

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри АНС  
д-р техн. наук, проф.  
\_\_\_\_\_Ларін В.Ю.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023р.

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
за освітньо-професійною програмою  
«БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»

**Тема: «Інтелектуальна СШР оператора БАС. Посадка в складних  
метеорологічних умовах»**

Виконавець: студент БК-266М, Стовба В.Д.

Керівник: д-р техн. наук, проф, Шмельова Т.Ф.

Керівники спеціального розділу

д.т.н. проф. Остроумов І.В.

д.т.н. проф. Шмельова Т.Ф.

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Шмельова Т.Ф.  
(П.І.Б.)

Київ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Безпілотні авіаційні комплекси»

Освітній ступінь: Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АНС

д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_Ларін В.Ю.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_2023р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання дипломної роботи

Стовби Віктора Дмитровича

1. Тема роботи «Інтелектуальна СППР оператора БАС. Посадка в складних метеорологічних умовах» затверджена наказом ректора від «28» серпня 2023 р. № 1443/ст
2. Термін виконання роботи: з 23.10.2023 по 31.12.2023.
3. Вихідні дані до роботи: наукова література про вплив метеорологічних явищ на політ; нормативні акти України та рекомендації міжнародних організацій щодо використання безпілотних авіаційних систем у повітряному просторі; методи прийняття рішення в умовах невизначеності; методи штучного інтелекту; Інструменти моделювання систем штучного інтелекту(Keras, scikit-learn)
4. Зміст пояснювальної записки: Аналітичний огляд факторів впливу на безпілотне повітряне судно під час виникнення складних метеоумов(СМУ). Аналіз дій дистанційного пілота для безпечного і ефективного виконання цільової задачі за умови виникнення СМУ. Визначення методів прийняття рішення за даних умов. методів Моделювання інтелектуальної системи прийняття рішення на основі *ML*. Визначення інструментів реалізації системи. Програмна реалізація системи. Надання

рекомендацій щодо подальшого розвитку системи прийняття рішення за умов виникнення СМУ. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності; Ефективність авіаційних перевезень України; Охорона праці та охорона навколишнього середовища.

ерелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: рисунків, таблиць, формули: Принципіальна схема ІСППР, Схематичне зображення системи згідно визначеного методу *ML*

#### Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Збір та аналіз джерел щодо впливу метеорологічних умов на БАС.	23.10.2023 - 28.10.2023	Виконано
2	Аналіз стану інтеграції БАС у несегрегований повітряний простір.	29.10.2023 - 01.11.2023	Виконано
3	Аналіз правил та рекомендацій дистанційному пілоту при зміні, під час польоту в контрольованому повітряному просторі, метеорологічних умов.	02.11.2023 - 06.11.2023	Виконано
4	Визначення суті задачі. Формування 1 розділу ПЗ.	07.11.2023 - 10.11.2023	Виконано
5	Збір та аналіз джерел щодо методів , котрі описують цільову задачу дослідження.	11.11.2023 - 14.11.2023	Виконано
6	Збір та аналіз джерел щодо методів штучного інтелекту, котрі можуть вирішити цільову задачу	15.11.2023 - 18.11.2023	Виконано
7	Формування 2 розділу ПЗ.	19.11.2023 - 23.11.2023	Виконано

8	Створення теоретичної моделі ІСППР	24.11.2023 - 27.11.2023	Виконано
9	Підбір інструментів для реалізації моделі ІСППР. Реалізація програмного модуль моделі ІСППР.	28.11.2023 - 2.12.2023	Виконано
10	Формування 3 розділу ПЗ і додатків	3.12.2023 - 6.12.2023	Виконано
11	Аналіз і реалізація задачі спеціальних розділів.	5.12.2023 - 7.12.2023	Виконано
13	Формування 4, спеціального розділу ПЗ	5.12.2023 - 10.12.2023	Виконано
12	Підготовка до попереднього захисту дипломної роботи. Створення презентації до захисту.	11.12.2023 - 12.12.2023	Виконано
14	Аналіз напрямку охорони праці та охорона навколишнього середовища у галузі безпілотної авіації.	12.12.2023 - 14.12.2023	Виконано
15	Формування 5 розділу ПЗ	15.12.2023 - 16.12.2023	Виконано
16	Визначення і формування підсумків дипломної роботи.	17.12.2023 - 18.12.2023	Виконано
17	Нормування виконаної роботи згідно з Положенням про дипломні роботи (проекти) випускників Національного авіаційного університету. – Київ: НАУ, 2017.	18.12.2023 - 19.12.2023	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності	д.т.н. проф. Остроумов Іван Вікторович		
Ефективність авіаційних перевезень України	д.т.н. проф. Шмельова Тетяна Федорівна		

а  
т  
а  
К  
и  
д  
а  
з  
і  
з  
а  
в  
д  
а  
н  
н  
я

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ж  
О  
В  
Т  
Н  
Я

2023р.

Керівник дипломної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Шмельова Т.Ф.  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Стовба В.Д.  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Інтелектуальна СППР оператора БАС. Посадка в складних метеорологічних умовах»: 106 сторінок, 3 додатки, 27 рисунків, 5 таблиць, 46 використаних джерел.

**Мета роботи** – застосування методів ШІ у сфері прийняття рішення. Оптимізації процесу прийняття рішення оператором БАС під час виникнення складних метеорологічних умов на маршруті.

**Об'єкт дослідження:** технологія дій оператора БАС у випадку виникнення складних метеорологічних умов на траєкторії польоту на різних етапах польоту.

**Предмет дослідження:** моделювання процесу ПР оператора БАС в складних метеорологічних умовах.

**Методи дослідження:** теоретичні методи, метод експертних оцінок, методи прийняття рішення у невизначеності, динамічне програмування.

Розроблено теоретичну модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення, на основі штучного інтелекту. Та реалізовано у вигляді програмного модуля, що за широкої адаптації під умови експлуатації може надати можливість дистанційному пілоту безпілотної авіаційної системи оптимізувати процес прийняття рішення щодо місця посадки за умови виникнення складних метеоумов.

Адаптована архітектура моделі нейронної мережі при навчанні на синтетичному наборі даних, показала максимальну правильність (*accuracy*) прогнозування у межах 84% і втрати (*loss*)  $\sim 0,32$ .

БЕЗПЛОТНА СИСТЕМА, СКЛАДНІ МЕТЕОУМОВИ, ЗАДАЧА ВИБОРУ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

## **АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ..... 12

Т

ВСТУП..... 14

## РОЗДІЛ 1. Б

М и

С к т

В о н

Ц р н

К и и

Л в в

В л в

Д а р

В д н.....

И н б

Х й р

М д ш

Е в б

Ш в р

Н є б

Ю ш р

Висновки до розділу 1.....32

## РОЗДІЛ 2. М

И н б

Ф й р

О р б е

Д о й р

И н б р

Н р б і

И н б и

К ю б і.....8

Ю ш ш м



р  
и и  
е с т  
т н е  
о р р  
д е і  
м е й  
м ш Г  
н и у  
д й р  
в н в

### РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ

П	в	б	ц
Р	и	и	на модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення в
И	р	р	.....
Й	ш	р	.....
Н	р	н	
Я	н	б	
Т	д	ш	
Т	р	р	
Я	р	б	
Р	р	й	
І	н	р	
Ш	р	б	
Е	ж	б	
Н	р	б	.....
Н	р	ш	
Я	ш	р	.....
Д	Висно	рки	до розділу.3.....67
И	р	р	
С	й	д	
Т	р	б	

ізнес план підприємства з виробництва і обслуговування безпілотних літальних

с

и е

с ы

т ю

е ш

м и

к і.....

о ф

м б

п р

л р

в и

к ш

о й

і ш

в р.....

в і

**РОЗДІЛ 5. Ө.....**

**Х В и.....**

**Ө й.2. Особливості роботи операторів БпАК з огляду на діяльність підрозділу**

**ДСНС..... й..... 87**

**Ө й.3. Формування...підготовки...зовнішніх...пілотів/...операторів...безпілотних**

**авіаційних систем.....88**

**А Висновки до розділу 5 ..... 90**

**Н Б ш**

**Н б р**

**ПОДАТОК А.....101**

**ПОДАТОК Б..... 103**

**О б ш**

**Ф и р**

**К и ф**



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БАС	Безпілотна авіаційна система
ЗНМ	Згортова нейронна мережа
ПР	Прийняття рішення
СМУ	Складні метеорологічні умови
СППР	Система підтримки прийняття рішення.
ШІ	Штучний інтелект
<i>ADS-B</i>	<i>Automatic Dependent Surveillance-Broadcast</i>
<i>BVLOS</i>	<i>Beyond visual line of sight</i>
<i>EASA</i>	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
<i>FAA</i>	<i>Federal Aviation Administration</i>
<i>ICAO</i>	<i>International Civil Aviation Organization</i>
<i>LIDAR</i>	<i>Light Detection and Ranging</i>
<i>ML</i>	<i>Machine Learning</i>
<i>NTSB</i>	<i>National Transportation Safety Board</i>
<i>TCAS</i>	<i>Traffic Collision Avoidance System</i>
<i>VLOS</i>	<i>Visual line of sight</i>

## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

**Дистанційний пілот** – фізична особа, відповідальна за безпечне виконання польоту безпілотного повітряного судна, яка керує його органами управління вручну або здійснює моніторинг курсу автономного польоту безпілотного повітряного судна, залишаючись здатною втручатися та змінювати його курс у будь-який час;[1]

**Безпілотна авіаційна система** – безпілотне повітряне судно та обладнання для дистанційного керування ним;[1]

**Складні метеорологічні умови** – метеорологічні умови, визначені в значеннях видимості та параметрів хмарності, за яких польоти повністю або частково виконуються за правилами польотів за приладами (за відсутності видимості поверхні землі або природного горизонту) або візуально під хмарами (кількістю 7 та більше балів) за умов, які визначаються згідно з Правилами виконання польотів державної авіації України, та можуть впливати на виконання польотних завдань;[2]

**Система підтримки прийняття рішення** – Система (програмний комплекс), яка призначена для допомоги та підтримки різних видів діяльності людини при прийнятті рішень стосовно розв’язання слабоструктурованих або неструктурованих проблем. Застосування СППР забезпечує виконання ґрунтовного та об’єктивного аналізу предметної області при прийнятті рішень у складних умовах.[3]

**Тензор** – це основна структура даних, яка використовується в більшості фреймворків для роботи з НМ та обробки даних. У загальному розумінні тензор - це математичний об’єкт, який може бути представлений як багатовимірна матриця з числовими значеннями. Вона може мати будь-яку кількість рангів, що робить її універсальною для представлення даних різної складності та структури.

## ВСТУП

Станом на 2023 рік тільки в США було зареєстровано 855,860 безпілотних повітряних літальних апаратів, це явище стає все більш поширеним і має потенціал стати повноцінною складовою міжнародних польотів у контрольованому повітряному просторі[4]. Такі визначні для сучасної авіації організації, як ICAO, FAA або ж EASA тяжіють до вирішення основних складових міжнародної авіації: безпеки і ефективності[5]. Принципи, за котрими досягаються ці цілі, не обходять стороною і безпілотну авіацію. За рекомендаційними і установчими документами, що на даний момент впроваджені цими організаціями, можна помітити важливість дотримання максимальної безпеки і ефективності під час всіх етапів експлуатації безпілотних авіаційних систем, як під час передпольотної підготовки так і, власне, під час польоту[6]. Особливо це критично під час виникнення різномірних надзвичайних ситуацій, що жодним чином не залежать від дистанційного пілота, таких як метеорологічні умови[7]. Оскільки, ті можуть спричинити серйозну шкоду або втрату літака, а за певних умов керування, бути небезпечними для людей, як для не задіяних у експлуатації, так і обслуговуючого персоналу[8].

Незважаючи на розвиток методів прогнозування, на маршруті чутливих до метеоумов БАС можуть з'являтися раніше не передбачені, такі, що викликають труднощі в роботі. Вони можуть включати явища, що погіршують видимість: туман, серпанок, відблиски та хмари, а також погодні умови, які можуть спричинити втрату контролю, втрата зв'язку, погіршення аеродинамічних характеристик. Можуть негативно вплинути на оператора, наприклад: вітер, дощ, сонячні бурі, екстремальні температури, вологість, сніг і лід. Незважаючи на те, що поточні правила використання повітряних суден не торкаються багатьох

небезпечних погодних умов для БАС, в деяких наукових працях і, що важливо, в документах визначаються метеорологічні обмеження для їх використання[7,8,9].

Дистанційний пілот, незалежно від типу БАС, за українськими нормативним актом, несе повну відповідальність за виконання завдання і безпеку польотів, що накладає обов'язок якісного проведення всіх етапів підготовки до польоту, а в випадку надзвичайних ситуацій швидке і доцільне виконання дій для їх безпечного і ефективного вирішення[6,10]. Враховуючи, що через спосіб керування і комунікації, між БАС і оператором існують значні обмеження в можливостях під час польоту, що однозначно можуть підсилюватись при надзвичайних ситуаціях за межами видимості. В той час як, пілоти можуть контролювати ситуацію безпосередньо, оператори ж роблять це віддалено, що зменшує кількість отриманої під час польоту інформації, що може бути критичним для вирішення ситуації[8]. Через це, окрім адаптації систем до певних погодних умов, явною стає необхідність створення інструментів що б підсилювали подібні можливості оператора для вирішення надзвичайних ситуацій.

