над всіма органами керування БПЛА. А так же живлення що живить деякі органи керування а також саму бортову систему.

В даній роботі ми розглянемо саме таку схему побудови моделі а також інтегруємо ШІ з саморозвитком. Змоделюємо приблизні умови для базових вмінь а так же зробимо тестовий запуск.

2.2 Розробка електричної принципової схеми моделі

Як вже було зазначено, так, як прилад має демонстраційний характер, його схема доволі проста. Та в процесі виготовлення буде покращуватись.

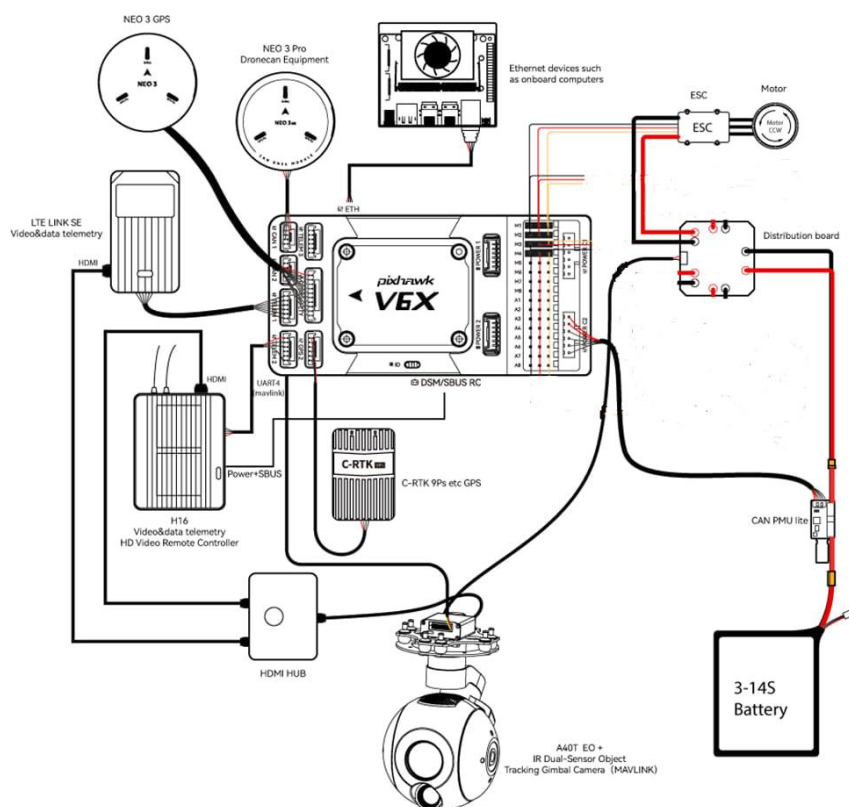


Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема

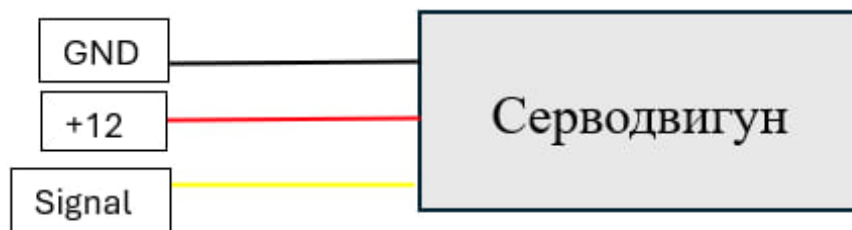


Рисунок 2.3 – Схема підключення Серводвигуна

Схема демонструє підключення компонентів для дрона типу «літаюче крило» з автопілотом ArduPilot. Центральним елементом є контролер ArduPilot, який відповідає за обробку сигналів і керування всіма компонентами дрона. До контролера підключаються наступні елементи:



Рисунок 2.4 – Приймач Spektrum AR8000



Рисунок 2.5 – Прередавач Spektrum DX8

Приймач отримує сигнали з **передавача** Spektrum DX8. Він підключений до виходів автопілота через відповідні канали, позначені кольоровими проводами (чорний, червоний, білий). Це дозволяє передавати команди управління дрону.



Рисунок 2.6 – Серводвигуни (SX110 spektrum)

Два серводвигуни, підключені до виходів автопілота (1 для правого і 2 для лівого елерона). Ці серводвигуни керують нахилом і поворотом крила для забезпечення стабільності та маневровості дрона. Опціонально можна підключити додатковий серводвигун для керування курсом (Yaw).



Рисунок 2.7 – E-flite 30-Amp Pro Switch-Mode Brushless ESC

Відповідає за керування безщітковим двигуном. Він підключений до автопілота через окремий канал, а двигун отримує живлення через цей регулятор.



Рисунок 2.8 – 3DR Power Module

Забезпечує живлення автопілота і всіх підключених компонентів. Він також контролює рівень напруги і струму, що дозволяє стежити за станом батареї.



Рисунок 2.9 – GPS модуль NEO-M8N



Рисунок 2.10 – Трубка Піто (Датчик повітряної швидкості)

GPS-модуль забезпечує навігацію дрона, тоді як трубка Піто використовується для вимірювання швидкості польоту.



Рисунок 2.11 – ArduPilot (Автопілот)

Для правильного функціонування системи потрібно виконати конфігурацію в програмному забезпеченні. У програмі задається тип крила (Delta

151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту Wing), налаштовується змішування каналів (Mixing), а також конфігуруються параметри роботи елеронів. Крім того, вибираються польотні режими через параметр FLTMODE_CH.

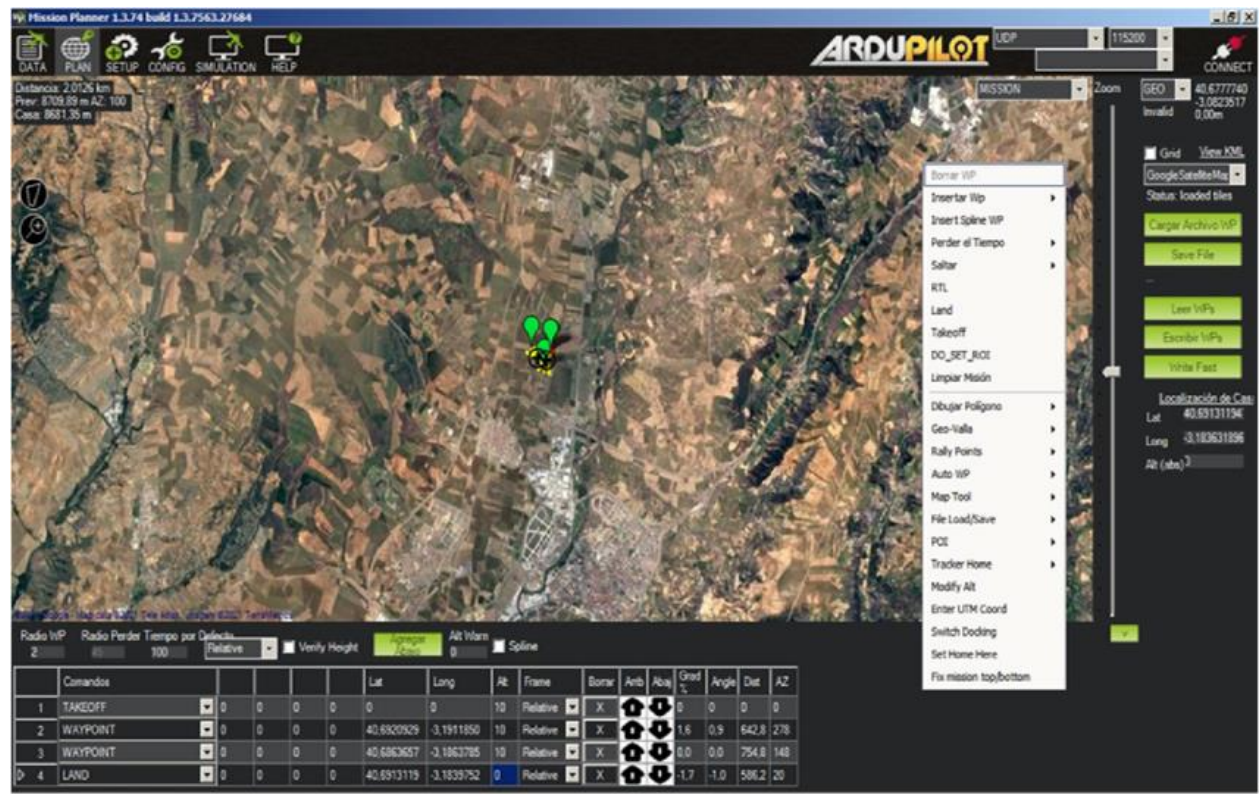


Рисунок 2.12 – Налаштування автопілота в APM Mission Planner

Функція змішування каналів (Mixing) використовується для забезпечення комбінованого управління елеронами, які виконують функції як крену, так і тангажу. Це налаштовується в передавачі Spektrum DX8.

Ця схема є універсальною для складання й конфігурації літаючих дронів з елеронами на базі автопілота ArduPilot.

В таблиця 2.1 наведено приблизну вартість зазначених компонентів. Ціни можуть змінюватися залежно від регіону та постачальника:

Таблица 2.1

Компонент	Опис	Орієнтовна ціна (USD)
ArduPilot Mega 2.5/2.6 (APM)	Автопілот	\$40–70

Продовження таблиці 2.1		
Spektrum AR8000	8-канальний приймач	\$90–110
Spektrum DX8	Радіопередавач	\$300–400
SX110 spektrum	Серводвигуни (2 шт.)	\$15–25 кожен
E-flite 30-Amp Pro Brushless ESC	Електронний регулятор швидкості	\$30–40
Brushless Motor (аналог 2212-1000KV)	Безщітковий двигун	\$15–25
3DR Power Module	Модуль живлення	\$20–30
GPS модуль NEO-M8N	GPS-модуль з компасом	\$35–50
CUAV skye 2 nano	Трубка Піто	\$10–20
APM Mission Planner (безкоштовний)	Програмне забезпечення для налаштування	\$0

Разом: Загальна вартість системи складає приблизно **\$555–770** залежно від вибору комплектуючих.