Одним із інструментів для допомоги оператору під час прийняття рішення є якісна підготовка із використанням моделей спільного прийняття рішення. В випадку стохастичної моделі[11], підготовка включає в себе забезпечення достатнього запасу палива і визначення запасних місць посадки. І у разі виникнення надзвичайної ситуації відбувається вирішення задачі вибору оптимальних запасних аеродромів/місць/вертипортів посадки. Окрім емпіричного способу, є можливість прийняття рішення з використанням критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності типу Вальда, Лапласа, Севіджа, Гурвіца[12]. Критерії відрізняються в застосуванні відповідно до різних рівнів невизначеності проблеми, типів польоту/ситуацій і складності ситуацій у польоті. Оцінка факторів, що впливають на вибір оптимального аеродрому заходження на посадку, оцінка всіх альтернатив та очікуваних результатів тут реалізуються за допомогою методу експертних оцінок. І все ж максимальної ефективності для прийняття рішення в умовах надзвичайної ситуації необхідним є її глибокий

аналіз та рання ідентифікація, інтелектуальна обробка даних та формалізація ситуації, найкращим інструментом для цього є інтегровані моделі та системи ШІ[13]

**Мета роботи** – застосування методів ШІ у сфері прийняття рішення. Оптимізації процесу прийняття рішення оператором БАС під час виникнення складних метеорологічних умов на маршруті.

**Виконання роботи передбачало виконання наступних завдань:**

- Аналіз факторів впливу на безпілотне повітряне судно під час виникнення складних метеоумов(СМУ).
- Аналіз дій дистанційного пілота при виконанні польоту за умови виникнення СМУ.
- Аналіз методи прийняття рішення за різних умов.
- Аналіз принципів побудови систем підтримки прийняття рішення.
- Аналіз методів створення систем на основі штучного інтелекту.
- Розробка структуру ІСППР на основі одного з методів ML.
- Проаналізувати інструменти реалізації систем штучного інтелекту
- Розробити програмний модуль ІСППР для прийняття рішення оптимального аеродрому через виникнення СМУ на маршруті польоту.

Перевірити ефективність програмного модуля.

**Об'єкт дослідження:** технологія дій оператора БАС у випадку виникнення складних метеорологічних умов на траєкторії польоту на різних етапах польоту.

**Предмет дослідження:** моделювання процесу ПР оператора БАС в складних метеорологічних умовах.

**Методи дослідження:** теоретичні методи, метод експертних оцінок, методи прийняття рішення у невизначеності, динамічне програмування, методи штучного інтелекту (ШІ), моделювання, симуляції, оптимізація, тестування.

Новизна дослідження полягає у застосуванні методу НМ у задачі прийняття рішення дистанційним пілотом.



### **Апробація отриманих результатів:**

29 листопада 2023 р. на XIV всеукраїнській науково-технічній конференції «Сталий розвиток систем зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM - 2023 » відбулась презентація результатів дослідження за темою «Інтелектуальна СППР оператора БАС: посадка в складних метеорологічних умовах». Збірник тез конференції опубліковано на сайті кафедри Аеронавігаційних систем Національного авіаційного університету.

13 грудня 2023р. відбувся попередній захист дипломних робіт де комісії у складі куратора навчальної групи та професорів кафедри АНС оцінила результати робіт і готовність до захисту.

За час навчання за освітньо-професійною програмою було взято участь у декількох конференціях :

На 12 міжнародній конференції IEEE з надійних систем, Dessert'2022, де брав участь, як член міжуніверситетської групи, що опублікувала статтю за темою: «Organization of a safe and efficient system of air transportation in and around an urban area using Unmanned Arial Vehicles»

18 квітня 2023 року брав участь у груповій презентації на Міжнародній науково-технічній конференції за темою «Моделі прийняття рішень при управлінні потоками БПЛА».

# РОЗДІЛ 1

## БЕЗПЛОТНА АВІАЦІЙНА СИСТЕМА В СКЛАДНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

### **використання повітряного простору безпілотною авіацією**

Експлуатація безпілотного авіаційного комплексу включає використання комплексу складових до яких входять: сам літальний апарат, наземна станція керування, лінії управління та контролю (C2) для автоматичного чи то ручного керування, та інших різноманітних компонентів залежно від призначення (цільового завдання), яке виконує БАС/група БАС. За таких умов, коли відповідальна за пілотування особа знаходиться поза бортом, виникають обставини, що впливають на безпеку[6]. Дослідження цих обставин і розробка процедур для спільної системи – це поступовий процес, що включає в себе тривалий збір статистики, розробку концепцій, стратегій та правових рамок для ефективного та безпечного функціонування БАС у повітряному просторі. На даний момент існує багато підходів, концепцій і стратегій організації безпілотного простору. Основоположниками в цій сфері, можна поправу вважати: EASA, FAA та ICAO.

### **та вплив EASA**

EASA є основним європейським органом, що займається уніфікацією правил для БАС у повітряному просторі Європи[14]. Останні роки ознаменувались їх прийняттям директив 2019/945 та 2019/947, як основу щодо безпілотної авіації у виділених категоріях. Як приклад, делегований регламент 2019/945 забезпечує категоризацію БАС.

EASA також є творцями концепції U-space, що спрямована на забезпечення безпеки польотів, координацію та управління безпілотними літальними апаратами

у відкритому повітряному просторі, зокрема над заселеними площами та місцями, де відбуваються різноманітні заходи. Основними аспектами концепції є:

- Управління трафіком БАС: Система, що дозволяє автоматично керувати рухом БАС для уникнення зіткнень та ефективного регулювання трафіку.
- Системи визначення та уникнення зіткнень, а також встановлення правил та обмежень для забезпечення безпеки польотів.
- Системи зв'язку для обміну інформацією між БАС, дистанційними пілотами, повітряними контрольними пунктами та іншими зацікавленими сторонами.
- Розробка систем обробки даних, які дозволять ефективно використовувати інформацію про польоти та навколишнє середовище для керування польотами та прийняття рішень.
- Розробка нормативних вимог та правил для БАС, що забезпечить їхню інтеграцію в повітряний простір з дотриманням вимог безпеки та правового регулювання.[15]

Цей підхід спрямований на створення безпечного, ефективного та гнучкого середовища для безпілотної авіації, де БАС можуть легко та безпечно взаємодіяти з традиційною авіацією та іншими учасниками повітряного простору. Концепція активно розробляється та впроваджується в Європі з метою забезпечення безпеки та ефективності розвитку безпілотної авіації.

### **плив FAA на інтеграцію БАС в США**

В США теж активно працюють над інтеграцією БАС у повітряний простір. Основним органом у сфері авіації там є FAA і вони, власне, займаються інтеграцією. Ключовим аспектом роботи FAA у цій сфері є розробка та встановлення стандартів, правил та регуляції для експлуатації безпілотних систем. Основним досягненням тут є визначення правила для комерційних операторів БАС (Part 107) з метою забезпечення безпеки та правової уніфікації управління[9].

Також, FAA організували процеси ліцензування та сертифікацію БАС і їхнього обладнання. Як і EASA, FAA розробляє та впроваджує системи управління повітряним простором, що враховують і БАС, зокрема правила для їхньої координації та безпеки зв'язку з іншими повітряними апаратами. FAA активно співпрацює з іншими країнами, міжнародними організаціями та приватним сектором для розвитку та впровадження безпілотної авіації, дотримуючись принципів безпеки та ефективності управління повітряним простором. Їхня робота спрямована на створення функціональної та безпечної системи, що дозволяє безпілотним літальним апаратам існувати та працювати нарівні з традиційною авіацією[16].

### **Інтеграцію БАС в міжнародний повітряний простір**

ІКАО є основним органом, що впливає на інтеграцію БАС в повітряний простір через розробку та встановлення міжнародних стандартів, рекомендацій та правил, що стосуються безпілотної авіації. Основним їхнім важелем впливу є стандартизація: ІКАО розробляє стандарти та рекомендації для безпілотної авіації, зокрема щодо технічних вимог, безпеки польотів, дозволених операцій, сертифікації БАС та інші аспекти, які дозволяють уніфікувати підходи до безпеки та ефективності в усьому світі. До прикладу, найбільш визначним документом станом ще з 2015 року є «Керівництво з дистанційно пілотованих літальних систем, що в свою чергу є ланцюжком реакційних документів однієї із статей Чиказької конференції[6].

Оскільки інтеграція безпілотної авіації передбачає корегування багатьох аспектів в цивільній авіації, ІКАО стимулює гармонізацію правил і положень для забезпечення узгодженості між різними країнами. За потреби ІКАО також надає технічну підтримку країнам для впровадження стандартів безпілотної авіації та допомагає їм адаптувати міжнародні стандарти до своїх національних потреб і широко співпрацює з урядами, приватним сектором, академічними установами та іншими міжнародними організаціями для спільної розробки та впровадження міжнародних стандартів безпілотної авіації.

ІСАО грає ключову роль у встановленні стандартів безпеки, ефективності та уніфікації правил для безпілотної авіації на міжнародному рівні.

### **тан інтеграційного процесу в Україні**

До початку повномасштабного вторгнення українські державні установи не були значною мірою залучені до процесів інтеграції комерційних БпАК в контрольований простір України. Єдиними документами що впроваджують регулювання щодо БпАК у контрольованому повітряному просторі є Правила використання повітряного простору та накази Міністерства оборони України №661 та 401, що регламентують правила виконання польотів та правила технічної експлуатації БпАК державної авіації. З них можна визначити, що на даний момент в Україні до безпілотної авіації правила є подібними до тих, що й в пілотованій авіації, зокрема що, виділяють категорію БАС, що за виконання певних умов, можна використовувати без погодження із державними органами.

Оскільки Україна є членом ІСАО, а в майбутньому, потенційно, може стати членом ЕАSА, то по настанню сприятливого для цивільної авіації часу варто очікувати зрушень у цьому процесі й в Україні.

### **кладні метеорологічні умови і їх вплив на БАС**

Авіація є найбезпечнішим, відносно інших, видом транспорту. Та статистика міжнародних організацій все-одно показує наявність значної кількості різного роду інцидентів у контрольованому повітряному просторі різних країн. Статистика NTSB у США показує(див. рис.1.1)[17], що попри високу якість сучасних методів прогнозування метеоумов, з різноманітних причин відбуваються пов'язані з ними інциденти. Нажаль, мала присутність БАС у контрольованому просторі, не дозволяє формувати чітку статистику їх експлуатації, але якщо припустити, що в більшості випадків вони стаються із завідома визначеними погодними умовами і відповідальна особа безпосередньо

виконує процеси керування, то статистика інцидентів, пов'язана із безпіотною авіацією, може бути подібною або навіть більшою, оскільки на це впливає безліч факторів, що залежать виключно від концепції БАС [7]

Разом із задачами БАС, що виконуються в умовах безпосереднього ризику від польотів у складних погодних умовах, як то рятувальні операції, існують і такі, що його не передбачають, але в той же час не виключають їх появу, через різку зміну погоди на маршруті або через відсутність точної інформації про погодні умови. Погіршення видимості, втрати зв'язку або контролю через СМУ - все це може призвести до втрати літака. Крім того, під час операцій VLOS візуальні спостерігачі та оператори піддаються впливу погодних умов на землі, що може вплинути на їх здоров'я та погіршити здатність бачити та контролювати літальний апарат.



Рисунок 1.1. Статистика NTSB щодо інцидентів із загальною авіацією в США

Виконання цільових задач авіації вимагає чіткого планування, особливо коли мова йде про контрольований повітряний простір. Поява надзвичайних ситуацій, не є виключенням, саме тому міжнародні організації проводять комплексні дослідження для створення стратегій при їх виникненні. Так як мова йде про БАС в складних погодних умовах, то необхідно зрозуміти вплив різних погодних умов на ці системи, зокрема: вплив на дистанційних пілотів, спостерігачів і БАС.

Класифікація погодних небезпек, для операцій БАС варіюється між помірною, несприятливою і серйозної (Рис. 1.2.)[7]. Помірні небезпеки тут класифіковано як ті, що є результатом явищ, які погіршують видимість, але в іншому випадку не завдають шкоди літаку, наприклад, туман, імла, відблиски та хмарний покрив.

Рівень тяжкості	Небезпека	Типи погоди
Помірна	Знижена видимість	а) Туман б) Серпанок в) Відблиски г) Хмарність
Несприятлива	а) Втрата зв'язку б) Втрата контролю в) Втрата керування г) Зниження аеродинамічних характеристик г) Зниження ефективності дистанційного пілота.	а) Вітер і турбулентність б) Дощ в) Сонячні бурі г) Температура і вологість д) Сніг і лід
Серйозна	а) Серйозне пошкодження або втрата літака б) Нейприйнятний ризик для експлуатантів і інших осіб.	а) Блискавка б) Град в) Смерч г) Урагани

Рис.1.2. Класифікація погодних небезпек за рівнями тяжкості

За несприятливі небезпеки визначено ті погодні умови, що потенційно можуть спричинити втрату контролю, втрату зв'язку, погіршення аеродинамічних характеристик і можуть негативно вплинути на оператора, наприклад вітер, турбулентність, дощ, сонячні бурі, екстремальні температури, вологість.

Щодо серйозних небезпек, то до них відносять такі що призводять до серйозних пошкоджень або втрати літального апарата та поставлять дистанційного пілота чи інший персонал у небезпечну ситуацію. Ці небезпеки включають шторми, блискавки, град, смерч, урагани тощо.

Загальнодоступні нормативні акти і рекомендації в Україні і в інших правових просторах щодо БАС мало в чому заважають фактор погодних умов. Лише існують деякі обмеження, наприклад в США заборонене перебування по

висоті ближче 152 м та по відстані 610 м від хмар, необхідним є підтримування видимості протягом 4,83 км і роботу в умовах прямої видимості без сторонньої допомоги[9]. Щодо України, то за умов виконання бездозвільного польоту перелік умов тут скромніший і визначає лише максимальну висоту 120 м. над рівнем землі і політ в зоні видимості дистанційного пілота. Щодо польотів зареєстрованих суден, що потребують дозволу на політ, то вже їх оператори мають покладатись суто на загальні правила авіації.

Звичайно що, наразі, будь-який сертифікований пілот на законних підставах може здійснювати польоти у ясних умовах. Незважаючи на те, що згідно з ПВП, вимагається виконання польотів у зоні прямої видимості, за межами прямої видимості можна законно літати, якщо оператор отримає дозвіл від ДАСУ[18].

### **1.2.1. Метеоумов помірної небезпеки**

Операції BVLOS за FAA вимагають певної форми зображення у реальному часі, часто у формі бортової камери[9]. Густий туман, хмари чи імла зменшують відстань, яку може побачити камера. Отже, польоти в таких ситуаціях небезпечні, оскільки БАС може натрапити на будівлі, інші літальні апарати, лінії електропередач, транспортні засоби та інші небезпечні об'єкти.

Коли температура повітря біля землі охолоджується до точки роси, тобто коли досягається насичення і утворюються хмари з'являються й тумани. Політ крізь хмари може призвести до утворення конденсату на об'єктиві камери. Також існує явище що перекриває видимість дрібними часточками – серпанок, може виникнути у місцевості де пил, дим або інші частинки закривають небо. Найчастіше пов'язане із забрудненням повітря. Таким чином, серпанок частіше можна зустріти у містах або промислових зонах.

У поєднанні з оптичними камерами БАС можуть використовувати й інші технології датчиків для виявлення руху та інших об'єктів навколо літального апарата, такі як LIDAR, TCAS або ADS-B[6]. Однак, вони не вирішують більшості проблем, пов'язаних із туманом, хмарами та серпанком. Наприклад, LIDAR не може проникати через туман і хмари й обмежений у щільному серпанку. ADS-B і



TCAS можуть відчувати інші пілотовані літальні апарати, але не можуть відчувати місцевість або будівлі. Зважаючи на це, оператор повинен вживати необхідних заходів обережності, потрапляючи в зони з обмеженою видимістю на низькій висоті, і не покладатися виключно на FPV або інші технології відчуття та уникнення на основі зору, а у випадку відсутності подібних систем, уникнути проходження через район[7].

### 1.2.2. Несприятливі погодні умови

Опади впливають на БАС різними способами. Як і туман і висока вологість, опади можуть погіршити видимість і пошкодити електроніку. Хоча існує обмежена кількість даних, якщо ми припустимо, що опади впливають на БАС з нерухомим крилом так само, як і на пілотовані літаки, то це може обмежити управління літаком і знизити аеродинамічну ефективність.

Коли БАС летить вперед, краплі дощу вдаряються об передній край крил із імпульсом назад і вниз. Цей імпульс надає крутний момент, який змушує літальний апарат нахилитися вниз. Крім того, на керування літальним апаратом впливає накопичення дощових крапель на поверхні БАС. Це створює нерівномірну водяну плівку, яка робить крила шорсткими та збільшує масу. Нерівномірна плівка може спричинити зміну розподілу тиску над крилом літака, що, у свою чергу, перемістить центр тиску. Центр тиску літака - це поздовжнє розташування вздовж планера, в якому діє загальна аеродинамічна підйомна сила. Підйомні сили в цій точці створюють крутний момент навколо центру ваги. Таким чином, зміна цього значення має несприятливі наслідки для керованості літального апарату.

Зі збільшенням інтенсивності дощу аеродинамічна продуктивність знижується. Серйозність цієї деградації залежить від типу профілю, який використовується в конструкції літака. Під час дощу аеродинамічні характеристики також змінюються залежно від числа Рейнольдса. Низький  $Re$ , як правило, асоціюється з ламінарним потоком, тоді як високий  $Re$  – з турбулентним. Більшість БАС працюють при  $Re$  від 50 000 до 300 000[7]

На низьких висотах польоту при переохолодженні краплі рідини в атмосфері і подальшому контакті із частинами літального апарату виникає зледеніння. Літак може зіткнутися з обмерзанням під час польоту в двох випадках: опади і обмерзання у хмарах. Опади в поєднанні з мінусовими температурами призводять до мокрого снігу, сухого снігу або крижаного дощу, останній з яких є найбільш небезпечним для літака через його схильність замерзати відразу після зіткнення.

Обледеніння в хмарах є загрозою скоріше для пілотованих літальних апаратів і великих БАС, ніж для БАС менших розмірів. На відміну від крижаного дощу, ці краплі води в хмарі не замерзають одразу, а сповзають уздовж крила і фюзеляжу і створюють шар прозорого льоду, який змінює форму аеродинамічного профілю а, отже, польотні характеристики.

Менші краплі води відразу замерзають і утворюють іній, шорстку та непрозору форму льоду. Оскільки менші краплі води присутні в тумані та шаруватих хмарах, які утворюються будь-де від рівня землі до 1980 м., то становить небезпеку для БАС на малих висотах польоту. Іній зазвичай утворюється на передній кромці крила літака, що також може негативно вплинути на аеродинамічні характеристики. Для БАС це ще більше посилюється відсутністю на борту обладнання для боротьби з льодом. Що стосується безпеки обмерзання літака, розмір крапель менш важливий, ніж вміст води в атмосфері і температури.

Подібно до впливу опадів, обмерзання зменшує підйомну силу та збільшує опір. У БАС літакового типу через малу довжину хорди крил лід здебільшого утворюється вздовж передньої кромки, передніх поверхонь і хвостової частини літака. На мультироторах лід зазвичай утворюється вздовж лопатей гвинта. Для мультироторів відцентрова сила лопатей, як спосіб для розморожування, однак, якщо лід відвалиться несиметрично, його нерівномірність може спричинити вібрації та дисбаланс роторів, що може бути надміру небезпечним.[7]

### 1.2.3 Небезпечні погодні умови

Найбільш небезпечними погодними явищами для безпеки польоту БАС можна вважати ті, що є небезпечними для усієї авіації: шторми, урагани, град, блискавка, смерч. Завдяки можливостям метеорологічних служб можна спрогнозувати хоч і не надто часті, але реальні в повітряному просторі України – шторми різних типів. Вони можуть бути досить інтенсивними, спричиняючи сильний вітер, різного роду опади, блискавки, сильну турбулентність. Крім того, шторми можуть спричинити мікропориви, здатні викликати раптові та серйозні зміни напрямку та швидкості вітру. Ці небезпечні умови можуть пошкодити конструкції літака, вивести з ладу системи керування польотом і звести до нуля видимість, що може привести до потенційних аварій. Це явище вимагає постійного моніторингу та пильності від усіх членів УПР і членів БпАК, хоч і супроводжується появою певних маркерів, що дозволяють його спрогнозувати.

Для території України актуальною є поява смерчів, явищ що теж представляють значну небезпеку, не тільки своєю потужністю, а й малою прогнозованістю. Це явище супроводжується сильним вихревим вітром, чим зумовлює пряму небезпеку для літального апарата.

Ще одним небезпечним явищем є блискавка, що може бути, як складовою штормів, так і виключно грозових хмар і може створювати проблеми для БАС через електромагнітні поля, що її оточують. Сильні електромагнітні поля можуть впливати на електроніку та системи навігації в БАС, спричиняючи помилки в роботі та навіть відмову систем.

Вельми небезпечним типом опадів є град, оскільки, може завдати шкоди фюзеляжу і компонентам БАС, зокрема корпусу та крилам, які можуть бути пошкоджені великими льодовими згустками. Такі пошкодження можуть вплинути на аеродинаміку, можливо призведуть до втрати стабільності та зниження продуктивності апарата і до втрати тяги на шляху .

Переважно польоти в районах з можливими небезпечними метеорологічними умовами не відбувається, але в той же час не є виключенням.

**її дистанційного пілота під час польоту в контрольованому повітряному просторі залежно від зміни метеорологічних обставин.**

Оскільки політ БАС регулюється згідно з ПВП і іншими нормативними актами у сфері цивільної авіації України, то за основними правилами, щодо дій під час виникнення складних метеоумов варто звернутись до «Загальних правил польотів у повітряному просторі України».

Перш за все, перед польотом командир БАС ознайомлюється з усією наявною інформацією щодо запланованого польоту ретельно вивчивши метеорологічну обстановку на маршруті з урахуванням вимог щодо аеронавігаційного запасу палива та можливих альтернативних дій. При підготовці до польоту зліт і посадка БАС плануються тільки за умов що погодні умови на маршруті та на вертодромах призначення, на час прибуття, не гірші відповідних мінімальних експлуатаційних вимог для польотів за ПВП.[19]

Ці правила визначають метеорологічні умови, як такі, що відповідають візуальним метеорологічним умовам або приладовим, тобто вирізняються умови коли видимість з приладів оптичного відображення є хорошою і недостатньою. Метеорологічні умови в даному випадку визначають, яким чином буде відбуватись пілотування ПС за ППП чи ПВП. Рішення щодо дотримання відповідних правил приймається залежно від логічних суджень командира згідно з обстановкою на маршруті чи за вказівкою відповідного органу ОНР[19].

При очевидній неможливості виконати план польоту за візуальними метеорологічними умовами, при тому дотримуючись ПВП, командир БАС повідомляє орган УНР про необхідну зміну дозволу і подальше виконання плану чи альтернативних дій. Якщо дозвіл не буде отримано, то продовжує покладатись на ПВП і повідомляє орган про виконання однієї з альтернативних дій.

За виникнення на шляху метеорологічних умов, що представляють небезпеку, командир повідомляє орган ОНР(УНР) про виконання альтернативного рішення.

## **метеорологічна ситуація**

Плануючи політ, дистанційний пілот як і пілот повинен дослідити метеорологічну ситуацію на маршруті, за умов використання БАС, найбільшу увагу необхідно приділити:

- а) видимість поверхні;
- б) напрямок/швидкість вітру;
- в) небезпечні метеорологічні умови, включаючи купчасті хмари, ожеледь і турбулентність;
- г) температура верхніх шарів повітря.

Дистанційний пілот повинен враховувати вплив метеорологічних та інших умов на маршрут польоту, щоб уникнути або знати про можливі перешкоди на лінії С2 для цього, зокрема, варто дізнатись інформація про потенційні електромагнітні перешкоди, як умисні так і ненавмисні.[6]

### **1.3.2 Підготовка до не передбачуваних обставин.**

Планування польоту повинно включати розгляд альтернативних місць посадки та повернення, для випадків виникнення аварійної ситуації або непередбачених обставин, пов'язаних з метеорологічними умовами. Для таких цих умов необхідно передбачити достатній запас палива/енергії, щоб забезпечити можливість відхилення ПС від посадки/повернення на заплановане місце, безпечного переходу до запасного місця відновлення, виконання заходу на посадку та посадки. Перед вибором запасного місця посадки дистанційний пілот повинен врахувати, як мінімум, достатність запасів палива/енергії, надійність зв'язку С2 з НСК, можливості зв'язку з органами УПР у разі необхідності та метеорологічні умови на запасному місці посадки.[6]

### **1.3.3. Використання C2 та його втрата**

На випадок втрати зв'язку C2 повинні бути попередньо схвалені з підрозділами УПР, задіяними на кожній ділянці запланованого маршруту польоту. У випадку активації однієї з процедур або вимушені зміни польотного плану дистанційний пілот повинен негайно повідомити підрозділ УПР.

Політ на великі відстані може передбачати декілька запасних аеродромів для використання у разі втрати зв'язку C2. Вибір запасного аеродрому буде залежати не тільки від місцезнаходження УПР, але й від метеорологічних умов на аеродромах. Дистанційний пілот несе відповідальність за вибір альтернативних варіантів. Під час польоту, виходячи з позиції та останньої метеорологічної інформації, дистанційний пілот повинен оновлювати поточний запасний аеродром, щоб у разі втрати зв'язку C2, очікуваний маршрут БПС був передбачуваним.

Як тільки виникає ситуація втрати складової C2, дистанційний пілот несе відповідальність за інформування органів УПР про те, який з доступних альтернативних варіантів польоту при втраті ланки C2 має виконуватись УПР. Тому, варто долучити до визначення критеріїв вибору альтернативних варіантів органи УПР.[6]

### **1.3.4. Дозвіл на політ**

Отримуючи дозвіл на політ, варто узгодити з ОПР питання, щодо:

а) будь-яких обмежень експлуатаційних характеристик або обмежень, характерних для БАС.

б) будь-який автоматичний профіль польоту при втраті зв'язку C2 та/або процедури припинення польоту;

в) прямий телефонний зв'язок між УПР і підрозділом(ами) ОПР для використання в надзвичайних ситуаціях, якщо не схвалено інший варіант.

Іноді можуть виникати обставини, що вимагають перетину кордону. Якщо є можливість передбачити такі обставини, варто зарання отримати дозвіл у відповідних органах ОНР.[6]

### **1.3.5. Операції над людьми**

Дистанційному пілоту рекомендовано розглядати операції над густонаселеними районами або над місцями масового скупчення людей під відкритим тільки з врахування:

- а) висоти для безпечної експлуатації;
- б) наслідків неконтрольованої посадки
- в) перешкод;
- г) близькість до аеропортів/аеродромів аварійної посадки;
- г
- д) аварійно-рятувальні операції над густонаселеними районами; та

### **1.3.6. Рекомендації по дотримання правил польоту**

При польоті БАС, необхідно дотримуватись правил використання повітряного простору, це зумовлює виконання всіх правил як за умов польоту за ПВП, так і ППП. Специфіка БАС ускладнює виконання деяких правил, тому Дистанційний пілот повинен навчитись розрізняти судна, що виконують політ за ПВП і ППП і вміти реагувати на ситуацію залежно від переваги в русі.

Під час виконання польотів за межами аеродромів дистанційний пілот повинен враховувати:

- а) район посадки/повернення та його стан;
- б) розташування і висота всіх перешкод, які можуть перешкоджати посадці або підйому (наприклад, кабелі, вишки, дерева);
- в) продуктивність і можливості, пов'язані з подоланням перешкод, процедурами приземлення (якщо застосовно) і будь-якими умовами, що обмежують польоти;
- г) наявність аварійно-відновлювальних зон;

- г) зв'язок з органами управління повітряним рухом, якщо це необхідно;
- д) безперервність зв'язку C2;
- е) міркування щодо корисного навантаження; і
- є) щільність та близькість повітряного руху. Експлуатація ДПР у небезпечних зонах та умовах.[6]

## Висновок до розділу 1

Безпека і ефективність є головними у польотах авіації. Часто, необхідність забезпечити перше зумовлює поступок щодо другого. Така необхідність виникає й під час польоту, коли на маршруті виникають метеорологічні явища, що створюють загрози різного рівня, залежно від їх впливу на БАС. Не зважаючи на те чи будуть це помірні явища, що обмежують явища, чи складні метеоумови, що можуть пошкодити літальний апарат дистанційний пілот повинен знати, що робити.