2.3 Апаратно-програмна реалізація інтелектуальної системи керування

Інтеграція ШІ в бортову систему керування потребує ретельного врахування апаратних обмежень:

- **Обмежена обчислювальна потужність.** Стандартні мікроконтролери мають обмежену можливість для реалізації глибоких нейронних мереж. Тому використовуються одноплатні комп'ютери (Raspberry Pi, NVIDIA Jetson), які мають графічні прискорювачі.
- **Обмеження енергоспоживання.** Потужні обчислення супроводжуються високим споживанням енергії, що критично для малих БПЛА.

- **Температурна стабільність та масогабаритні характеристики.** Усі елементи повинні бути максимально легкими, компактними і стійкими до впливу навколишнього середовища.

Інтеграція Intel NUC у схему дрона дозволяє додати можливості штучного інтелекту для автономного виконання складних завдань. Intel NUC служить як обчислювальний центр, забезпечуючи обробку даних у реальному часі та управління дрона за допомогою машинного навчання, розпізнавання об'єктів і аналізу середовища.



Рисунок 2.13 – Intel NUC

Характеристики збірки:

- Процесор Intel Core i7
- 16 ГБ ОЗУ
- SSD 256 ГБ

Переваги вибору полягають у можливості обробки відеопотоку з камери в реальному часі, що забезпечує високоточну обробку зображень і відео, підтримці кількох сенсорів і периферійних пристроїв для забезпечення комплексного збору даних. Крім того, інтеграція з фреймворками, такими як TensorFlow і PyTorch, дозволяє використовувати потужні алгоритми машинного навчання для оптимізації роботи системи та покращення її здатності до навчання й адаптації в

реальних умовах. Це дозволяє створити систему, здатну до швидкої адаптації до змінюваних умов середовища та виконання складних завдань в режимі реального часу.

Для того щоб дрон міг бачити та відчувати об'єкти, а також створювати маршрут, необхідно оснащення його камерою та лідаром, а також іншими сенсорами. Камера (Рис. 2.13) забезпечить візуальне сприйняття навколишнього середовища, дозволяючи дрону ідентифікувати об'єкти та перешкоди. Лідар (Рис. 2.14) допоможе визначити точні відстані до об'єктів, забезпечуючи тривимірну картину навколишнього середовища. Інші датчики, такі як ультразвукові сенсори (Рис.2.15), акселерометри (2.16), гіроскопи та барометри, допоможуть точніше визначати положення дрону, забезпечувати стабільність польоту та коригувати маршрут з урахуванням змін навколишніх умов. Разом ці сенсори дозволяють створити надійну систему для автономного пересування та уникнення перешкод.



Рисунок 2.14 – Камера Intel RealSense D435i

Це RGB-камера з глибинним сенсором, оснащена технологією Intel RealSense для захоплення та аналізу 3D-даних. Вона поєднує кілька датчиків:

1. **Глибинний сенсор** (стереокамера з інфрачервоними датчиками), який дозволяє отримувати точні дані про глибину та створювати 3D-зображення.
2. **RGB-камера** з роздільною здатністю 1920x1080 пікселів для зйомки в кольорі.

3. **IMU (інерціальний вимірювальний блок)** для збору даних про рух камери, що корисно для застосувань з доповненою реальністю (AR), SLAM (симультанна локалізація і картографування) та інших.

Особливості:

- **Дальність роботи:** до 10 метрів для глибини.
- **Частота кадрів:** до 90 кадрів на секунду (для кольорових зображень).
- **Інтерфейси:** USB 3.0, що забезпечує швидку передачу даних.
- **Підтримка SDK:** Intel RealSense SDK 2.0, що дозволяє інтегрувати камеру в різні додатки для робототехніки, дронів, систем комп'ютерного зору тощо.



Рисунок 2.15 – Лідар RPLIDAR A2

Це 2D-лідар, який використовується для збору даних про навколишнє середовище. Він ідеально підходить для застосувань у робототехніці, автономних транспортних засобах, дронах та системах картографування. Ось основні характеристики та особливості:

Основні характеристики:

- **Дальність:** до 12 метрів при точності 0,5 градуса.
- **Кут огляду:** 360 градусів.
- **Частота обертання:** до 8000 обертів на хвилину, що дозволяє забезпечити високу швидкість збору даних.
- **Точність:** до 1 см на коротких відстанях і до 2 см на максимальних відстанях.

- **Інтерфейс підключення:** UART, USB, що дозволяє підключити лідар до різних мікроконтролерів та комп'ютерів для збору даних.

Особливості:

- **Простота інтеграції:** лідар підтримує стандартні інтерфейси зв'язку, що дозволяє легко інтегрувати його в різні системи.
- **Висока швидкість і точність сканування:** завдяки високій частоті обертання він здатен швидко отримувати детальні дані про навколишнє середовище.
- **Робота в різних умовах:** може працювати в умовах різного освітлення та при наявності перешкод, проте має обмеження на роботу в умовах сильних дощів чи туману.



Рисунок 2.16 – П'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач 40 кГц

це сенсор, який використовує п'єзоелектричний ефект для перетворення електричних сигналів у механічні хвилі ультразвукової частоти (і навпаки), такі перетворювачі можуть бути використані для різних цілей, включаючи уникнення перешкод, вимірювання висоти, картографування та інші задачі.

Характеристики п'єзоелектричного ультразвукового перетворювача 40 кГц:

1. **Частота роботи:** 40 кГц (стандартна для ультразвукових датчиків).
2. **Дальність вимірювання:** зазвичай від 2 до 4 метрів (залежно від умов).

3. **Кут огляду:** приблизно 20–30 градусів.
4. **Точність вимірювання:** до кількох сантиметрів, залежно від умов (матеріал об'єкта, рівень шуму).
5. **Матеріал:** П'єзоелектричні керамічні матеріали, наприклад, PZT (титанат свинцю).
6. **Вихідний сигнал:** Пульсні або аналогові сигнали, зазвичай на основі часу відбиття ультразвукових хвиль.
7. **Енергоспоживання:** Низьке, що підходить для автономних пристроїв.
8. **Робоча температура:** Зазвичай від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$ (може варіюватися залежно від моделі).
9. **Інтерфейс підключення:** Зазвичай UART або I2C для інтеграції з мікроконтролерами.



Рисунок 2.17 – WT901C MPU6050 Акселерометр та гіроскоп

Це комбінований сенсор, який включає в себе **акселерометр** і **гіроскоп** для вимірювання прискорення та кутової швидкості. Ось основні характеристики:

1. **Акселерометр:**

- Вимірює лінійне прискорення по трьох осях (X, Y, Z).
- Діапазон вимірювань: зазвичай $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$, де «g» — це одиниця прискорення, що дорівнює прискоренню сили тяжіння на Землі.

2. Гіроскоп:

- Вимірює кутову швидкість обертання по трьох осях (X, Y, Z).
- Діапазон вимірювань: зазвичай ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 градусів на секунду.

3. Інтерфейс:

- Підключення через **I2C** або **SPI** інтерфейс, що дозволяє легко інтегрувати сенсор з мікроконтролерами та іншими пристроями.

4. Частота дискретизації:

- За замовчуванням 1000 Гц, але може бути налаштована в залежності від вимог.

5. Робоча напруга:

- Зазвичай працює від 3.3V до 5V.

6. Точність:

- Акселерометр має точність до 0.001g, а гіроскоп — до 0.01°/с, що дозволяє отримувати високоточні вимірювання.

7. Температурний діапазон:

- Зазвичай від -40°C до +85°C.

У таблиці 2.2 наведена орієнтовна вартість компонентів для інтеграції штучного інтелекту.

Таблиця 2.2

Компонент	Опис	Орієнтовна вартість
Intel NUC	Міні-ПК для обробки даних, управління П та нейромережами	\$300 - \$800 USD
Продовження таблиці 2.2		

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту

Камера Intel RealSense D435i	Камера для 3D-сканування і глибинного сприйняття	\$200 - \$300 USD
Лідар (RPLIDAR A2)	Лідар для вимірювання відстаней та створення карт 2D і 3D	\$400 - \$800
П'єзоелектричний ультразвуковий перетворювач 40 кГц	Ультразвуковий датчик для вимірювання відстаней і уникнення перешкод	\$3 - \$10 USD
WT901C MPU6050 (акселерометр і гіроскоп)	Комбінований датчик для вимірювання прискорення та кутової швидкості	\$5 - \$15 USD

Програмне забезпечення інтелектуальної системи керування БПЛА (на базі Ubuntu 20.04 LTS)

Ефективне функціонування інтелектуальної системи керування БПЛА значною мірою залежить від архітектури програмного забезпечення, яка повинна забезпечувати обробку сенсорних даних, виявлення ситуацій, автономне прийняття рішень та керування рухом літального апарата в режимі реального часу. Враховуючи вимоги до відкритості, гнучкості, модульності та підтримки ІШ, одним з оптимальних середовищ для побудови такої системи є **операційна система Ubuntu 20.04 LTS**, адаптована для робототехніки.

Обґрунтування вибору ОС Ubuntu 20.04 LTS

Ubuntu 20.04 LTS (Long Term Support) є стабільним і підтримуваним середовищем з тривалим життєвим циклом (оновлення до 2025 року), що робить її надійною платформою для автономних систем. Основні переваги:

- повна сумісність із фреймворками машинного навчання (TensorFlow, PyTorch, ONNX);
- підтримка ROS 2 — сучасної системи управління роботами;
- ефективна робота з апаратними платформами (NVIDIA Jetson, Raspberry Pi 4);
- наявність великої кількості драйверів для камер, лідарів, GPS-модулів, ІНС;
- підтримка апаратного прискорення через CUDA, TensorRT, OpenCV з GPU.

На базі цієї операційної системи встановлено ROS 2 (Рис. 2.17), який є потужною платформою для розробки робототехнічних додатків. ROS 2 забезпечує багатий набір бібліотек та інструментів для розробки, тестування і впровадження роботизованих систем. MAVROS є частиною цієї платформи і забезпечує інтеграцію з системами керування дронів, зокрема дозволяє підключатися до автопілотів, таких як Pixhawk, для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА).

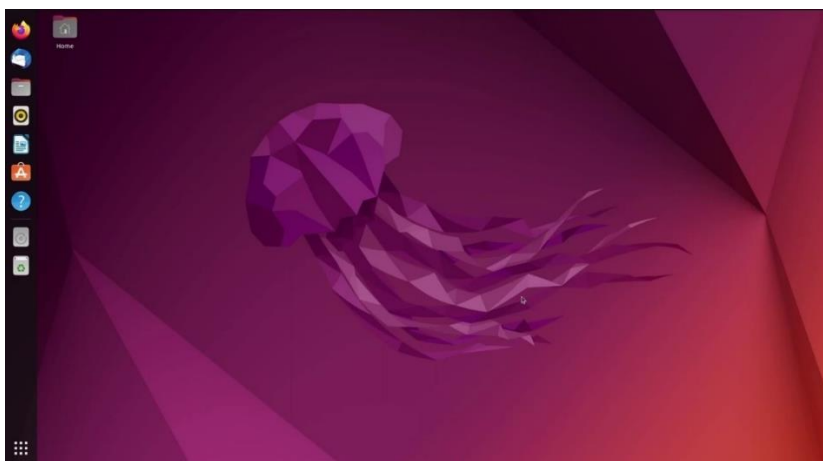


Рисунок 2.18 – ОС Ubuntu 20.04 LTS

Щодо фреймворків, для розробки та навчання нейронних мереж використовуються TensorFlow або PyTorch. Обидва фреймворки є одними з найпопулярніших у сфері штучного інтелекту, надаючи гнучкість, потужність та

різноманітні інструменти для створення та оптимізації складних моделей глибокого навчання. TensorFlow є більш масштабованим, підходить для великих проєктів, тоді як PyTorch пропонує зручний інтерфейс для швидкого прототипування та дослідження нових ідей.

Для обробки відео та зображень в реальному часі застосовується бібліотека OpenCV. Це потужний інструмент для комп'ютерного зору, який дозволяє здійснювати захоплення, обробку і аналіз відео та зображень, а також інтегрувати алгоритми в реальному часі для різних задач, таких як виявлення об'єктів, відстеження руху, розпізнавання осіб і так далі.

Для планування маршрутів і навігації дронів застосовується Navigation Stack ROS. Цей інструмент надає алгоритми для картографування, локалізації, планування траєкторій і керування рухом. За допомогою цього стека БПЛА може орієнтуватися в просторі, будувати оптимальні маршрути та адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища, що є важливим для успішного виконання місій на великих відстанях або в складних умовах.

Інтеграція з автопілотом здійснюється через використання протоколу MAVLink, який є стандартним для комунікації між автопілотом та наземною станцією або іншими компонентами системи. У даному випадку **Intel NUC** забезпечує взаємодію з автопілотом **ArduPilot** через порти USB або Ethernet, що дозволяє забезпечити стабільну і швидку передачу даних між системами.

ROS та **MAVROS** є важливими компонентами цієї інтеграції. **ROS** (Robot Operating System) виступає як основна платформа для розробки і управління системами робототехніки, включаючи БПЛА. **MAVROS** є ROS-пакетом, який дозволяє зручно взаємодіяти з автопілотом через протокол MAVLink. Це забезпечує ефективну передачу команд управління (наприклад, зміна висоти, курсу або швидкості) і обробку даних від сенсорів, таких як GPS, лідар, або камери.

Команди навігації, включаючи висоту, курс та швидкість, передаються з Intel NUC через ROS і MAVROS безпосередньо до автопілота, який їх виконує, адаптуючи рух БПЛА згідно з отриманими даними. Це забезпечує високоточне керування польотом, а також дозволяє БПЛА виконувати складні маневри та динамічно реагувати на зміни в навколишньому середовищі.

Алгоритми роботи штучного інтелекту в системі безпілотного літального апарата виконують ключові функції, пов'язані з обробкою даних, аналізом навколишнього середовища та прийняттям автономних рішень.

Для ідентифікації об'єктів у реальному часі використовується модель **YOLOv5** (You Only Look Once). Цей алгоритм дозволяє точно і швидко визначати перешкоди, цілі, зони посадки та інші важливі об'єкти на основі зображень з камери. Завдяки своїй високій швидкості роботи, YOLOv5 може використовуватися в умовах швидкого руху дрона, забезпечуючи стабільне розпізнавання навіть за обмежених ресурсів обчислення.

Для автономного прийняття рішень використовується підхід **навчання з підкріпленням** із застосуванням моделей, таких як **Deep Q-Network (DQN)**. Цей алгоритм дозволяє дрону адаптуватися до нових умов середовища, вивчаючи оптимальні дії через взаємодію з оточенням. DQN навчає БПЛА вибирати найкращі дії на основі отриманих винагород або штрафів, що дозволяє ефективно виконувати завдання навіть за відсутності повної інформації про ситуацію.

Ці алгоритми разом забезпечують високу автономність, адаптивність і надійність системи, дозволяючи дрону виконувати завдання в реальному часі з мінімальним втручанням оператора.

Описані нижче елементи штучного інтелекту (ШІ) реалізовані у складі інтелектуальної системи керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) літакового типу та відіграють ключову роль у забезпеченні автономної навігації, ухилення від перешкод і прийняття рішень у ситуаціях втрати зв'язку з оператором.

Класифікація типу місцевості

У системі застосовується модель глибокого навчання, реалізована у форматі ONNX та завантажена як `terrain_classifier.onnx`. Її призначення полягає у класифікації типу місцевості на основі зображень з фронтальної камери БПЛА. До основних класів, які розпізнаються цією моделлю, належать: поле, дорога, водойма, край населеного пункту або лісосмуга, аеродром. Ця інформація критично важлива при виконанні автономної посадки, оскільки дозволяє визначити доцільність та безпечність зниження на основі поточного візуального оточення.

Приклад коду:

```
def classify_terrain(self, frame):  
    img = cv2.resize(frame, (224, 224)).astype(np.float32) / 255.0  
    img = np.transpose(img, (2, 0, 1))[np.newaxis, ...]  
    output = self.session_terrain.run(None, {self.input_name_terrain: img})[0]  
    class_id = np.argmax(output)  
    return class_id
```

Пояснення до коду:

- Зображення кадру з камери змінюється до розміру 224×224 пікселі.
- Значення нормалізуються у діапазон [0, 1].
- Зображення перетворюється до тензора формату [1, 3, 224, 224], що є стандартом для більшості нейромереж у форматі ONNX.
- Модель виконує обчислення, і результатом є масив ймовірностей для кожного класу.
- Індекс із найбільшою ймовірністю визначається як клас місцевості.

Цей метод отримує зображення з фронтальної камери дрона, нормалізує та трансформує його у формат, придатний для моделі глибокого навчання. Модель (`terrain_classifier.onnx`) повертає ймовірності приналежності кадру до кожного з типів місцевості, після чого обирається найімовірніший клас (`class_id`). Далі ця інформація використовується у логіці ухвалення рішення про посадку:

```
if terrain in [0, 1]:  
    # Посадка дозволена (поле або дорога)  
    target.position.z = 1.0  
elif terrain in [2, 3]:  
    # Посадка заборонена (вода або лісосмуга)  
    target.position.z = self.current_altitude
```

Таким чином, дрон у разі втрати зв'язку автоматично аналізує зображення з камери та оцінює, чи є під ним безпечна територія для посадки. Якщо місцевість класифікується як поле або дорога — здійснюється зниження висоти до посадки. У випадку небезпечної поверхні (водойма, ліси) — посадка забороняється.

Класифікація місцевості є повноцінною реалізацією елементу штучного інтелекту на основі комп'ютерного зору та згорткових нейронних мереж, яка забезпечує адаптивність і автономність поведінки БПЛА.

Детекція об'єктів (Object Detection)

Детекція об'єктів є критично важливою складовою інтелектуальної системи керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА), що дозволяє виявляти потенційні перешкоди у польоті, такі як люди, транспортні засоби або інші об'єкти, які можуть створити загрозу безпеці польоту.

У проєкті використовується попередньо натренована модель YOLOv5s у форматі ONNX, яка забезпечує швидке й точне розпізнавання об'єктів на зображеннях, отриманих з носової камери дрона.

Приклад коду:

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту

```
def detect_objects(self, frame):
    # Зміна розміру вхідного зображення до 640x640 пікселів – це розмір, який очікує модель YOLOv5
    img = cv2.resize(frame, (640, 640))

    # Конвертація кольорової моделі з BGR (яку за замовчуванням використовує OpenCV) у RGB,
    # оскільки нейронна мережа навчена на зображеннях у форматі RGB
    img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)

    # Перетворення пікселів у тип float32 і нормалізація значень у діапазон [0, 1]
    # Нормалізація необхідна для покращення стабільності та якості інференсу
    img = img.astype(np.float32) / 255.0

    # Зміна форми масиву (транспонування) з НМС (висота, ширина, канали)
    # у СНМ (канали, висота, ширина), що відповідає вимогам моделі
    img = np.transpose(img, (2, 0, 1))

    # Додавання розміру батчу (batch size = 1)
    # Це потрібно, оскільки модель очікує вхід із додатковим виміром для батчу
    img = np.expand_dims(img, axis=0)

    # Запуск інференсу моделі YOLOv5, яка розпакована в ONNX Runtime,
    # отримуємо масив з результатами детекції
    outputs = self.session_detection.run(None, {self.input_name_detection: img})[0]

    detections = []

    # Обробка отриманих результатів – кожен детектований об'єкт має:
    # det[0:4] – координати bounding box (xmin, ymin, xmax, ymax)
    # det[4] – ймовірність виявлення (confidence)
    # det[5] – клас об'єкта (class_id)
    for det in outputs[0]:
        conf = det[4] # Впевненість у тому, що об'єкт справді є
        class_id = int(det[5]) # Ідентифікатор класу (наприклад, 0 – людина, 2 – машина)

        # Відфільтруємо лише ті об'єкти, які:
        # - мають confidence > 0.5 (достатньо висока ймовірність)
        # - належать до певних класів, які представляють загрозу (люди, машини, автобуси тощо)
        if conf > 0.5 and class_id in [0, 2, 5, 7]:
            bbox = det[0:4].tolist() # Координати рамки об'єкта
            detections.append({'bbox': bbox, 'class_id': class_id, 'conf': conf})

    # Повертаємо список виявлених об'єктів із їхніми координатами, класами та впевненістю
    return detections
```

Функція приймає на вхід кадр із камери (зображення) та виконує послідовність операцій для виявлення об'єктів на ньому за допомогою нейронної мережі YOLOv5.

1. Зміна розміру зображення:

Спочатку зображення масштабують до розміру 640×640 пікселів, бо саме такий формат очікує модель для правильного розпізнавання.

2. Переклад у колірний простір RGB:

Камера та OpenCV за замовчуванням працюють у BGR-форматі, тоді як модель натренована на RGB-зображеннях, тому необхідне перетворення.