Дії дистанційного пілота БАС в керованому повітряному просторі зумовлюється, зокрема в Україні, Правилами використання повітряного простору, та визначають, що пілот повинен дотримувати правил Загальної авіації. Ці правила та рекомендації ICAO визначають, що при виникненні метеорологічних умов, що не відповідають можливостям літального апарату, командир має прийняти рішення щодо альтернативного маршруту польоту. Під час прийняття рішення він має оцінити: метеорологічні умови на маршрутах до усіх альтернативних місць посадки, оцінити відстань згідно із запасами пального, можливість втрати зв'язку C2, та те, як відступ від плану польоту вплине на виконання цільової задачі.

Вищевказані обставини визначають, що представлена задача є стохастичною задачею дискретного вибору, оскільки:

- а) Ситуація виникнення СМУ не є цілком прогнозованою
- б) Випадковими є безліч факторів, що впливають на подальші дії пілота.
- в) Набір альтернатив вибору містить кінцеву кількість альтернатив



г) Альтернативи є сукупно вичерпним, тобто для ПР визначено усі можливі альтернативи

г) Альтернативи є взаємовиключними, тобто вибір однієї унеможливорює вибір усіх інших.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

#### **теоретичні основи моделювання прийняття рішення в умовах невизначеності**

Моделювання, як метод дослідження, широко використовується для розв'язання складних завдань та вивчення об'єктів. Створення моделей дозволяє краще зрозуміти особливості та характеристики досліджуваних явищ, проводячи активні експерименти, недоступні у реальному середовищі. Часто дослідження супроводжують невизначеності, що ускладнюють прийняття рішень, через неможливість розрахувати конкретні показники або відсутні відомості.

Розробка моделей прийняття рішень потребує врахування в їхній структурі: мети, альтернативних стратегій, стану зовнішнього середовища та фактор часу.

Мета, критерії оптимальності та альтернативні стратегії визначають обране рішення. Стан зовнішнього середовища відображає невизначеність зовнішніх факторів та їхній майбутній розвиток, що часто може бути непрогнозованим.

Фактор часу важливий для моделі прийняття рішень, оскільки врахування терміну вибору оптимуму зобов'язує врахувати і кількість кроків та ітерацій. [20]

На практиці, рішення часто приймаються на основі багатьох критеріїв, і моделі допомагають систематизувати та узагальнити цей процес.

#### **прийняття рішення в умовах невизначеності**

Дистанційному пілоту доводиться приймати рішення, стосовно виникнення СМУ, в умовах стохастичної невизначеності, через випадковість більшості факторів польоту БАС, що унеможливорює прогнозування результатів подій .

При вирішенні задач у невизначеність припускають що прийняття рішень відбувається за умов існування факторів, вплив на ситуацію котрих, не можливо передбачити. Це не дозволяє передбачити результати дій. Виявлення цих факторів може відбуватись на абстрактним(теоретичному) рівні або ж на практичним. За теоретичного пошуку, оцінка факторів відбувається за допомогою математичних моделей, а в випадку практичних за якістю вхідних статистичних даних. Фактор невизначеності залежить не тільки від відсутності інформації, а й невизначеністю критеріїв, об'єктів до яких відносять ці критерії,

Також в якості основних типів невизначеності виділяють стратегічну і ситуаційну невизначеність. Важливою ознакою таких задач є комплексність типу невизначеності до складових якої додають ще деякі типи, як то статистична чи методична.[3]

За допомогою методів ПР в умовах невизначеності можна моделювати позаштатні польотні ситуацій[12]:

- ПР в умовах стохастичної невизначеності (ризик), коли дані можна описати за допомогою імовірнісних розподілів;
- ПР в умовах невизначеності, коли ймовірнісні розподіли невідомі, основною методологією в такому випадку є теорія ігор.

За умов цільової задачі, випадковими є майже усі чинники, чи то метеоумови чи то стан зв'язку, що унеможлиблює або ускладнює створення й

м В такому випадку можуть допомогти такі методи[12]:

- о а) Теорія нечіткої логіки (*Fuzzy Logic*)
- в б) Традиційний підхід.
- і в) Максимінний критерій Вальда
- р г) Мінімаксний критерій Севіджа
- н г) Критерій Лапласа
- і д) Критерій Гурвіца
- с

н **еорія нечіткої логіки (*Fuzzy Logic*)**

о

г

о

Це математичний підхід, який дозволяє враховувати неоднозначність та невизначеність в процесі ПР. Вона розширює класичну булеву логіку, дозволяючи використовувати поняття нечітких множин, які описуються не точно, а відносно або неоднозначно[3].

Ймовірності подій і розміри тут розглядаються як нечіткі множини  $P_j$  і  $L_{ij}$  і описані як функція належності  $\mu(P_j)$ ,  $\mu(L_{ij})$ , числове значення яких визначається значенням лінгвістичної змінної[12],

$\mu$  Вона має деякі значні переваги котрі можна було-б використати в досліджуваній ІСППР:

$\mu$  а) Нечітка логіка може ефективно працювати з динамічними даними, що постійно змінюються у часі, такими як змінні погодні умови, кількість палива або потужність зв'язку С2.

б) Замість чітких значень, нечітка логіка дозволяє використовувати терміни як "більшість", "можливе", "переважно", що відображає нечіткість в оцінках та порівняннях.

в) Нечітка логіка дозволяє працювати з якісними оцінками, що включають ступінь вірогідності або невизначеність результатів. Вона враховує не лише самі значення даних, але й їхню вірогідність та розподіл.

г) Використання принципів нечіткої логіки дозволяє швидко моделювати складні динамічні системи без необхідності точних числових даних та складних математичних рівнянь. Це дозволяє провести порівняльний аналіз різних варіантів вихідних значень системи.[21]

### **радиційний підхід**

Цей підхід ґрунтується на принципі максимальної правдоподібності. Операція ПР на основі цього підходу включає розділення простору спостережень

н

а

д

е

із наслідком прийнятого рішення, отримуємо певне значення  $u$ , що потрапляє у підпростір альтернативи  $Y_n$ . У випадку двох альтернатив, дистанційний пілот може допустити одну з двох помилок: першого роду, відмовившись від першої альтернатив хоча вона правильна, і другого роду, обравши друг в той час як вона є неправильною. Ризик у цих випадках залежить суто від наслідків помилки.[12].

### **аксимінний критерій Вальда**

Критерій, що представляє консервативне і обережне рішення, що ґрунтується на максимізації мінімальної можливої вигоди або мінімального ризику, тобто вибору найкращої альтернативи з найгірших. Це означає, що особа, яка приймає рішення, зосереджується тільки на найменших можливих вигодах від різних альтернатив і вибирає ту, яка має найменші негативні наслідки.[22] Цей критерій цікавий для осіб, що обережні в ухваленні рішень і бажають переконатися, що в разі невдачі буде принаймні відомий мінімальний рівень вигоди. Такий підхід може бути виправданим, оскільки мінімальні вигоди можуть мати більшу ймовірність або найменша вигода може призвести до надзвичайно невдалого результату. Оцінна функція за мінімаксом методом для матриці вартості виглядає визначається, як,

Ризики за критерієм Вальда описуються, як втрачена вигоди за альтернативою і визначається наступним чином[12],

$$R_i = (\max_{\lambda_j}) g_{ij}(A_i, \lambda_j) - W(A). \quad (2.3)$$

### **інімаксний критерій Севеджа**

Критерій Севеджа орієнтований на мінімізацію максимальних можливих

ризиків для кожної альтернативи. Прийняття рішень за ним відбувається на основі втрати можливості або ж рівня жалю(втрачена вигода). Втрата можливості або жаль - це сума, яку втрачено, не вибравши найкращу альтернативу в певному стані.[22] Перший крок - визначення втрат. Втрата можливості для будь-якого критерію або будь-якого стовпчика розраховується шляхом віднімання кожного

з

н

а

ч

е

### **критерій Лапласа**

н

я Цей критерій формується навколо принципу «недостатнього обґрунтування». І спирається на припущення що, у випадку невідомого розподілу ймовірностей, успіх кожної з  $n$  альтернатив є однаково ймовірним

и

ї Саме тому, тут використовується середня або очікувана вартість за всіма  $m$  критеріями для визначення оптимальної альтернативи,

р

і

є За цим критерієм жодним чином не визначаються ризики, тому при його використанні його вибірку доцільність лише на регулярних маршрутах де ризики є мінімальними[12].

с

т

о

### **критерій Гурвіца**

в

п

ч Один з небагатьох критеріїв, котрий дозволяє збалансувати консервативність та агресивність в прийнятті рішень у ситуаціях невизначеності.

и

к Цей метод виник у теорії прийняття рішень та оптимізації, зокрема у контексті

к

управління ризиками[23].

у

)

в

Критерій Гурвіца базується на уявленні, що приймаючи рішення, людина розглядає дві межі: оптимістичну та песимістичну. Він використовує параметр оптимізму-песимізму  $\alpha$ , який належить діапазону

$\leq$  Значення цього параметра відображає особисті уподобання чи ступінь ризиковості приймача рішення. Критерій Гурвіца має наступний формалізований вигляд[12],

$\leq$  За такого формулювання визначення параметру  $\alpha$  рівне 0, тобто дуже консервативний, критерій працює за мінімаксімним критерієм. Якщо зробити  $\alpha$  агресивним, то критерій спрощується до визначення максимуму.

### **іскретний вибір**

Моделі дискретного вибору описують прийняття рішень серед декількох злічуваних альтернатив. Дискретний вибір обмежується рамками, де набір альтернатив, повинен відповідати трьом характеристикам:

а) Альтернативи повинні бути взаємно-виключними з точки зору приймача рішень. Одна альтернатива, в контексті конкретно цього рішення, зобов'язує відмовитись від усіх інших альтернатив. Тому, той хто приймає рішення, обирає тільки одну.

б) Набір альтернатив повинен бути вичерпним, тобто включеними мають бути усі можливі альтернативи. І, власне, той хто приймає рішення обов'язково обирає одну з визначених альтернатив.

в) Кількість альтернатив завжди є злічуваною. Дослідник може підрахувати альтернативи і в кінці кінців він завершить цей підрахунок. Тут не може йти мова про регресійний аналіз, де кількість даних, теоретично, може бути нескінченною

Перший і друге критерії не обмежують вибір, лише пояснюють, бо ж правильно сформована задача ПР поміж альтернатив, практично завжди гарантує,

що вони будуть взаємно виключними, а набір вибору буде вичерпним.

Звичні дискретні моделі ПР базуються на припущенні, що ті хто приймають рішення шукають максимум користі при виборі. Моделі випадкової корисності отримується певний рівень корисності від кожної альтернативи і обирається та, від котрої маємо найбільшу корисність. Особа, що приймає рішення, позначена як  $n$ , стикається з вибором серед  $J$  альтернатив. Приймач рішення отримує певний рівень корисності (або прибутку) від кожної альтернативи. Корисність, яку приймач

р

і

ш

е

н

ь

о

т

відображає спостережувані фактори прийнятого рішення. Сутність рішення розкладається на  $V_{nj}$ , частину, яку спостерігає дослідник, та  $\varepsilon_{nj}$ , частину, яку дослідник не спостерігає через те що досліднику можуть бути не відомі деякі фактори, що мали цінність для конкретного рішення. Від різних припущень про розподіл  $\varepsilon_{nj}$  виникають моделі вибору. Моделі, похідні від максимізації корисності, можуть використовуватися для репрезентування рішень, що не передбачають максимізацію корисності, і вони можуть просто описувати зв'язок між змінними та результатом вибору, без посилання на конкретний механізм прийняття рішення.

а *Logit*: Це модель, яка базується на припущенні, що невідомі фактори  $\varepsilon_{ni}$  є екстремальними значеннями для всіх альтернатив, тобто незалежні та однаково розподілені. Це передбачає, що невідомі фактори незалежні для кожної альтернативи, та мають однакову дисперсію для всіх альтернатив. Ця модель дуже популярна завдяки своїй зручній формі для обчислення ймовірності вибору. В той же час, вона може бути неадекватною, оскільки передбачає незалежність між альтернативами та може бути несхожа на реальні ситуації, де невідомі фактори

а

т

и



можуть бути корельованими.

*GEV (Generalized Extreme Value models)*: Ці моделі базуються на узагальненні розподілу екстремальних значень. Вони дозволяють кореляцію між невідомими факторами для альтернатив, і коли ця кореляція дорівнює нулю, вони спрощуються до моделі *Logit*. *GEV* може бути більш або менш гнучким у визначенні кореляцій між альтернативами.

*Probit*: Ця модель ґрунтується на припущенні, що невідомі фактори розподілені спільно нормально. Ця модель гнучка у відображенні кореляцій між альтернативами та часом, але обмежена використанням нормального розподілу, що може бути неадекватним у деяких ситуаціях.

Ця модель припускає, що невідомі фактори можуть мати будь-який розподіл. Вона розбиває невідомі фактори на частину з кореляцією та зміною рівня розсіювання даних для різних значень змінних, і частину, що є екстремальними значеннями.

## **етоди моделювання інтелектуальної інформаційної системи**

Прийняття ефективного рішення людиною часто ускладнюється через мінливість, бажання спростити, іноді через невпевненість, нелогічність та неможливість оперувати великою кількістю даних одночасно. Ці вади не є проблемою для механічних і електронних пристроїв, що виконують роботу так, як вона була закладена при створенні. Саме тому, нішу у підтримці дій людини займають людино-машинні системи. Визначним є те, що вони часто дозволяють спростити не тільки ручну, а й інтелектуальну працю[3,12].