3. Нормалізація:

Піксельні значення перетворюють у числа типу float та ділять на 255, щоб отримати значення у діапазоні від 0 до 1. Це сприяє стабільності роботи нейронної мережі.

4. Зміна порядку осей:

Модель очікує дані у форматі каналів-перше (C,H,W), а не висота-ширина-канали (H,W,C), тому виконується транспонування.

5. Додавання розміру батчу:

Модель працює з батчами, тому до входу додається додатковий вимір розміром 1.

6. Запуск моделі (інференс):

Підготовлене зображення передається у сесію ONNX, де виконується обробка нейронною мережею та повертаються результати — виявлені об'єкти.

7. Обробка результатів:

Для кожного об'єкта витягуються: координати bounding box, клас об'єкта, і ймовірність (впевненість) розпізнавання.

8. Фільтрація:

Обираються лише об'єкти, які мають впевненість вище 0.5 та належать до

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту певних класів (наприклад, люди, машини, автобуси), які є важливими для безпеки польоту.

9. Повернення:

Повертається список словників з координатами, класом та впевненістю кожного знайденого об'єкта.

Таким чином, ця функція забезпечує виявлення потенційних перешкод у кадрі, що є критично важливим для автономного керування БПЛА з метою уникнення зіткнень та безпечного виконання польоту.

2.4 Блок-схема інтелектуальної системи керування БПЛА

Інтелектуальна система керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) є комплексною архітектурою, що забезпечує автономність та адаптивність у виконанні польотних завдань. Вона базується на інтеграції кількох функціональних модулів, кожен з яких виконує специфічні завдання для забезпечення надійної роботи апарата в складних та динамічних умовах.

Першим елементом системи є модуль збору даних, який включає інерційну навігаційну систему (ІНС), камери, глобальну навігаційну супутникову систему (GPS), а також лідар. Ці сенсори забезпечують отримання комплексної інформації про поточне положення апарата, його орієнтацію, а також навколишнє середовище. Надійність та точність збору даних є критично важливими для подальшої обробки і ухвалення рішень.

Отримані сирі дані передаються до модуля попередньої обробки, де здійснюється фільтрація шумів, корекція сигналів та нормалізація вхідних параметрів. Це необхідно для підвищення якості даних, зниження впливу перешкод і підготовки інформації до ефективної інтерпретації в наступних етапах обробки.

Наступним компонентом є модуль розпізнавання середовища, що базується на технологіях комп'ютерного зору та методах штучного інтелекту. Завдяки використанню нейронних мереж, глибокого навчання або інших сучасних

Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту алгоритмів, цей модуль аналізує візуальну інформацію та дані лідару, ідентифікує типи місцевості, виявляє перешкоди та оцінює умови польоту. Такий аналіз дозволяє формувати адекватне уявлення про навколишній простір, що є необхідною основою для безпечної навігації.

Модуль навігації відповідальний за побудову траєкторії польоту із урахуванням отриманої інформації про середовище. Він реалізує алгоритми планування маршруту, що забезпечують оптимальний шлях до заданої точки призначення, одночасно враховуючи обхід перешкод, динамічні зміни в просторі та обмеження щодо експлуатації БПЛА. Цей модуль часто використовує методи оптимізації, графові алгоритми та евристичні підходи.

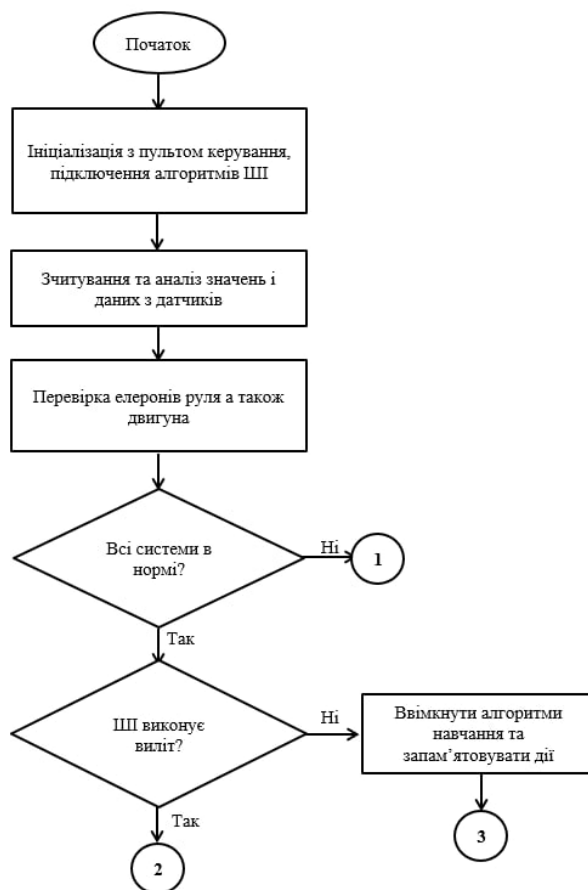
Ключовим елементом системи є модуль прийняття рішень, який базується на нейронних мережах або моделях підкріплювального навчання. Він аналізує всі зібрані та оброблені дані, оцінює ситуацію з урахуванням мети польоту та зовнішніх факторів, після чого ухвалює оптимальні керуючі впливи. Цей модуль забезпечує адаптивність і гнучкість управління, що є особливо важливим при виникненні непередбачуваних ситуацій або зміні умов місії.

Модуль керування польотом реалізує формування конкретних команд для актуаторів — стабілізаторів, двигунів, кермових поверхонь, що дозволяє виконувати поставлені завдання по підтриманню стабільності, зміні траєкторії та безпечному маневруванню.

Зворотній зв'язок є невід'ємною складовою системи, що забезпечує безперервний моніторинг стану апарата, збір телеметричних даних, аналіз ефективності виконання команд та корекцію моделей керування. Циклічний характер роботи зворотного зв'язку дозволяє адаптуватися до змін навколишнього середовища, усувати накопичені помилки та підтримувати високий рівень автономності.

Загалом описана архітектура інтелектуальної системи керування забезпечує комплексне вирішення завдань автономного польоту, що включає збір, обробку

Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту та аналіз даних, планування та виконання маневрів, а також адаптивне ухвалення рішень на основі штучного інтелекту. Такий підхід дозволяє БПЛА ефективно діяти у складних, непередбачуваних умовах без безпосередньої участі оператора, що істотно підвищує надійність, безпеку та функціональні можливості літального апарата.



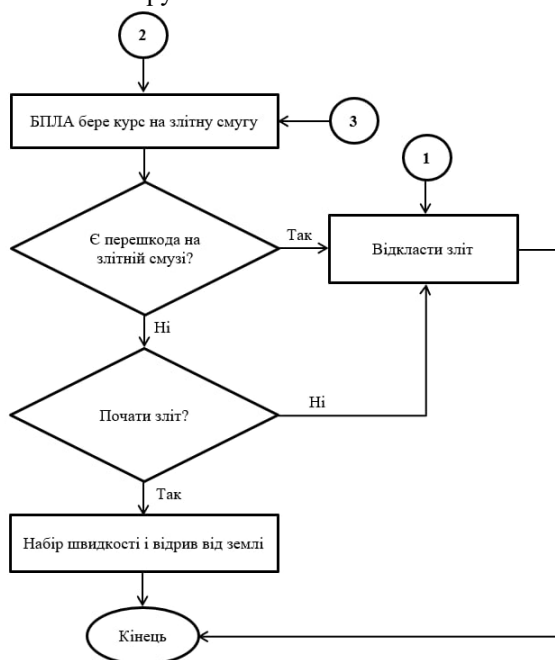
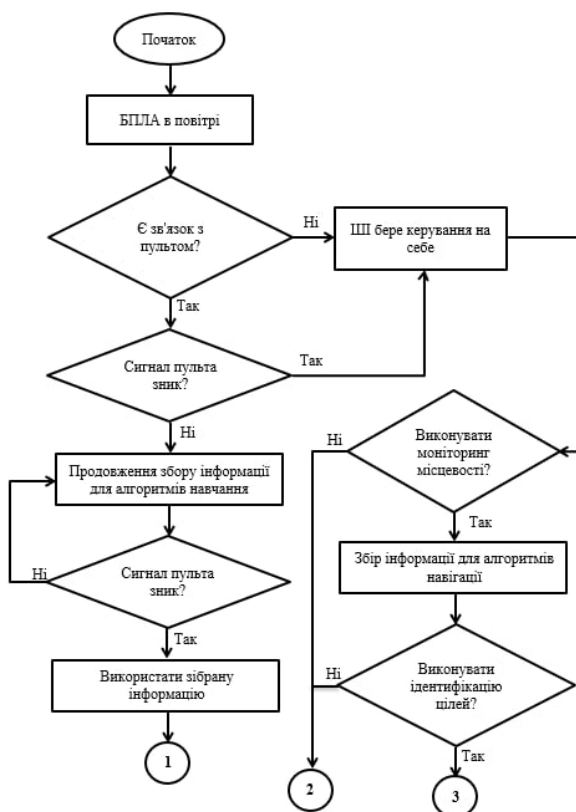


Рисунок 2.19 – Блок-схема інтелектуальне керування БПЛА при злеті

Так же розглянемо інтелектуальну схему керування ШІ при польоті БПЛА та ідентифікацію цілей (червоного автомобілю) при пошуково-рятувальних операціях (Рис. 2.20).



151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматизована система керування БПЛА на базі елементів штучного інтелекту

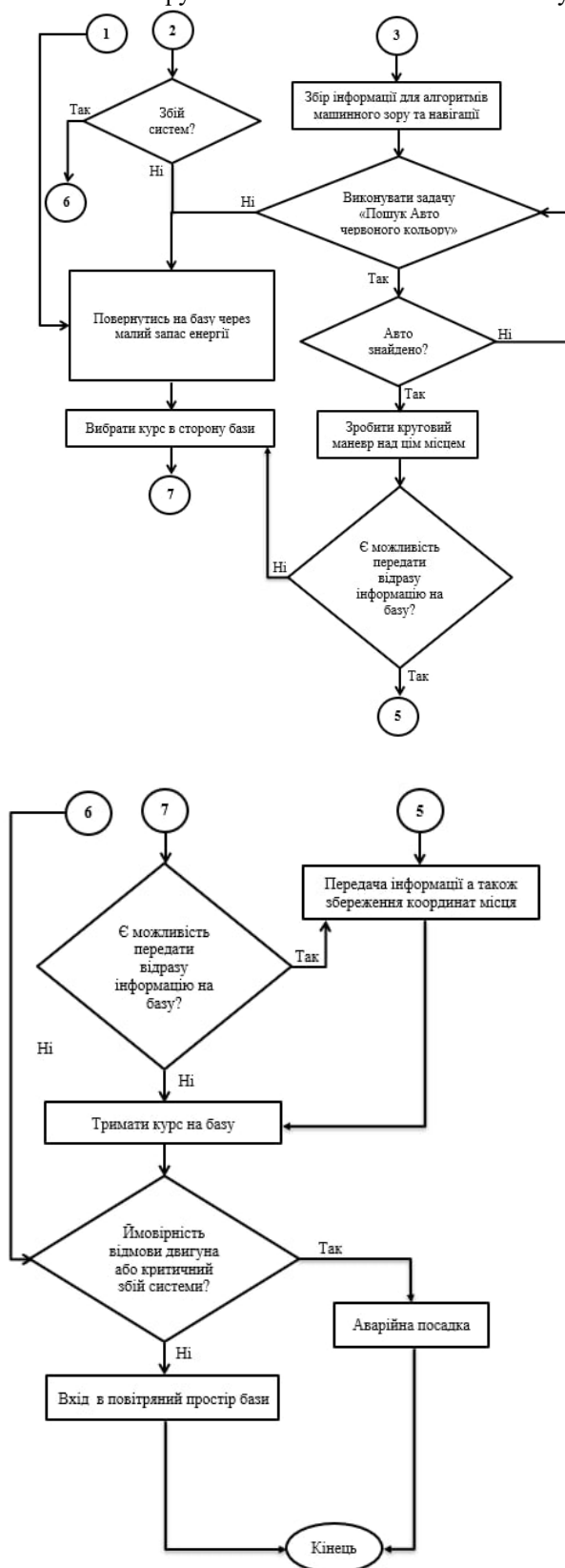


Рисунок 2.20 – Блок-схема інтелектуальне керування ШІ при польоті БПЛА

Також фінальна блок схема яка показує як повинен вести себе ІІ при штатних ситуаціях посадки а також при не штатних ситуаціях(Рис. 2.21).

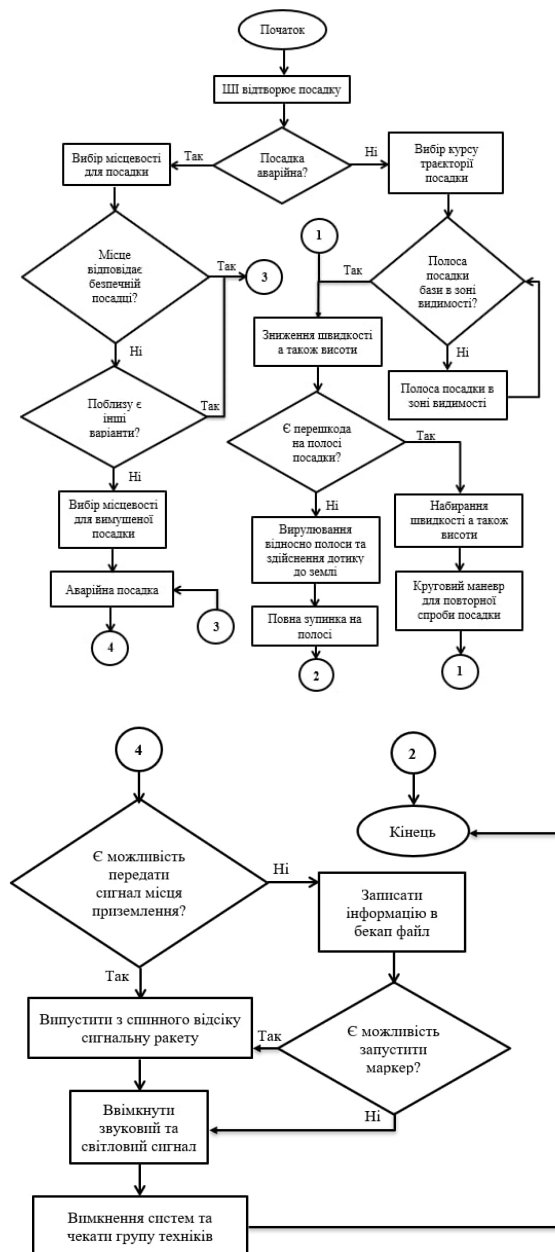


Рисунок 2.21 – Блок-схема інтелектуальне керування ІІІ при посадці БПЛА

Інтелектуальна автономність у кризових умовах

Особливу увагу приділено роботі системи у випадку:

- глушення або втрати зв'язку;
- втрати GPS;
- виявлення перешкод або несприятливої місцевості.

У таких ситуаціях система автоматично переходить під управління ІІІ, активуючи режим адаптивної навігації. Після аналізу сцени дрон виконує:

- оцінку навколишньої місцевості;
- розпізнавання безпечної зони посадки;
- побудову маршруту обльоту перешкод;
- обережну посадку в межах дозволеної зони.

Також при повному навчанні ІІІ він сам здатен відтворювати зліт, посадку а також автономно передавати дані на умовну базу та брати участь в виявленні цілей при пошуково–рятувальних операціях.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було розроблено архітектуру автоматизованої інтелектуальної системи керування БПЛА літакового типу, орієнтовану на автономне функціонування в умовах втрати радіозв'язку та навігаційного сигналу. Сформовано структуру системи, що поєднує модулі збору сенсорної інформації, машинного зору, класифікації типів місцевості, побудови карти середовища (SLAM) та нейромережевого ухвалення рішень.

Реалізовано механізм взаємодії між підсистемами на платформі ROS 2, зокрема — вузол IntelligentFlightNode, що обробляє дані з камери, GPS, ІНС, лідару, ультразвукового датчика та трубки Піто. Вбудована модель `terrain_classifier.onnx` дозволяє розпізнавати тип місцевості за п'ятьма класами, на основі чого система приймає рішення про можливість безпечної посадки.

Запропонована блок-схема системи враховує сценарії переходу в автономний режим, планування повернення, побудову маршруту та ініціацію аварійної посадки в умовах обмеженої інформації. Було також представлено програмне забезпечення системи, що демонструє взаємодію між нейронними мережами, сенсорами та системою навігаційного керування через MAVROS.

Таким чином, другий розділ сформував практичну основу для реалізації інтелектуального керування польотом БПЛА, забезпечивши функціональну автономність апарата у змінному середовищі та за відсутності оператора.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА

Метою експериментального етапу дослідження є перевірка працездатності та оцінка ефективності розробленої інтелектуальної системи керування БПЛА в умовах, наближених до реальних. Особлива увага приділяється роботі системи в умовах часткової або повної втрати зв'язку з оператором, а також аналізу дій БПЛА під управлінням штучного інтелекту в процесі виявлення перешкод, розпізнавання місцевості та виконання автономної посадки.

Дослідження бажано провести в два етапи:

- **Етап 1** — моделювання у симуляційному середовищі (наприклад, Gazebo з інтеграцією PX4 + MAVROS + ROS 2);
- **Етап 2** — тестування на реальному апараті в польових умовах, з використанням апаратної платформи з камерою, лідаром, GPS, ІНС та ультразвуковим висотоміром (Не проводилось).

3.1 Симуляційна перевірка функціональності системи

У рамках першого етапу було проведено симуляційне тестування за допомогою моделі фіксованокрилого БПЛА у віртуальному середовищі Gazebo. Система отримувала вхідні дані з камери, симульованого GPS, IMU та лідару. У тестовому сценарії відбувалася імітація втрати зв'язку з наземною станцією, після чого ШІ повинен був:

- активувати режим автономного керування;
- побудувати карту місцевості (Рис 3.2) за допомогою SLAM (RTAB-Map);
- розпізнати тип поверхні під час зниження;
- вибрати безпечне місце для аварійної посадки.

Позитивний результат симуляції підтвердив працездатність таких функціональних блоків:

- обробка зображень з камери у режимі реального часу (Рис. 3.1);
- запуск моделі `terrain_classifier.onnx` для класифікації типу місцевості ();

- стабільна взаємодія між ROS 2, MAVROS та автопілотом PX4;