## **истеми підтримки прийняття рішень**

Визначення СППР каже, що ці системи, покликані розв'язувати слабо структуровані або не структуровані проблеми, оскільки на їх вирішення людині необхідно витратити надто багато ресурсів. В класичному виконанні, експерти в

проблемі досліджують структуру і основні її складові і вкладають її у суть розгалуженого алгоритму, котрий «жорстко» її дотримується. Розмаїття типів і форм прийняття рішень, тривалий час використання і покращення СППР призвів, до наявності уніфікованих рішень(архітектур). Через це, зараз проектування системи може зводитись до аналізу вже готових рішень і їх накладання на цільову задачу. Проте таке рішення має бути обґрунтованим.[3]

СППР будь-якого типу повинна містити:

- а) базу знань і/або даних;
- б) підсистему введення та аналізу запитів користувача;
- в) підсистему обробки запитів та генерації результату;
- г) підсистему подання результатів .[3,12]

Узагальнено, СППР можна розділити за наступними ознаками:

а) за рівнем користувача:

1) активна СППР: Має можливість вносити пропозиції та рекомендації щодо прийняття рішень.

2) пасивна СППР: Допомогає у процесі ухвалення рішень, але не може самостійно внести пропозицію.

3) кооперативна СППР: Дозволяє користувачам змінювати, поповнювати або поліпшувати рішення, які пропонує система.

б) за технічним рівнем:

1) СППР рівня підприємства: Обслуговує багатьох членів системи, і має доступ до великих сховищ даних.

2) персональна СППР: Мала система, що обслуговує лише одного користувача.

в) за концептуальним рівнем:

1) керована повідомленнями: Виконує операції із загальними задачами за допомогою запитів.

2) керована даними: Орієнтована на доступ та маніпуляції з даними.

3) керована документами: Здійснює пошук і маніпулювання неструктурованою інформацією.

4) керована знаннями: Забезпечує рішення задач у вигляді фактів, правил, процедур.

5) керована моделями: Забезпечує доступ і маніпуляції з математичними моделями для аналізу.

Г) за типом рішень:

1) оперативні СППР: Призначені для негайного реагування на зміни поточної ситуації.

2) стратегічні СППР: Орієнтовані на аналіз значних обсягів різномірної інформації для пошуку оптимальних варіантів розвитку з урахуванням багатьох факторів[3,12].

### **Інтелектуалізація системи**

СППР є інформаційними системами і як вже було зазначено, звичні СППР реалізуються на основі лінійно запрограмованих алгоритмів, що в переважній більшості проходять наступні етапи виконання: сприйняття інформаційного запиту і даних, їх обробку згідно з алгоритмом і формування результату.

Дані, є об'єктами предметної області і представляють фактуальне знання, а алгоритм, операційне знання, де сформовані залежності між тим чи іншими фактами для їх інтерпретації. Цей спосіб має як переваги - хорошу інтерпретивність, так і недоліки – малу адаптивність. Цей недолік є серйозним обмеженням, оскільки, ґрунтується на факті, що предметна область в деяких задачах не є стабільною. [25,26] При кожній наступній зміні фактуального знання, достатньо корегувати базу даних, проте операційне знання, представлене запрограмованим алгоритмом, складно, а у випадку користувача, майже не можливо змінити.

Цю проблему може вирішити інтелектуалізація системи. По суті, створення в системі можливості до реалізації поруч із базою даних, де зберігаються факти, ще бази знань, де в декларативній формі зберігаються правила. Наявність тут знання, за правильної структури, дозволяє сформувати універсальну машину

висновку що об'єднують подані факти у певні висновки.

Концепція інтелектуальних систем та технологій полягає у наступному:

- а) збільшення рівня сприйняття системою за рахунок накопичення знань.
- б) Здатність самостійно формувати знання на основі оновлених даних;
- в) Можливість обробки нечітких, неясних, невизначених знань.
- г) Здатність адаптуватись до змін у предметній області.[25,26]

### **тучний інтелект, як інструмент інтелектуалізації системи**

Станом на зараз інтелектуалізація системи це все одно, що створити систему на основі ШІ. На даний момент методи ШІ здатні:

а) обробляти великі обсяги даних, ідентифікувати закономірності та прогнозувати. А оскільки деякі методи дозволяють інтегрувати відомості з різних джерел, це дозволяє системі мати більш глибоке та широке розуміння.

б) використовувати методи навчання для аналізу нових даних і формування висновків. Це означає, що система не лише використовує наявні знання, а й самостійно розвивається.

в) Працювати з неповними або нечіткими даними, здійснюючи раціональні висновки навіть у невизначених умовах.

г) Може швидко реагувати на зміни в даних або умовах, навчаючись і адаптуючись до нових обставин.

Методи штучного інтелекту, такі як ML, DL, НМ та еволюційні алгоритми, демонструють усі необхідні якості для розробки інтелектуальних систем. Ці методи дозволяють системам не лише обробляти інформацію, а й постійно вдосконалюватися, стаючи більш точними та ефективними.[27]

### **методи штучного інтелекту**

Аналізуючи методи штучного інтелекту яскраво помітно відсутність чіткої класифікації і розгалуженості методів. В кожній галузі виділяють інакші

підмножини. Та тут все ж можна виділити певний зріз, методи які узагальнюють поняття штучного інтелекту це ML та DL[27]. Вони є множиною і підмножиною, це наглядно описано на Рис.2.1[28].

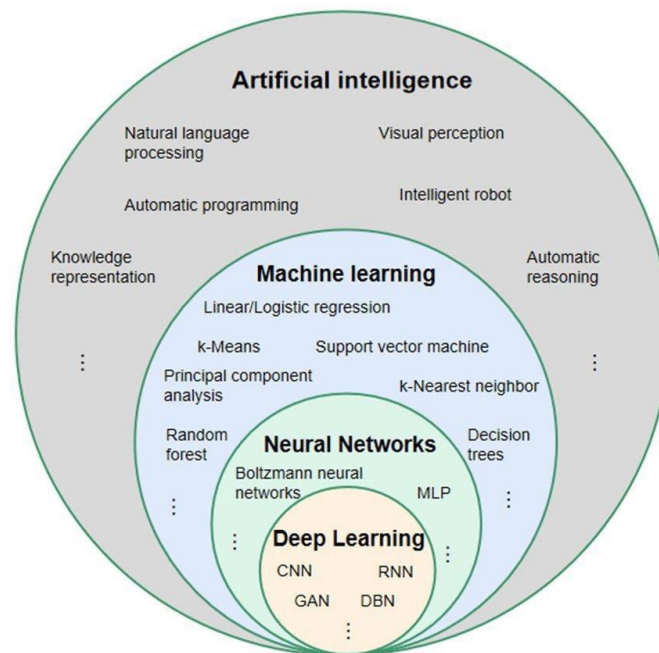


Рис.2.1. Залежність між основними методами штучного інтелекту ІАТА виділяє для задач в авіації конкретно:

- а) Машинне навчання(ML)
- б) Обробку природної мови(NLP)
- в) Експертні системи
- г) Комп'ютерне бачення[29]

У контексті оптимізації процесу вибору оптимального аеродрому під час складних метеорологічних умов, деякі методи штучного інтелекту можуть бути менш ефективними або не підходити. До них належать:

а) **Обробка і розпізнавання природної мови (NLP)** зосереджена на розумінні та генеруванні людської мови. Цей метод більше підходить для завдань, пов'язаних з комунікацією та аналізом тексту, ніж для дискретного прийняття рішень у ситуаціях невизначеності.

б) **Комп'ютерний зір**, це теж інструмент сприйняття, хоч і може бути корисним для інтерпретації візуальних даних, наприклад, метеорологічної обстановки або карт, сам по собі не здатен розробляти стратегії або вирішувати задачі прийняття рішень.

в) **Експертні системи**, також входять до цього переліку, хоч вони й корисні для рішення специфічних задач на основі заздалегідь визначених правил, та все ж можуть бути обмеженими у випадках, коли потрібно розглядати нові, непередбачувані ситуації або приймати рішення в умовах великої невизначеності.

Задача оптимізації вибору аеродрому вимагає гнучкості, здатності аналізувати різноманітні дані (метеорологічні умови, дистанції, поточні умови на аеродромах) і враховувати багато змінних та критеріїв. Такі методи, як ML, підсилене навчання або алгоритми оптимізації, будуть більш відповідними для цієї задачі.

Основним методом ШІ для вирішення задачі лишається ML, котрий є множиною технік:

а) **Регресія** використовується для прогнозування неперервних значень, наприклад, прогнозування втрати сигналу C2. Вона шукає відношення між залежними та незалежними змінними.

б) **Класифікація** використовується для визначення належності до категорії певного об'єкта, наприклад, розпізнавання об'єктів моніторингу.

в) **Кластеризація** використовується для групування об'єктів за подібністю без попереднього вказівки категорій. Вона широко використовується в аналізі даних для ідентифікації структур або груп, теж можна застосовувати в задачах моніторингу.

г) **Зниження розмірності** застосовується для зменшення кількості вхідних змінних у наборі даних, зберігаючи при цьому важливу інформацію. Використовується для спрощення моделей та зменшення обчислювального навантаження.

г) **Ансамблеві методи** оптимізаційна техніка, що комбінує прогнози з кількох моделей для покращення точності та надійності.

д) **НМ та DL** використовуються для моделювання складних шаблонів та структур у даних. Широко застосовуються в обробці зображень, розпізнаванні мови, іграх та інших областях.

е) **Трансферне Навчання** використовується для покращення моделі шляхом

перенесення знань з однієї задачі до іншої. Це особливо корисно, коли немає великих наборів даних для певної задачі.

є) **Підсилене Навчання Використання:** Використовується для тренування алгоритмів на основі системи винагороди, де модель навчається приймати послідовність рішень, щоб максимізувати загальну винагороду.[30]

Ці техніки є основою ML, частина з них оптимізує інші, частина допомагає в обробці даних. Як допоміжні методи можна було- б застосувати більшість та з задачами оперативного прогнозування дискретних запитів прогнозування може впоратись лише NM/DL.

2

.

**Загальна характеристики нейронних мереж**  
Нейронні мережі є фундаментальним елементом у галузі штучного інтелекту та машинного навчання. Їх розробили із намаганням імітувати роботу людського мозку, використовуючи шари "нейронів" для обробки даних та вивчення складних шаблонів. Структура нейронної мережі зазвичай включає вхідний шар (де дані подаються на вхід), один або кілька прихованих шарів (де відбувається обробка даних), та вихідний шар (де формується результат).[21]

Кожен нейрон у мережі виконує просту операцію над своїми вхідними даними, зазвичай використовуючи ваги та баясові зсуви для модифікації цих даних. І нелінійні функції для активації нейронів. Нейрони в кожному шарі з'єднані з нейронами наступного шару, і ваги цих з'єднань "навчаються" під час процесу тренування мережі. Основна ідея навчання полягає в тому, щоб знайти набір ваг, який мінімізує різницю між прогнозованими та очікуваними вихідними даними. Це вимагає великої кількості даних та обчислювальних ресурсів. Звичним для НМ навчанням є метод зворотного поширення помилки(Back Propagation), де помилка(різниця між прогнозованим і очікуваним значення) з вихідного шару розповсюджуються назад через мережу для оновлення ваг[31].

### 2.3.3. Типи і архітектури нейронних мереж

Побудова будь-якої системи починається з визначення предметної області, Нейронні мережі не є виключенням. Необхідно розглянути саме класичні архітектури, щоб розуміти від чого відштовхуватись::

НМ прямого зв'язку (Feedforward Neural Networks) — це базова архітектура з кількома шарами нейронів, де кожен нейрон одного шару з'єднується з усіма нейронами наступного шару.

Згорткові НМ (Convolutional Neural Networks): Використовуються для аналізу візуальних зображень, включають конволюційні шари для виявлення особливостей.

Рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks): Мають зворотні зв'язки для обробки послідовних даних, наприклад, тексту чи часових рядів.

Мережі з довгою короткочасною пам'яттю (LSTM): Вид RNN, оптимізований для уникнення проблеми зникнення градієнту.

Генеративні змагальні мережі (GAN): Складаються з двох частин, генератора та дискримінатора, які змагаються один з одним.

Мережі глибокого підсилення навчання: Комбінують глибоке навчання та підсилене навчання для вирішення складних задач.[32]

#### **2.3.4. Функції активації**

Linear: Проста та пряма, але обмежена у можливостях моделювання складних взаємозв'язків.

Sigmoid: Популярна у бінарній класифікації, але має проблему зникаючих градієнтів.

ReLU (Rectified Linear Unit): Широко використовується завдяки своїй ефективності, особливо у глибоких мережах.

Softmax: Використовується в багатокласовій класифікації для перетворення вихідних значень у ймовірності.



На рис.2.1.відображено інші функції на графіках[33]



Рис.2.1. Поширені нелінійні функції активації

## Висновки до розділу 2

Розробка будь-яких систем в умовах, де відсутні можливості до практичних експериментів, передбачає їх моделювання, що дозволяє краще зрозуміти явище через штучні експерименти. При моделюванні цільової задачі необхідно врахувати: мету ПР, альтернатив, стану навколишніх факторів і фактору часу. Всі ці складові виводяться із цільової задачі, метою, є вибір оптимуму з альтернатив що є безпечним і найбільш ефективним, через необхідність уникнути стохастичних обставин. Альтернативами є місця посадки, а критерії ПР є якісним показником навколишніх факторів, ПР відбувається в умовах дискретного часу. З

цих складових впливають наступні рішення щодо застосовуваних методів. Оскільки ПР відбувається в стохастичних умовах, а в дистанційного пілота немає ймовірнісного розподілу, тільки критерії за рахунок даних УПР і суб'єктивної оцінки дистанційного пілота, то при відсутності систем помічників можна застосувати один з критеріїв ПР: Вальда, Севеджа, Гурвіца, Лапласа. Так, як розробляється інтелектуальна СППР, згідно з обставинами, вона повинна бути персонально, оперативною, керованою знаннями і бути пасивною, оскільки за умов нормативних документів застосування допоміжних систем ПР вимагає лишати останнє слово за відповідальною особою.

Враховуючи визначені вище характеристики визначено і метод за яким відбудеться інтелектуалізація системи. Перелік можливих до застосування методів досить вузький, саме тому з поміж більшості було обрано застосування методу DL. Останнім етап дослідження є розробка до якої необхідно вибрати поміж запропонованих архітектурних рішень для DL.

### РОЗДІЛ 3

## МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ПІЛОТА ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ ПОСАДКИ

Використання БАС у повітряному просторі завжди зумовлюється конкретною ціллю, котра зводиться до транспортування, чи то обладнання для дослідження чи то вантажу. Цільові задачі можуть бути різні і кожен з них може зачепити виникнення СМУ. Прикладний політ, що буде далі розглядатись, належить до регіональних польотів.

Пропонованими прикладом, є задача транспортування що згадувалась при вирішенні задачі ПР при виникненні СМУ за критеріями ПР у невизначеності[11] із застосуванням БАС мультикоптерного типу, із місцем зльоту – «Полтава» і посадкою в Житомирі. Як і визначено в рекомендаціях до застосування БАС, передполітна підготовка вимагає чіткого планування: що включає визначення метеорологічних обставин, визначення місць можливого погіршення зв'язку С2, альтернативних посадкових майданчиків, запасу палива, для уникнення різного роду надзвичайних ситуацій і узгодження з УПР плану польоту. Як альтернативні аеродроми там[11] визначено наступні міста: Бориспіль, Біла Церква та Черкаси. Всі інші параметри за умовчанням виконані. Схематично політ із обраними альтернативами зображено на рис.3.1.

Ця задача передбачає використання одиничного БАС, тому не потребує застосування методів і моделей при управлінні потоками БАС, як в [35].

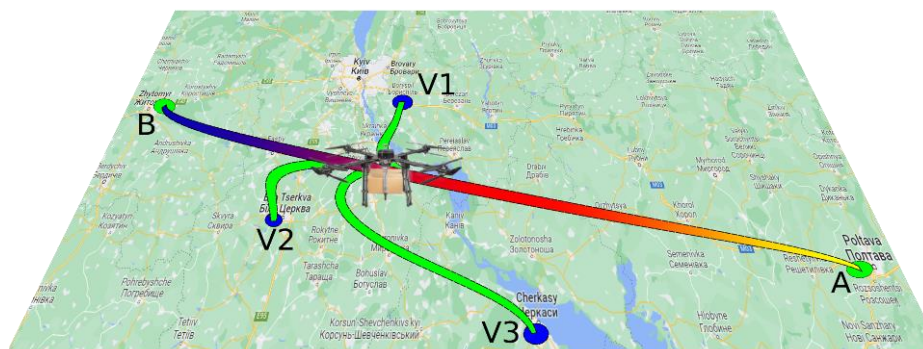


Рис.3.1. Цільова задача транспортування вантажу з Полтави до Житомира[11]

## теоретична модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення в умовах невизначеності

ІСППР може бути створена, як інтерактивна система, що покликана допомагати дистанційному пілоту використовувати саме ті дані і моделі, що необхідні для оперативного вирішення проблем. База моделей повинна забезпечувати гнучкість моделювання, використовуючи готові моделі та підсистеми. ІСППР надаватиме можливість управління моделями, швидкого створення нових моделей та зв'язку моделей з відповідними базами даних.

Будь-яка звичайна СППР повинна складатись із: бази даних(БД), інтелектуалізувавши систему за допомогою НМ система укомплектовується базою знань, що представлена, базою моделей(БМ), де, власне, забезпечується гнучкість. Враховуючи що DL вчиться на даних, що отримує, то зв'язок між БД і БМ повинен бути двонаправленим. Очевидно, що система повинна мати як вхідну, складову, через яку будуть отримуватись оцінки впливу зовнішніх факторів, так і вихідну складову для отримання пропозиції системи

За цих характеристик структурна схема ІСППР виглядає наступним чином (див. Рис.3.2).

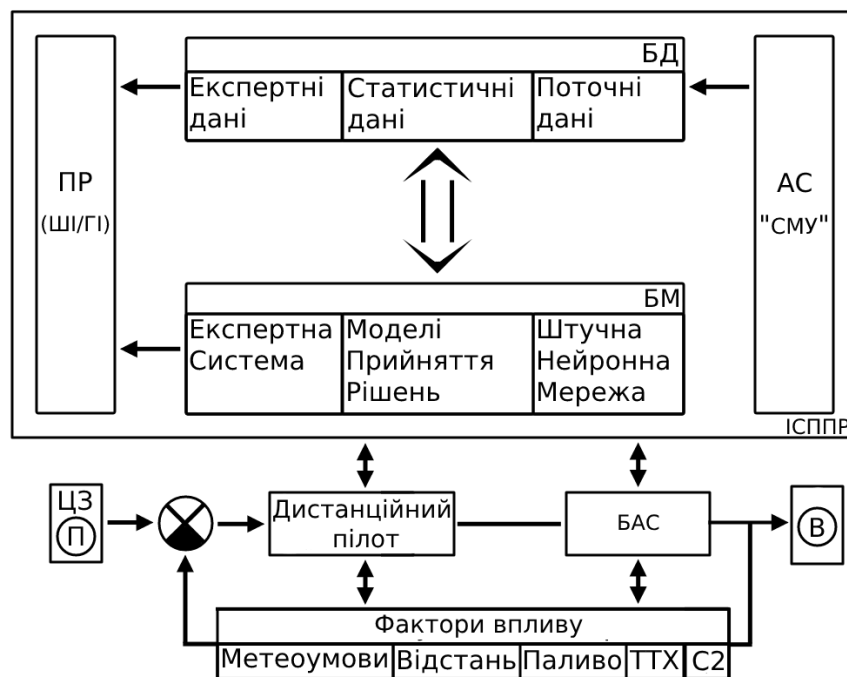


Рисунок 3.2. Структурна схема ІСППР для прийняття рішення при виникненні СМУ

Де: ЦЗ – Цільова задача;

АС -аварійна ситуація

ТТХ – тактико-технічні характеристики

П – початок

В – вихід.

## **арактеристики нейронної мережі для цільової задачі.**

Визначившись із тим, яким саме способом буде інтелектуалізовано систему, переходимо до визначення характеристик НМ. Для цього потрібно визначити структуру даних, ми маємо за умов цільової задачі 5 альтернатив, повернення на місце зльоту, продовження польоту на аеродром призначення і 3 альтернативні місця посадки вздовж маршруту польоту. Кожна із цих альтернатив представлена

к

р

Саме тому на вибір лишаються Повнозв'язні[26] і Згорткові НМ[36,37].

Розглядаючи повнозв'язні мережі, варто врахувати, що із збільшенням кількості місць посадки, або критеріїв, кратно зростає й кількість параметрів, що необхідно тренувати, а зі збільшенням кількості навчуваних параметрів падає інтерпретативність і з часом зменшуються кількісні показники моделей. Саме тому варто відкинути ідею з цієї статті. Згорткові ж нейронні мережі наділені рядом позитивних якостей: зменшена кількість параметрів, за рахунок виділення в усіх наявних значень усереднених ознак.(Рис.3.3.).

з

в

і

д

к

и

λ

	Об'єкт А	Об'єкт В	Об'єкт V1	Об'єкт V2	Об'єкт V3	
<b>Відстань</b>	1	10	8	9	8	196,6288
	2	9	8	9	8	207,0424
<b>ТТХ</b>	9	8	6	6	6	233,2042
<b>Зв'язок</b>	8	1	7	3	6	145,5865
<b>Цільова задача</b>	9	4	7	7	8	230,5192
<b>Метеоумови</b>	1	8	4	6	5	140,2627

Рис.3.3. Виділення ознак з набору даних цільової задачі

А в загальному архітектура згортової нейронної мережі виглядає наступним чином (Рис.3.4.).

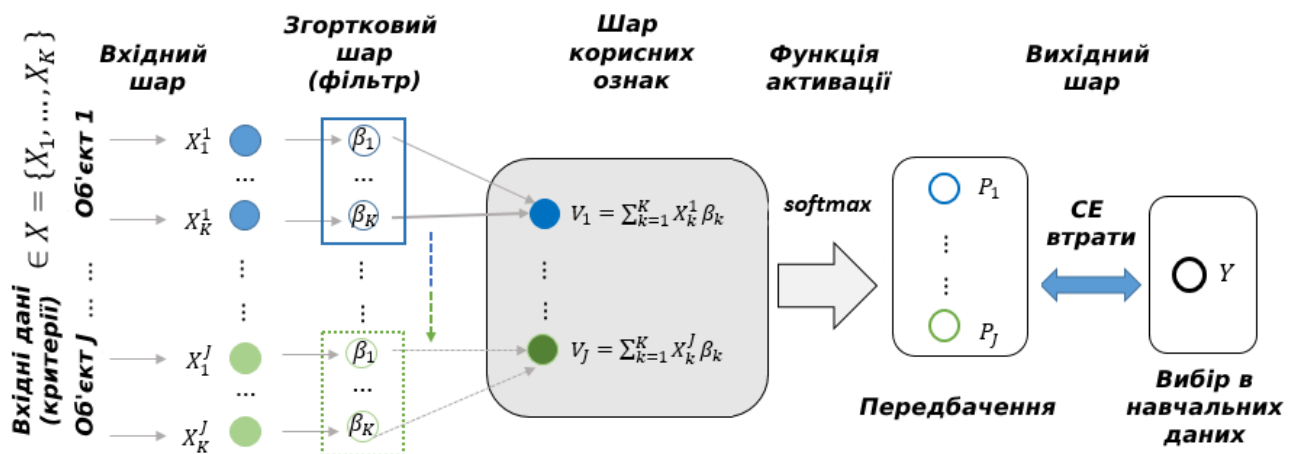


Рис.3.4. Загальна будова НМ і з одним згортковим шаром.

## інструменти створення моделі бґрунтування вибору мови програмування

Вибір мови програмування є основою реалізації будь-якого програмного проекту. Тут можна виділити два шляхи пошуку оптимального варіанту: опиратись на можливості, що надає мова програмування, і опиратись на власні можливості. В першому випадку, результатом може бути найефективніше рішення задачі, проте необхідно буде вивчати нову мову програмування, що може призвести до втрати

цієї ефективності. Другий варіант, може призвести до втрати ефективних інструментів рішення задачі, та в той же момент їх можна компенсувати знаннями в цій мові.

Схиляючись до другого шляху на вибір є декілька варіантів: це мови програмування *C++* та *Python*. Ці мови можна віднести до різних рівнів програмування, де *Python* займає більш високий щабель: що призводить до таких основних переваг і недоліків *C++* відносно *Python*:

Швидкодія: *C++* надає більшу продуктивністю за рахунок своєї близькості до машинного коду і можливості безпосереднього управління пам'яттю, тим самим дозволяє оптимізувати роботу з великими обсягами даних та складними обчисленнями, що важливо для НМ із великою кількістю параметрів або власне при обробці нею великих обсягів даних.

є низькорівневою, відносно *Python*, мовою. Через що зростають обсяги коду при написанні однакових функцій. Водночас, кількість бібліотек для створення НМ на *C++* є меншою, хоча це й не виключає факту, що частина бібліотек для *Python* написані саме цією мовою.

Звідси висновок, що за даних обставин, оптимальним є вибір саме мови програмування *Python*, оскільки :

це високорівнева мова програмування, що відома своєю простотою вивчення та читабельністю коду. Це дозволяє швидше розробляти, тестувати та зрозуміло документувати алгоритми ML.

- У середовищі *Python* існує багато бібліотек для ML, таких як *NumPy*, *Pandas*, широкий спектр інструментів для створення, навчання та розгортання моделей

досить гнучка мова, що дозволяє зручно комбінувати різні бібліотеки та фреймворки. Це дає можливість вибирати оптимальні рішення для конкретної задачі та, за потреби, розширювати функціонал.

- Інтеграція з іншими областями: *Python* використовується в різних областях програмування, що дозволяє просто інтегрувати ML з іншими системами та

додатками.

Велика спільнота та підтримка: За час свого існування *Python* наростив велику спільноту розробників, котрі активно працюють над розвитком і підтримкою бібліотек і фреймворків як для ML, так і інших цільових задач. Це означає, що пошук матеріалів та прикладних рішень для задачі створення НМ не є надміру трудомістким.

## **Інструменти для створення нейронних мереж**

Після появи першого реалізованого перцептрона у 1960 році, завдяки Френку Розенблату, аж в 1980-1990 роках розпочалися перші дослідження над НМ, у сучасному розумінні. Через відсутність достатньо потужних комп'ютерів і інструментів глобального поширення інформацій, вони почали набувати популярності в дослідницьких колах вже ближче до кінця 90-х. Перша бібліотека

Відправною точкою широкого розповсюдження НМ можна вважати час появи більш потужних спеціалізованих пристроїв для обчислення, графічних процесорів із *CUDA* і *Tensor* ядрами, оскільки НМ, що оперують складними знаннями, вимагають опрацювання значної кількості цифрової інформації і великої кількості параметрів паралельно. Поява складних задач в свою чергу призвела до досліджень із намаганнями знайти більш ефективні методи навчання і архітектури. Це різноманіття обставин призвело до появи перших вільно-доступних засобів для створення НМ. До 2015 року на загал було виставлено бібліотеки і фреймворки *Theano*, *Caffe*, *Tensorflow* і *Keras*, що спрощував роботу із доступних засобів.



## вбір бібліотеки для роботи з нейронними мережами

Широке різноманіття засобів дозволяє обирати між їх можливостями, залежно від поставлених задач. Деякі з них, окрім того що надають можливість змінювати архітектуру простою заміною параметрів в операторі, ще й дають доступ до бази вже готових оптимізованих моделей НМ, що може значно прискорити процес моделювання різноманітних систем.