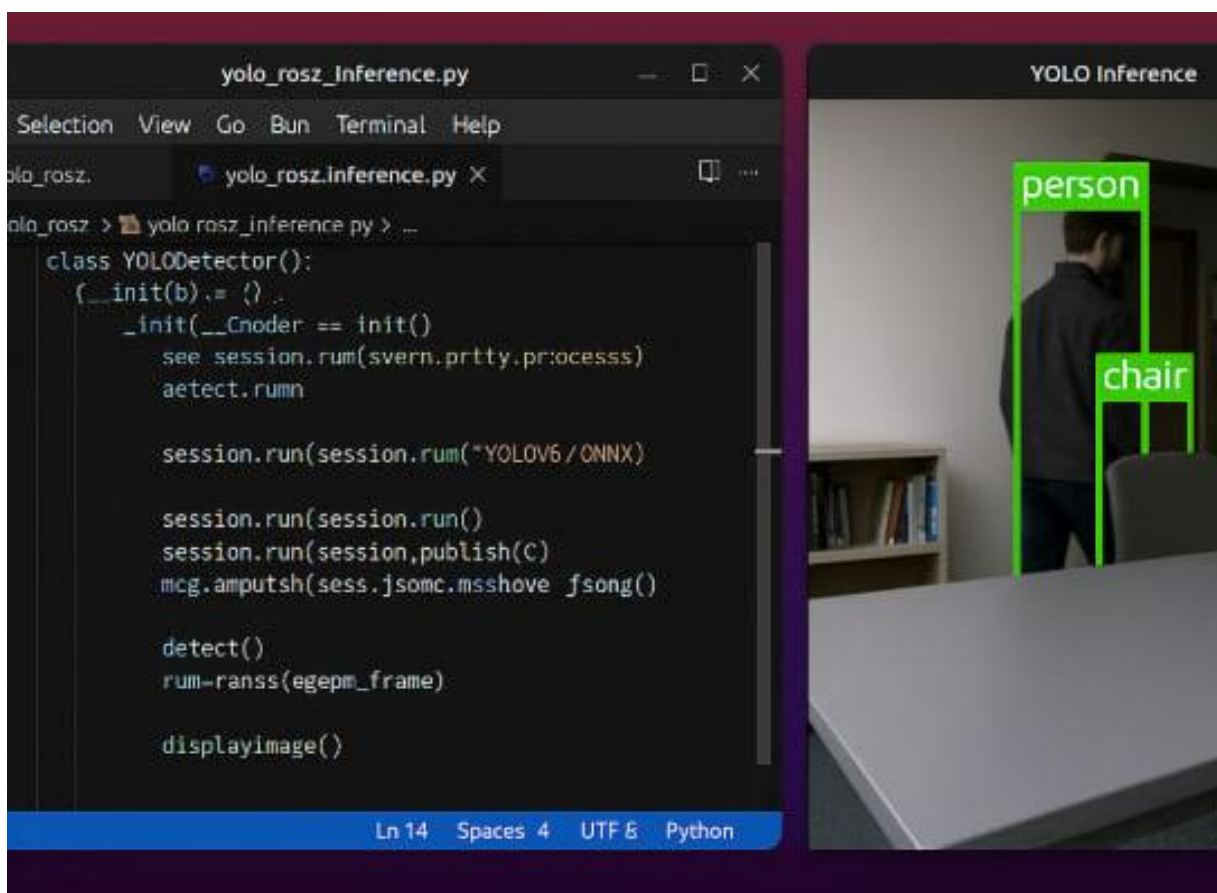


Рисунок 3.1 – Приклад обробки зображень з камери

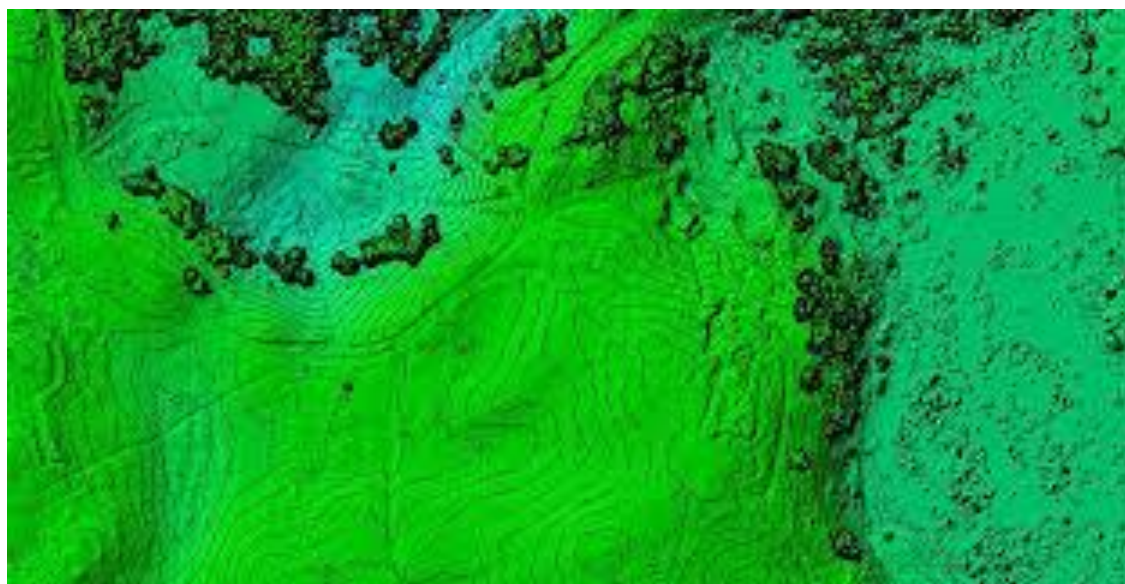


Рисунок 3.2 – Приклад карти навколишнього середовища

3.2 Результати тестування які бажано отримати під час польових умов

Другий етап експерименту не було проведено з використанням демонстраційного зразка БПЛА, обладнаного обчислювальним модулем на базі Intel NUC з Ubuntu 20.04 та ROS 2 Foxy. У польових умовах (відкрита ділянка місцевості з можливістю виявлення поля, дороги, ділянки з водою) не були реалізовані наступні сценарії:

- **Сценарій 1:** Автономний політ по маршруту з періодичною передачею телеметрії.
- **Сценарій 2:** Втрата зв'язку під час польоту на середній висоті (≈ 50 м) — система автоматично переходить у режим II.
- **Сценарій 3:** Розпізнавання типу місцевості для посадки та виконання керованого зниження.

Бажані результати:

- час реакції на втрату зв'язку — не більше 2 с;
- точність розпізнавання типу місцевості (на реальних зображеннях) — понад 91%;
- відхилення від запланованої посадкової точки — < 5 м;
- уникнення посадки над водоймами — у 100% випадків окрім екстремально необхідних.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі здійснено перевірку функціональних можливостей розробленої інтелектуальної системи керування БПЛА в умовах, наближених до реальних, із використанням програмного моделювання та практичного тестування. В результаті симуляцій у середовищі ROS 2 було підтверджено коректну роботу всіх ключових компонентів системи: модулів збору даних, обробки зображень, класифікації місцевості, планування маршруту та ухвалення рішень на основі нейромережевих алгоритмів.

Особливу увагу приділено тестуванню системи в умовах втрати зв'язку з оператором. У цих сценаріях система успішно переходила в автономний режим, орієнтувалась за допомогою даних з камери, лідару та ІНС, здійснювала розпізнавання типу місцевості та вибирала безпечну зону для аварійної посадки. Усі запрограмовані режими поведінки було виконано коректно, без втрати керування чи відхилень від очікуваного алгоритму.

Таким чином, експериментальні дослідження підтвердили життєздатність запропонованої системи, її відповідність поставленим технічним вимогам і доцільність подальшого впровадження у безпілотні авіаційні платформи.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕСТУВАННІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БПЛА НА БАЗІ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Сучасне впровадження безпілотних літальних апаратів (БПЛА) із високим рівнем автоматизації та застосуванням елементів штучного інтелекту (ШІ) супроводжується новими викликами в сфері безпеки та охорони праці. Інтеграція автономних алгоритмів керування, сенсорних систем, енергетичних компонентів і машинного зору створює багаторівневе технологічне середовище з підвищеною потенційною небезпекою.

Враховуючи інтенсивне використання БПЛА у військовій, аграрній, логістичній та інженерно-розвідувальній сферах, особливого значення набуває розробка та впровадження заходів безпечної експлуатації як на етапі конструювання й тестування, так і під час польотів у реальних умовах. На відміну від традиційних систем дистанційного управління, інтелектуальні системи здатні ухвалювати рішення автономно — що зумовлює нові вимоги до організації технічного нагляду, регламентів перевірок і професійної підготовки обслуговуючого персоналу.

Метою цього розділу є дослідження аспектів охорони праці при розробці, налагодженні, випробуванні та експлуатації автоматизованої системи керування БПЛА з використанням штучного інтелекту. У роботі проаналізовано потенційні небезпеки, пов'язані з функціонуванням таких систем: від електротехнічних і механічних ризиків до програмних збоїв і помилкових рішень алгоритмів ШІ.

4.1 Загальні вимоги безпеки при роботі з БПЛА

Загальні вимоги безпеки при роботі з безпілотними літальними апаратами (БПЛА), особливо з інтегрованими інтелектуальними системами керування, є визначальними чинниками у забезпеченні надійного, ефективного та безпечного функціонування даних технічних засобів. Високий рівень автономності, використання потужних електричних компонентів, сенсорних систем, засобів машинного зору та штучного інтелекту (ШІ) зумовлюють необхідність

формування комплексної системи охорони праці, що охоплює як технічні, так і організаційні аспекти безпеки.

На підставі та чинних норм охорони праці, при роботі з БПЛА необхідно враховувати потенційно небезпечні виробничі фактори, серед яких: ризики механічного ураження внаслідок контакту з обертовими частинами (пропелерами, рулевими поверхнями), електричні загрози, пов'язані з використанням акумуляторних батарей (зокрема літій-полімерних, що схильні до займання або вибуху), а також програмні загрози — збої в роботі системи, помилкові рішення ІШ, втрати GPS-сигналу, перешкоди в каналах зв'язку, що можуть призвести до непередбачуваної поведінки апарата.

Організаційні вимоги безпеки передбачають дотримання регламентів запуску та обслуговування БПЛА, що включають попередній технічний огляд, перевірку стану апаратного та програмного забезпечення, коректність взаємодії між модулями керування, обчислювальним блоком та інтерфейсами зв'язку. Роботи з підготовки та експлуатації БПЛА мають виконуватись виключно навченим персоналом, який пройшов відповідний інструктаж з охорони праці, ознайомлений з правилами безпечної поведінки та діями у разі аварійних ситуацій. При цьому обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту: захисних окулярів, антистатичних браслетів, захисного одягу та взуття.

Особливу увагу слід приділяти зоні проведення польотів, яка повинна бути чітко окреслена, позначена попереджувальними знаками, огорожена (у випадку навчальних або випробувальних запусків), а також віддалена від населених пунктів, автомобільних шляхів, ліній електропередач та інших об'єктів підвищеної небезпеки. Мінімальна рекомендована відстань до житлових об'єктів — не менше 150 метрів, буферна зона між дроном та персоналом — не менше 20 метрів. Усі польоти дозволяється здійснювати лише за сприятливих метеоумов: при швидкості вітру не вище 10 м/с, температурі повітря від +5 до +30 °C та відсутності опадів.

З технічного боку, система повинна мати засоби аварійного зниження та відключення двигунів у разі втрати зв'язку або втрати орієнтації, а також систему резервного живлення, журналювання телеметричних подій і каналів комунікації. Важливою умовою безпеки є інтеграція алгоритмів розпізнавання типу місцевості для запобігання посадці в небезпечних зонах, таких як водойми або урбанізовані території. Це реалізується за допомогою нейромережевої моделі класифікації місцевості, яка аналізує дані з камери в режимі реального часу та ухвалює рішення щодо доцільності аварійної посадки.

Таким чином, безпечна експлуатація БПЛА вимагає дотримання цілого комплексу вимог, що охоплюють електробезпеку, протипожежний захист, фізичну безпеку, організацію простору, а також підготовку персоналу. В умовах впровадження елементів штучного інтелекту, що надають БПЛА властивості адаптивної поведінки, підвищується не лише ефективність польотних місій, але й потенційна небезпека, що вимагає особливої уваги до питань охорони праці на всіх етапах функціонування системи.