Різноманітні ресурси з мережі представляють різні переліки з найбільш підходящими для початку роботи з НМ. Якщо орієнтуватись на програмування НМ у чистому вигляді із усіма обчисленнями, то можна обмежитись звичними користувачам *Python* бібліотеками: *Numpy* із високорівневими математичними функціями для роботи з багатовимірними матрицями, *Pandas* для маніпулювання даними та їх аналіз і *Matplotlib* для візуалізації результату.

З тих же рекомендаційних ресурсів варто виділити деякі спільні пропозиції бібліотек, де представлено великий інструментарій для створення НМ:

Низькорівнева бібліотека для глибокого навчання, що підтримує багатомовний розвиток, але має менше засобів для відлагодження, порівняно з *PyTorch*. Надає широкі можливості та продуктивність на великих даних, але може вимагати більшої експертизи для використання. Спеціалізується на глибокому навчанні та НМ. Дозволяє використовувати апаратне прискорення (*GPU*, *TPU*) для обробки великих обсягів даних і роботи на кластерах комп'ютерів.

Бібліотека для класичних алгоритмів ML. Підходить для новачків та проектів, де не використовують НМ. Добре працює з невеликими даними. Має ще більш високий рівень абстракції для класичних алгоритмів ML. Не підтримує глибоке навчання. Бібліотека для класичних методів ML, таких як класифікація, регресія. Легка у використанні та підходить для вивчення основ ML.

Фреймворк для глибокого навчання. Використовується для створення та навчання складних моделей. Має підтримку *GPU* для обробки складних обчислень (наприклад, обробка текстів, комп'ютерний зір). Має більше засобів для відлагодження та тестування моделей.

Низькорівневий фреймворк для глибокого навчання з більшою гнучкістю та можливістю розробки власних моделей, але також може вимагати додаткової експертизи.

Високорівневий прикладний програмний інтерфейс для роботи з глибоким навчанням і НМ. Використовується використовує *TensorFlow* для глибокого навчання. Оснащений декількома інтерфейсними способами для розбудови архітектури НМ. Має алгоритми для оптимізації і автоматизації навчальних процесів.

### **рограмна реалізація.**

ЗНМ для рішення цієї задачі складається з:

- а) Вхідний шар - на котрий надходять дані для обробки;
- б) Згортковий шар (фільтр) для виділення ознак із кожного з об'єктів;
- в) Проміжні приховані шари для проведення аналізу отриманих ознак.
- г) Функція активації, для уникнення лінійності прийнятого рішення.
- г) Вихідний шар із результатом. В ньому представлена ймовірність вибору конкретного об'єкта.

*TensorFlow* і *Keras*, як і інші бібліотеки мають в собі набір методів, що є готовим представленням якоїсь із складових методів *ML*.

У бібліотеці *Keras* існує два способи створення моделей, шляхом використання інтерфейсів із різною архітектурою:

За допомогою *Sequential API*: Цей спосіб створення моделі дозволяє визначити модель як послідовність шарів, де кожен наступний шар приєднується тільки до одного попереднього. Це найпростіший спосіб створення НМ, коли шари використовуються послідовно.

*Functional API*: Цей спосіб створення моделі дозволяє створювати більш складні моделі з нелінійними топологіями, такими як мережі з відгалуженнями, об'єднаннями шляхом задання вхідних та вихідних шарів окремо і з'єднанням їх

за допомогою функцій. Це дає можливість створювати більш гнучкі та складні моделі.

Обидва методи дозволяють створювати моделі з різними конфігураціями та складністю, і вибір між ними залежить від конкретних потреб. У випадку моделі дискретного вибору на основі згорткової мережі можна було-б обійтись *Sequential API*, але за відома про те що є методи [] серйозного покращення моделі шляхом ускладнення її структури, варто обрати *Functional API*.

## роки до створення функціональної моделі.

Створення екземпляру функціональної моделі передбачає наступні кроки:

- творення вхідних шарів за допомогою *Input*.
- творення шарів та їх з'єднання до вхідних даних або до виходу інших шарів. З'єднання шарів відбувається за допомогою операцій, що виконуються над об'єктами шарів.
- творення моделі: за допомогою методу *Model*, якій передаються вхідні та вихідні шари.

## пис основних методів для реалізації моделі

### *keras.Input*

*Input()* використовується для створення екземпляра тензора *Keras*.

З можливих атрибутів, зараз визначними для цієї моделі є лише *shape*, що визначає ранг і розмірність тензора. В даному випадку,

$shape = (\text{Кількість критеріїв}, \text{Кількість об'єктів}, 1)$

Для створення шарів у *TensorFlow* визначено метод *keras.layers*, що включає в себе безліч класів із різноманітними шарами.

За створення згортки 2 рангу виділено клас: *keras.layers.Conv2D*. Цей рівень створює ядро згортки, яке згортається разом із вхідними даними шару для отримання тензора виходів.

Визначними для даної моделі є наступні атрибути.

*filters* Розмірність вихідного простору. Цей атрибут контролює кількість вихідних каналів після застосування фільтрів на вхідному тензорі, а отже створює своєрідне ядро(вагову ознаку), щодо конкретної області. Так, як фільтр має виділити одну ознаку по критеріям з кожного об'єкта, то має бути рівним 1.

*kernel\_size*, розмірність фільтра в згортці, його ще називають вікном фільтрування. Згортка призначена для виділення ознаки по одному критерію з кожного об'єкта, саме тому її розмірність відповідає одновимірному вектору довжиною в кількість критеріїв ([Кількість критеріїв,1])

*strides*, Цей параметр визначає крок, на який згорткове ядро рухається по вхідних даних під час операції згортки. Вказуючи *strides*=(*a*, *b*), згорткове ядро переміщується на *a* кроків по вертикалі та *b* кроків по горизонталі.

*Padding*, Цей параметр визначає, як вхідні дані доповнюються нулями по краях, щоб зберегти розмір виходу згорткового шару. Є два можливих значення для параметру *padding*:

'  
v

*'same'* (збереження розміру): Додає додаткові нульові значення до вхідних даних таким чином, щоб розмір виходу згорткового шару був такий самий, як і розмір вхідних даних.

Враховуючи, що нам потрібна чиста ознака, конкретно щодо критеріїв одного об'єкта, то для шару необхідно визначити атрибут *'valid'*.

*use\_bias*, параметр що визначає наявність доданка до вагового добутку під час операції згортки, перед застосуванням функції активації. Використання зміщення іноді дозволяє моделі краще навчати нелінійні залежності.

*«True»*, для кожного фільтра (кожен фільтр представлений як окремий набір ваг) в згортковому шарі буде використовуватися зміщення.

В даному випадку немає потреби додаткового зміщення, тому визначено *«false»*.

*activation*, за умовчанням не застосовується, але за своєю суттю визначає чи відбудеться активація конкретного шару. Так як цей шар призначений тільки для отримання ознаки, відповідно його не варто зачепати.

*Trainable*, визначає чи будуть ваги цього шару тренуваними, це необхідно для навчання вирізняти ознаки в кожному критерії, тому варто встановити значення – *«true»*

### ***keras.layers.Activation***

Наступним шаром є клас активації, що власне формує важливу нелінійність у НМ. Раніше було визначено що оптимальною для цієї задачі є функція *softmax*.

Його структура виглядає наступним чином *keras.layers.Activation(activation, \*\*kwargs)*

Єдиний аргумент *activation* визначає, якою саме функцією буде активовано нейрон.

Цей клас потребує отримання даних у вигляді структури під назвою *tuple*, що є своєрідним вектором. Тому на вхід функції активації має бути подано тензор розмірністю = *(batch\_size, objects\_num)* в той час, як на виході зі згорткового шару з обраними атрибутами маємо розмірність = *(batch\_size, objects\_num, 1, 1)*. Це зумовлює необхідність використання класу *Reshape*,

що перетворює розмірність (форму тензора) даних. Він змінює розмір тензора, не змінюючи його вмісту, тобто перегрупує значення тензора в нову форму.

Основним параметром, що визначається при використанні класу із структурою *tf.keras.layers.Reshape*, є:

*target\_shape*: Це нова форма (розмір) тензора, в яку потрібно перетворити вхідні дані. Для конкретного випадку це *Reshape([objects\_num])*.

Останнім кроком є, власне, створення функціональної моделі. Для цього використовується метод *keras.Model(\*args, \*\*kwargs)*, що приймає як аргументи екземпляри шарів. За виконання простої моделі з прямим поширенням, достатньо визначити основний вхідний і вихідний шари.

Код реалізації моделі зазначений в (див. ДОДАТКУ А) і виділено відповідним коментарем.

## пис основних методів реалізації навчання

Функція *model.compile* в НМ *Keras* налаштовує процес навчання, визначаючи параметри, необхідні для тренування мережі.

Основними аргументами цієї функції є :

*optimizer*, що визначає оптимізатор, який реалізує алгоритм оптимізації для навчання моделі. Наприклад, *Adam*, *SGD* і т. д. Та, в даному випадку, невелика розмірність тензора і компактна архітектура НМ дозволяють уникнути використання оптимізаторів , хоча

*loss*: Функція втрат, котра визначає, як модель оцінює відхилення прогнозованих значень від фактичних під час навчання. Наприклад, для задачі класифікації з декількома класами це може бути *categorical\_crossentropy*, для регресії - *mean\_squared\_error*. У випадку задачі дискретного випадку

*metrics*: Показники, за якими модель оцінюється під час тренування. Це може бути *accuracy* для класифікації, *mse* для регресії, і так далі.

Ця функція, фактично, не починає процес навчання; вона лише конфігурує налаштування, необхідні для навчання моделі. Щоб почати навчання, використовують метод *model.fit*, який використовує визначені параметри оптимізації, функцію втрати та метрики для навчання моделі на вхідних даних.

*model.save*: Цей метод використовується для збереження тренованої моделі, щоб можна було легко використовувати її пізніше без необхідності повторного тренування. Це корисно для збереження прогресу під час експериментів.

Атрибути класу на які варто звернути увагу:

Це шлях та ім'я файлу у рядковому форматі, де буде збережена модель. Тут важливо чітко визначити в якому формат бажаєш зберегти модель, як виявилось, *.h5* є застарілим та *.keras*

### 3.4.4. Створення наборів навчальних даних

Створивши модель і організувавши процес навчання, моделі потрібно надати попередньо оброблені набори даних. У випадку відсутності справжніх експертних даних, необхідно ці дані створити. Для цього достатньо застосувати бібліотеку *.numpy*, де визначено значну кількість готових математичних функцій, що важливо й для роботи з багатовимірними матрицями.

За планом необхідно створити 4 набори даних звичайного вигляду, а 1 змішаний. На вхід моделі подається 2 вимірний тензор, а оскільки даних потрібно в значній кількості, то першим реалізуємо метод *Generate()*, який заповнює випадковими числами від 1 до 10 довгий тривимірний тензор.

Отримавши готовий до обробки набір даних можна використати один із методів нижче по лістингу що зазначений у ДОДАТОК 3.

Кожен із цих методів працює за критеріями ПР в умовах невизначеності відповідно формул(див. 2.2, 2.4, 2.6, 2,6). Виконавши оцінку набору даних необхідно якісно зберегти результат. Для цього до кожного набору додається заповнений нулями стовпчик в якого вже вноситься вибір за методом

### 3.4.5. Автоматизація підбору параметрів навчання

У попередньому розділі про навчання були визначені основні методи для навчання НМ. Проте їх застосування передбачає тільки ручний контроль за всім змінами. При запуску навчання в ручному режимі необхідно визначитись із значеннями наступних параметрів :

***Batch Size*** - Кількість зразків даних, що обробляються перед оновленням параметрів моделі. Менший розмір пакету може забезпечити швидше оновлення, але з великим розміром пакету навчання може бути стабільнішим.

***Number of Epochs*** - Кількість разів, коли весь набір даних проходить через мережу під час навчання. Забагато епох може призвести до перенавчання, а замало - до недонавчання.

***Learning Rate*** - Темп, з яким модель оновлює свої параметри під час

навчання. Висока швидкість навчання може призвести до того, що модель швидко збігається, але може пропустити оптимальне рішення. Низька швидкість навчання забезпечує більшу точність, але вимагає більше часу на навчання.

***Loss Function***: Визначає, як добре модель виконує своє завдання. Вибір функції втрат залежить від типу завдання: класифікація, регресія тощо.

***Optimizer*** - Алгоритм, який використовується для оновлення ваг моделі в процесі навчання. Популярні оптимізатори включають *SGD* (стохастичний градієнтний спуск), *Adam*, *RMSprop* тощо.

***Regularization***: Техніки, такі як *Dropout* або *L1/L2* регуляризація, що запобігають перенавчанню, обмежуючи складність моделі.

Кожен із цих параметрів по своєму впливає на БАС, але враховуючи, що навчання моделі займає час, то процес підбору гіперпараметрів може бути дооуже тривалим, залежно складності моделі.

Щоб виправити це існує ***API Keras Tuner***. Далі зазначено методи що були використані:

***Hyperband*** - метод налаштування гіперпараметрів, заснований на алгоритмі, який прискорює процес випробування гіперпараметрів за допомогою адаптивного розподілу ресурсів та раннього припинення. Він використовує менше часу на менш обнадійливі набори гіперпараметрів, а більше часу на більш перспективні.

***hp.Choice*** - Функція, яка використовується для визначення дискретного набору значень гіперпараметрів для випробування.

В самому модулі *hp.Choice* було застосовано для підобу швидкості навчання для оптимізатора *Adam (learning rate)* в компіляторі

***tuner.search***: Метод, який використовує модель та варіанти гіперпараметрів для проведення пошуку оптимальних гіперпараметрів. Він приймає навчальні дані, мітки, кількість епох, розподіл даних на навчальну та валідаційну вибірки, а також зворотні виклики, такі як *EarlyStopping* для запобігання перенавчанню.