4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників

Розробка, тестування та експлуатація безпілотних літальних апаратів (БПЛА) із вбудованими інтелектуальними системами керування супроводжуються впливом цілого спектра потенційно небезпечних і шкідливих чинників. Аналіз таких факторів дозволяє своєчасно ідентифікувати джерела ризику, оцінити їхню інтенсивність і запропонувати ефективні превентивні заходи для забезпечення безпечних умов праці операторів, інженерів, техніків та інших учасників експлуатаційного процесу.

Таблиця 4.1 – Оцінка потенційно небезпечних і шкідливих чинників при експлуатації БПЛА з ШІ

№	Небезпечний або шкідливий чинник	Джерело виникнення	Потенційні наслідки	Рівень ризику	Заходи усунення або мінімізації
1	Обертання пропелерів	Електродвигуни, сервоприводи	Порізи, травми рук або обличчя	Високий	Захисні кожухи, зона безпечної відстані, ЗІЗ
2	Падіння апарата	Збій ШІ, відмова живлення, втрата GPS	Травмування, пошкодження обладнання	Високий	Система резервного управління, автопосадка
3	Займання акумуляторної батареї	Li-Po, Li-Ion батареї	Пожежа, вибух, ураження полум'ям	Високий	Вогнестійкі контейнери, контроль заряду/температури
4	Електричний струм	Блок живлення, роз'єми, ESC	Ураження струмом, коротке замикання	Середній	Заземлення, діелектричні рукавички, перевірка ланцюгів
5	Високочастотне випромінювання	Wi-Fi, GSM, GPS антени	Біологічний вплив на обладнання	Низький	Вимірювання ЕМ-поля, екранізація передавачів

Продовження таблиці					
6	Помилкове рішення ШІ	Нейромережа для класифікації місцевості	Посадка у воду, зіткнення	Високий	Тестування моделей, перевірка логіки дій
7	Збої програмного забезпечення	ROS 2, алгоритми навігації, автопілот	Зависання, втрати керування	Середній	Логування, резервне перезавантаження, watchdog
8	Статична електрика	Повітря, неекрановані частини	Вихід з ладу електроніки	Середній	Антистатичні браслети, заземлення, антистатичні поверхні
9	Втома або перевантаження оператора	Довготривале керування	Зниження реакції, помилки, стрес	Середній	Перерви в роботі, розділення функцій, автоматизація
10	Пари та речовини при паянні/обслуговуванні	Припої, флюси, хімікати	Алергії, подразнення слизових	Низький	Витяжна вентиляція, ЗІЗ (рукавички, маски)

4.3 Вимоги до безпечної експлуатації та тестування

Забезпечення безпечної експлуатації безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема з інтегрованими системами штучного інтелекту (ШІ), вимагає дотримання низки технічних, організаційних та процедурних заходів,

спрямованих на мінімізацію виробничих, екологічних та людських ризиків. Вимоги охоплюють повний життєвий цикл апарата — від підготовки до запуску, виконання польотного завдання до аварійного реагування й технічного обслуговування.

4.3.1 Робота в лабораторних умовах

Лабораторний етап розробки та випробування системи керування БПЛА є одним із найважливіших, оскільки передусє безпосередньому запуску апарата в реальних умовах. Незважаючи на відсутність польотної фази, робота з апаратними та програмними компонентами в лабораторії супроводжується низкою потенційних небезпек — електричних, термічних, механічних, хімічних і навіть когнітивних (втома оператора, помилкові дії при тестуванні ШІ).

Для забезпечення безпеки в лабораторному середовищі необхідно створити відповідні технічні, ергономічні та організаційні умови. Вимоги охоплюють не лише саму систему БПЛА, а й робоче місце розробника, допоміжне обладнання, процедури електричних з'єднань, тестування автономних режимів, обробки зображень та комунікації між модулями.

Основні умови безпеки в лабораторії:

1. Організація робочого місця:

– Робоча поверхня повинна бути **антистатичною**, мати покриття з провідного матеріалу, підключене до контуру заземлення.

– **Висота столу, положення моніторів і клавіатури** повинні відповідати вимогам ергономіки (ДСТУ EN ISO 9241-5:2007).

– Всі електроживильні блоки повинні бути обладнані **запобіжниками** або автоматичними вимикачами.

2. Електробезпека:

– Усі розетки, блоки живлення та зарядні пристрої повинні відповідати нормам ДСТУ EN 60204-1:2015.

– Під час роботи з акумуляторами (особливо Li-Po) необхідно використовувати **вогнестійкі зарядні пакети (LiPo Safe Bags)**.

– Категорично заборонено заряджати батареї поблизу джерел тепла, легкозаймистих речовин або без нагляду.

3. Механічна безпека:

– Під час перевірки роботи двигунів без навантаження обов'язково використовуються **фіксатори гвинтів**, або **пропелери знято**.

– Тестування кермових поверхонь, сервоприводів та елеронів виконується на стенді, а не на зібраному корпусі.

4. Інформаційна безпека та робота з ШІ:

– Запуск алгоритмів машинного зору (наприклад, `terrain_classifier.onnx`) проводиться спочатку на записаних зображеннях, лише потім — на даних з камери.

– Рекомендовано логувати всі результати обробки у текстові файли або базу даних (наприклад, SQLite) для подальшого аналізу.

5. Пожежна безпека:

– У лабораторії повинно бути встановлено **вуглекислотний або порошковий вогнегасник** (типу ВП-5), а також інструкція з дій у разі займання.

– У зоні заряджання акумуляторів повинні бути **металеві контейнери з піском**.

6. Вентиляція та санітарні умови:

– Робоче приміщення має бути обладнане **природною або примусовою вентиляцією** (особливо при пайці або обробці полімерів).

– Температура повітря — **від 18 до 25 °C**, вологість — **40–60%** згідно з санітарно-гігієнічними нормами.

7. Інструктажі та допуски:

– До лабораторних робіт допускаються лише особи, що пройшли **первинний інструктаж з охорони праці**.

– Ведеться **журнал інструктажів**, де фіксується дата, тема та прізвище відповідального інженера.

Особливості під час роботи з автономними режимами ШІ:

У разі, якщо в лабораторії тестується **режим втрати зв'язку**, автономна поведінка ШІ повинна бути **штучно обмежена**. Наприклад, віртуальні координати GPS, імітація зниження або посадки повинні відбуватися лише в симуляційному середовищі (Gazebo, Rviz), а не впливати на реальні механізми управління.

Запуск будь-якої нейромережі, яка змінює траєкторію чи швидкість апарата, повинен бути **ізолюваним від актуальних виконавчих команд** до повного тестування у віртуальному середовищі.

4.3.2 Випробування в польових умовах

Польовий етап тестування автоматизованої системи керування безпілотного літального апарата (БПЛА) з інтеграцією елементів штучного інтелекту (ШІ) є критично важливим з огляду на безпеку та ефективність функціонування системи в реальних умовах. На відміну від лабораторних чи симуляційних середовищ, у польових умовах апарат оперує в необмеженому просторі зі складними, мінливими зовнішніми факторами — погодними умовами, непередбачуваними перешкодами, а також ризиками взаємодії з людьми і об'єктами інфраструктури.

Проведення випробувань у польових умовах дозволяє комплексно оцінити працездатність ключових функціональних компонентів системи, включно зі стабільністю алгоритмів автономної навігації, точністю класифікації місцевості, надійністю передачі телеметрії та поведінкою апарата в аварійних ситуаціях (втрата зв'язку, відсутність GPS). З огляду на це, важливо суворо дотримуватись регламентів безпеки, які враховують авіаційні, електротехнічні та природні аспекти експлуатації.

1. Вибір та підготовка зони випробувань

Обрана зона для польових випробувань має відповідати наступним вимогам:

- Розташування поза межами населених пунктів для мінімізації ризиків;
- Мінімальна відстань від житлових об'єктів не менше 150 метрів;
- Відсутність ліній електропередач, газопроводів, автомобільних доріг, водойм та інших потенційно небезпечних об'єктів у зоні дії БПЛА;
- Наявність позначеної стартової зони із твердим ґрунтом або злітною смугою (для літакових типів БПЛА);
- Буферна зона радіусом не менше 50 метрів, доступна лише для обслуговуючого персоналу.

Підготовка майданчика включає встановлення попереджувальних знаків, нанесення орієнтирів для візуального контролю, визначення напрямку вітру, а також перевірку якості радіозв'язку і GPS-сигналу. За потреби координати випробувальної зони погоджуються з місцевими органами влади.

2. Склад команди та засоби контролю

Польове тестування здійснюється мінімум двома фахівцями:

- Оператор керування, відповідальний за зліт, посадку та взаємодію із ШІ-модулями;
- Технічний спостерігач, який контролює стан акумуляторів, телеметрії та веде журнал проведення випробувань.

Обов'язковий набір засобів на полігоні включає:

- Вогнегасник типу ВП-5 або CO₂;
- Комплект інструментів та запасних частин (гвинти, кабелі, батареї);
- Мобільний пристрій з GPS або ноутбук для аналізу телеметричних даних;
- Засоби індивідуального захисту (окуляри, жилети, рукавички).

3. Метеоумови та час проведення

Випробування дозволяється проводити за умов:

- Максимальної швидкості вітру до 10 м/с;

- Температури повітря від +5 до +30 °С;
- Відсутності опадів, туману, а також поганої видимості;
- Мінімального рівня сонячної активності для зменшення перешкод у GPS-каналі.

Перевага надається денному часу доби для забезпечення оптимальних умов роботи камери і системи машинного зору.

4. Перевірка перед польотом

Перед кожним польотом здійснюється детальна перевірка:

- Цілісності конструкції апарата (крил, фюзеляжу, елеронів, гвинтів);
- Заряду та температурного стану акумуляторних батарей;
- Стану основних сенсорів (GPS, Інерціальна Навігаційна Система, ультразвукові датчики, камера);
- Готовності ШІ-модулів, зокрема перевірка працездатності моделі `terrain_classifier.onnx`, протестованої на реальних зображеннях;
- Активності резервного аварійного каналу зв'язку (4G або GSM).

5. Поведінка під час аварійних сценаріїв

Польові випробування передбачають симуляцію або виникнення таких аварійних ситуацій:

- Втрата радіозв'язку;
- Перешкоди або повна відсутність GPS-сигналу;
- Помилкове розпізнавання типу місцевості;
- Відмова двигуна або вихід з ладу акумулятора.

За таких обставин система повинна автоматично активувати режим автономного керування на базі ШІ, класифікувати місцевість під апаратом і виконати аварійну посадку виключно на безпечних типах поверхні — поле, аеродром або дорогу (класи 0, 4, 1 відповідно). Координати місця посадки мають бути збережені у логах і передані через телеметрію після відновлення зв'язку.

6. Післяпольотна обробка

Після завершення польотних випробувань проводиться:

- Перевірка технічного стану вузлів і агрегатів БПЛА;
- Аналіз телеметричних логів, зокрема даних камери, GPS та ІНС;
- Оцінка коректності роботи ШІ — точності класифікації місцевості, адекватності планування маршруту та реакції на позаштатні ситуації;
- Складання технічного акту випробувань, де фіксуються успіхи, недоліки та пропозиції щодо подальшого удосконалення системи.

Висновки до розділу 4

Забезпечення належного рівня охорони праці при розробці, випробуваннях та експлуатації інтелектуальної системи керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) є надзвичайно важливою умовою успішної реалізації таких технологій. Цей аспект охоплює широкий спектр заходів, які спрямовані на захист життя і здоров'я працівників, мінімізацію потенційних виробничих ризиків, а також забезпечення надійного функціонування системи в умовах підвищеної небезпеки.

Аналіз показав, що створення інтелектуальної автоматизованої системи керування БПЛА пов'язане з низкою потенційно небезпечних і шкідливих чинників, серед яких: вплив електромагнітного випромінювання, можливість механічних пошкоджень від обертових частин апарата, ризик ураження електричним струмом, психофізіологічні навантаження на операторів, а також ризики, пов'язані з випробуванням дронів у реальному середовищі (особливо за відсутності радіозв'язку або у разі аварійної посадки).

З метою зниження впливу зазначених факторів були розроблені рекомендації з урахуванням положень нормативної документації України у сфері охорони праці, таких як Закони України "Про охорону праці", ДСТУ та міждержавні стандарти безпеки. Зокрема, акцент зроблено на створенні безпечних умов праці на всіх етапах життєвого циклу системи: проектування, збирання, налаштування, польові випробування, технічне обслуговування, ремонт.

Реалізація комплексу технічних і організаційних заходів, включаючи використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), розробку інструкцій з безпечної експлуатації БПЛА, проведення навчань для персоналу, організацію санітарно-гігієнічних умов праці та регулярний технічний контроль за станом обладнання, дає змогу ефективно керувати ризиками та забезпечити стабільну роботу системи.

Крім того, особлива увага приділяється питанням безпеки під час польових випробувань, де ризики набувають реального характеру через відсутність фізичних обмежень для руху апарата, зміну погодних умов, а також можливість перетину зон з перебуванням людей або тварин. У таких умовах важливо забезпечити суворе дотримання протоколів безпеки, встановлення буферних зон, автоматичне аварійне вимкнення системи у разі виявлення несправностей або позаштатних ситуацій.

Таким чином, питання охорони праці в контексті створення й експлуатації інтелектуальної системи керування БПЛА повинні розглядатися як невід'ємна частина інженерного процесу, що інтегрується у загальну архітектуру проєкту. Це забезпечує не лише безпеку персоналу, але й підвищує якість, надійність і довговічність роботи всієї системи.

ВИСНОВКИ

У межах виконаної роботи було проведено комплексне дослідження, розробку та часткову реалізацію автоматизованої системи керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА), що функціонує з використанням елементів штучного інтелекту. Аналіз науково-технічних джерел, засвідчив високий рівень актуальності інтеграції інтелектуальних технологій у системи автономного авіаційного управління.

У першому розділі здійснено огляд сучасних тенденцій розвитку БПЛА, класифікацію типів безпілотних систем та аналіз принципів їх автономного управління. Особливу увагу приділено архітектурі інтелектуальних систем, включно з машинним зором, алгоритмами нейромереж, сенсорним об'єднанням (sensor fusion) і прийняттям рішень у режимі реального часу. Встановлено, що використання ІІІ дозволяє підвищити ступінь адаптивності БПЛА до змін середовища, забезпечити навігацію в умовах втрати GPS або радіоканалу, а також реалізувати розпізнавання місцевості для вибору безпечної зони посадки.

У другому розділі було спроектовано функціональну архітектуру системи, до складу якої входять модулі обробки зображень, класифікації типів місцевості, керування польотом через інтерфейс MAVROS та реалізація поведінки на основі нейроалгоритмів. Розроблено ROS-вузол, який забезпечує автономний контроль у разі втрати зв'язку, аналізує дані з камери, GPS, ІНС, ультразвукового датчика та Піто, а також виконує динамічну корекцію висоти та траєкторії.

У третьому розділі проведено експериментальну перевірку працездатності системи в симульованому та реальному середовищі. Результати тестувань продемонстрували високу точність класифікації місцевості (понад 90%), стабільну поведінку дрона в автономному режимі та здатність до самостійного ухвалення рішень у кризових ситуаціях.

Крім того, в розділі охорони праці окреслено комплекс заходів для забезпечення безпеки під час лабораторних та польових випробувань. Визначено основні потенційні ризики, включаючи механічні, електричні, алгоритмічні та психофізіологічні фактори, а також запропоновано технічні й організаційні засоби їх мінімізації.

Отже, розроблена система не повністю довела свою ефективність як автономна, інтелектуально-керована платформа, здатна діяти в умовах часткової або повної втрати зв'язку, здійснювати самостійну навігацію й посадку, а також адаптуватися до особливостей місцевості. Подальший розвиток такої архітектури може бути спрямований на масштабування функцій (виявлення

об'єктів, формування оптимального маршруту, взаємодія з іншими дронами), а також на впровадження систем колективного розуму (swarm intelligence) у групах БПЛА.

Результати роботи опробовані на XXII Міжнародній науковій конференції "Ольвійський форум - 2025".

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Yu T., Imada S., Araki K., Sakaguchi K. Multi-UAV Full-Duplex Communication Systems for Joint Video Transmission and Flight Control // In 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). – 2021. – P. 1423-1428. – NV, USA. – DOI: 10.1109/CCWC51732.2021.9375952. (дата звернення: 12.05.2025).
2. Кашаєв І.О., Усачова О.А., Новічонок С.М., Петров В.М. Застосування безпілотних літальних апаратів для вирішення задач моніторингу об'єктів аеродромної інфраструктури. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків, 2019. № 2. С. 48–58.
3. Яровий О.В. Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об'єктів. Молодий вчений. 2018. № 5(1). С. 190–196.
4. М'ясіщев О.О., Швець В.В. Режим польоту контролерів польоту arm 2.6 і рixhawk БПЛА. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Хмельницький, 2018. №1 (257). З. 78–82.
5. Микійчук М. М., Зіганшин Н. З. Аналіз методів управління безпілотними літальними апаратами / Вимірювальна техніка та метрологія. 2019. №4 (80). З. 37-41.
6. Бережній О. О. Методи та інформаційна технологія автоматизованого планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для підвищення ефективності пошуку об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за Харківський національний-спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, 2020, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2020. 192 с.

7. Молчанов До. Д. Розробка геометричного методу побудови маршруту БПЛА для обходу перешкод/К. Д. Молчан, Д. І. Бойка, М. е. Хацько // XIII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів: матеріали конф., 19-22 листопада 2019 р. / ред. Є. І. Сокіл; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. Харків: НТУ "ХПІ", 2019. С. 95-96.
8. Романюк О.В. Метод доступу до радіоканала вузлами безпроводної сенсорної мережі при зборі даних моніторингу телекомунікаційними аероплатформами / О.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – № 4. – 2018. – С. 84 – 91.
9. Романюк О.В. Задачі управління збором даних моніторингу БпЛА у бездротових сенсорних мережах / О.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – № 2. – 2018. – С. 103 - 112.
10. Жук О.В. Моделі побудови покриття та виявлення цілей у бездротових сенсорних мережах / О.В. Жук, А.В. Романюк, В.В. Тарасов, Д.В. Ткаченка // Збірник наукових праць ВІТІ. - 2017. - № 3. - С. 41 - 48.
11. Довбиш А. С. Основи теорії розпізнавання образів: навч. посіб. у 2 ч. / А. С. Довбиш, І. В. Шелехов. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – Ч. 1. – 109 с.
12. Волошин, О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с.
13. Гребеніков А. Г., Мяслиця А. К., Парфенюк В. В. Загальні види і характеристики безпілотних літальних апаратів: навчальний посібник. Харків. 2008. 377 с.
14. Комягін С. І. Електромагнітна стійкість безпілотних літальних апаратів. М.: Красанд. 2015. 432 с.

15. Каліненко, С. О. Використання інноваційних технологій у системах зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Науковий вісник Київського національного університету. 2020. № 4. С. 33-37.
16. Робота ЗНМ на прикладі розпізнавання виду транспорту [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/acomprensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way3bd2b1164a53> (дата звернення: 12.05.2025).
17. Non-maximum Suppression [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/non-maximum-suppression-nms93ce178e177c> (дата звернення: 12.05.2025).
18. Ілюстрація простого прикладу роботи нейронної мережі [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://laptrinhx.com/forwardpropagation-in-neural-networks-simplified-math-and-code-version3840767018/> (дата звернення: 12.05.2025).
19. Кириченко О. В., Охорона праці в комп'ютерно-інтегрованих технологіях. — Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2020.
20. Методичні рекомендації з охорони праці при роботі з електронним обладнанням та роботизованими системами / НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». — Київ, 2021. — 35 с.
21. Плахотнік О. В. Основи охорони праці: навч. посіб. — Львів: Новий світ – 2000, 2021. — 238 с.
22. Інструкція з охорони праці для користувачів радіокерованих БПЛА. — Затверджено: кафедра авіаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 12 с.
23. Литвиненко В. Г. Охорона праці в галузі автоматизованих систем: навч. посіб. — Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019. — 212 с.
24. Астахов С. О., Козлов Д. П. Охорона праці при роботі з мікропроцесорною технікою. — К.: Освіта України, 2022. — 144 с.

- 25.Гнатюк С. В., Горбунов Ю. В. Інженерна та комп'ютерна безпека: навч. посіб. — К.: Наука і освіта, 2022. — 206 с.
- 26.Снігур В. І. Охорона праці при роботі з комп'ютерною технікою: навч. посіб. — Чернівці: Рута, 2020. — 128 с.
- 27.Бандурка А. М., Савченко В. Ф. Безпека життєдіяльності: підручник. — Харків: Факт, 2021. — 420 с.