***EarlyStopping*** - Зворотний виклик, що використовується для припинення навчання, коли валідаційна втрата перестає зменшуватися протягом певної кількості епох.



*tuner.get\_best\_hyperparameters* - Метод, що дозволяє отримати найкращі гіперпараметри, знайдені під час пошуку.

*tuner.hypermodel.build*: Використовується для побудови моделі з використанням найкращих знайдених гіперпараметрів.

*model.evaluate*: Оцінка моделі за допомогою навчальних даних і міток для визначення точності та втрат.

### 3.4.6. Покращення кількісних показників роботи НМ

Перші і основні кількісні показники, які можна побачити при створенні моделі НМ це Правильність(*accuracy*) та втрати(*loss*). Перша - це міра правильності передбачень моделі. Вона обчислюється як відсоток правильно класифікованих випадків від усіх випадків, а друга - це міра того, наскільки передбачення моделі відрізняються від фактичних міток.

Створивши модель виключно на основі одного згорткового шару (Рис.3.4), було отримано сумнівної якості результати. Тому було прийняте рішення експериментальним шляхом додати декілька шарів і перевірити зміни їх результативності(Рис. 3.5, 3,6).

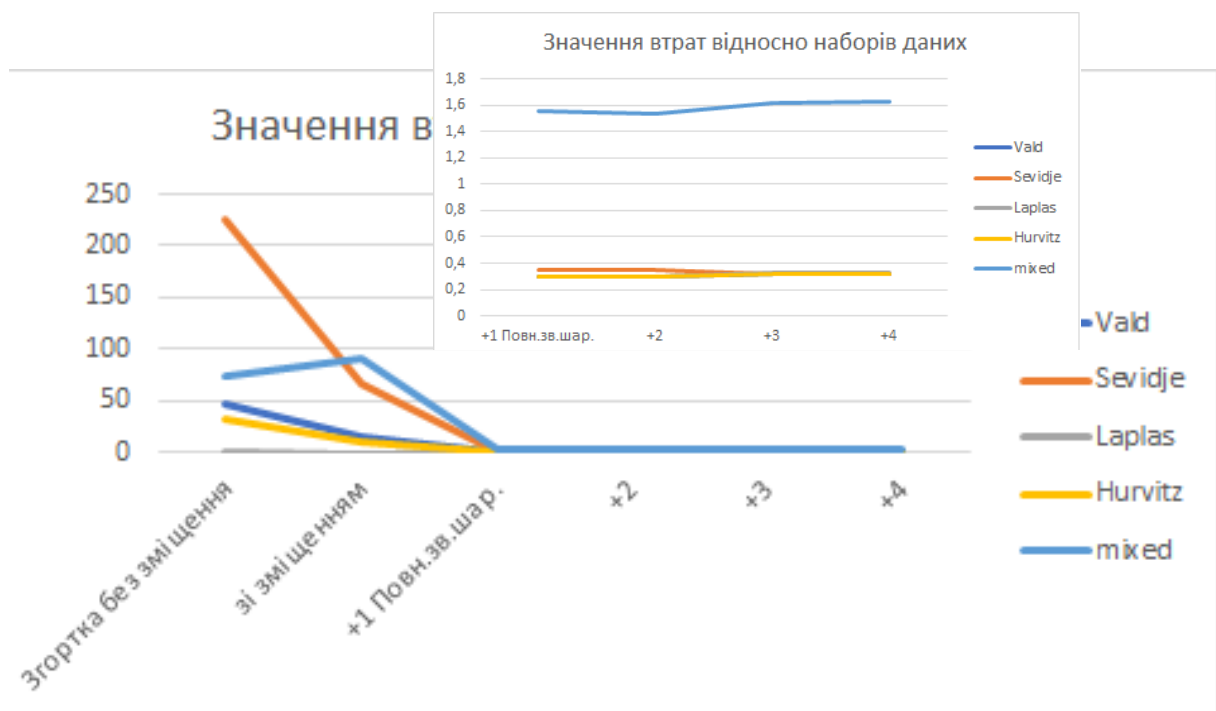


Рис.3.5 Значення втрат щодо різних навчальних наборів

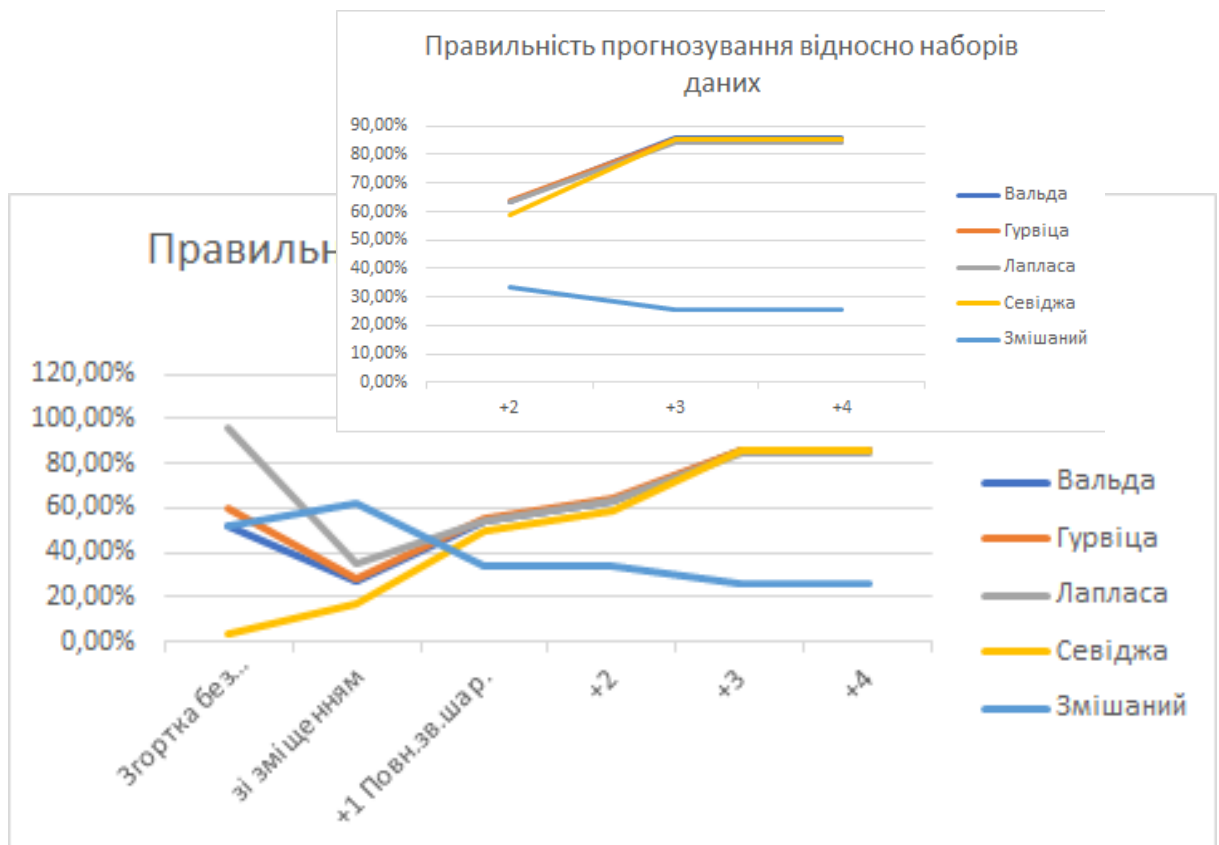


Рис.3.6 Значення правильності прогнозування щодо різних навчальних наборів

Для того що покращити модель використовувалась можливість додати повнозв'язні приховані шари. **Dense Layer** він включає в себе декілька простих параметрів **units**: Цей параметр визначає кількість нейронів у шарі.

**activation='softmax'**: Вказує функцію активації, яка буде використовуватися нейронами цього шару. **Softmax** перетворює вихідні значення шару у розподіл ймовірностей, що робить його популярним вибором для останнього шару в задачах класифікації, оскільки вихідні дані можна інтерпретувати як ймовірності належності до кожного класу.

**use\_bias=True**: вказує, чи слід додавати байєсів зсув до шару.

Провівши експеримент було виявлено, що НМ із 1 згортковим і 3 повнозв'язними шарами є найбільш оптимальною.

### результати роботи моделі нейронної мережі

Останній тест буде представляти на Рис.3.7 де зображені результати прогнозування із застосуванням кожного із наборів даних, а паралельно на рядок

вище зазначено прогноз до того ж набору даних за допомогою лінійного алгоритму критеріїв ПР. Як результат: майже у всіх наборах прогноз вказав на 2 місце посадки. Код програми для відображення результату, як на Рис.3.7. знаходиться в ДОДАТКУ В.

```
Матриця експертних оцінок:  
[[ 1 2 9 8 9 1]  
 [10 9 8 1 4 | 8]  
 [ 8 8 6 7 7 4]  
 [ 9 9 6 3 7 6]  
 [ 8 8 6 6 8 5]]  
  
Результат вибору за методом Вальда = 4  
Пропозиція НМ навченої за даними на основі Вальда = 2  
[[0.149278 0.4032552 0.14929372 0.14913604 0.14903703]]  
  
Результат вибору за методом Севіджа = 2  
Пропозиція НМ навченої за даними на основі Севіджа = 2  
[[0.15152277 0.40015006 0.14945549 0.14944324 0.1494285 ]]  
  
Результат вибору за методом Лапласа = 2  
Пропозиція НМ навченої за даними на основі Лапласа = 2  
[[0.36232474 0.17618118 0.15396279 0.15382412 0.15370718]]  
  
Результат вибору за методом Гурвіца = 2  
Пропозиція НМ навченої за даними на основі Гурвіца = 1  
[[0.36818683 0.16508833 0.15645 0.1546933 0.15558152]]  
  
Пропозиція НМ навченої за даними на основі змішаних даних = 2  
[[0.15122783 0.40050876 0.14944053 0.14938971 0.14943317]]
```

Рис. 3.7. Показники роботи мережі на наборі даних цільової задачі .

### Висновки до розділу 3

Під час виконання розділу було розроблено теоретичну і практичну модель ІСППР, що може запропонувати оптимальний аеродром посадки. Під час створення їх обох було враховано проаналізовану інформацію із попередніх розділів. Результатом роботи є Структурна схема моделі ІСППР на рис. 3.2. та програмний модуль реалізації функціоналу ІСППР на основі згорткової нейронної мережі, що наведено в ДОДАТКУ А. Навчальний модуль і модуль демонстрації показано у ДОДАТКАХ Б і В, відповідно.

Проведені тести і демонстрація показали прийнятний для проведення подальших досліджень результат.

Для проведення моделювання було використано мову Python та API Keras, можна відміти їх хорошу працездатність для виконання задач із розробки моделей штучного інтелекту. Досить широкий спектр інструментів і потужна спільнота спрощують дослідження.

## РОЗДІЛ 4

### СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

#### **4.1. Бізнес план підприємства з виробництва і обслуговування Безпілотних літальних систем, комплексів подвійного призначення**

##### **Резюме**

Подальший матеріал описує бізнес план підприємства з виробництва і обслуговування БАС/БпАК подвійного призначення у різних напрямках що стосуються сфер діяльності України.

Автономні і віддалено керовані системи захоплюють ринок у більшості розвинених галузей. Безпілотна авіація, як складова, що теж розпочала експансію ринку в Україні, все ще є досить молодого, а державні підприємства занадто не повороткі, щоб успішно займати цей ринок.

Оскільки у літальних апаратів є широкі можливості щодо напрямків використання, то зараз і в майбутньому з'являється необхідність у виробниках щоб задовільнили ринок різноманіттям безпілотної авіації.

##### **Опис підприємства**

Основою підприємства буде дослідницький центр розробки БАС для цивільного ринку. Виробництво ж, буде сформоване в Україні і для зменшення об'єму стартових інвестицій буде передбачати лише збірну лінію для кінцевого продукту і компонентів: вузлів управління і керування, без інших складних модулів, постачання яких передбачається з українського ринку.

Так як за основний дохід визначено Продаж готової продукції, то в фінансовому плані не зазначено інші складові, такі як : відділ навчання персоналу обслуги БпЛА; Відділ юридичних послуг в сфері авіації; Відділ обслуговування і ремонту продукції.

## **Опис продукції**

Очікується, що структура послуг підприємства буде досить гнучкою. Основною продукцією є цивільні агродрони і дрони для державних структур. Основною послугою що будуть надаватись визначено: Повний ремонт і обслуговування продукції підприємства за умов що ці процеси будуть фізично можливі: Послуги юридичного унормування безпілотної авіації в Україні. За майбутнього росту передбачається можливість надання ресурсів виробництва для інших компаній.

## **План маркетингу**

Маркетинг в «Omnipresent Wing» формується на основі участі на виставках технічного обладнання в Україні і індивідуальної комплексної роботи з підприємцями як знаходяться в галузі з попитом щодо продукції. Щодо залучення реклами то із необхідного оцінюється створення інформаційно місткого сайту щодо підприємства і продукції.

Збут продукції буде відбуватись за індивідуальними контрактами на замовленнях підприємстві покупців після заключення контракту із частковою сплатою вартості критичних матеріалів.

## **Виробничий план**

Для формування виробництва необхідне одне ангарне приміщення великої площі, розділене на секції або ж декілька приміщень меншої площі але розміщених поруч. Займані площі будуть поділені на: основне приміщення для збірки кінцевого продукту; Закритий бокс для фарбування; 3 Цехи для збірки компонентів, ремонтний цех для обслуговування продукції і складське приміщення із кліматконтролем для зберігання компонентів і кінцевого продукту.

Інші процеси такі як навчання операторів, інженерна розробка і відділи котрим необхідний простір для офісної роботи потребують приміщення відповідного потребам розміру.

Щоб наситити підприємство обладнання, необхідно укласти договори із виробниками збірного обладнання і з постачальниками орг. техніки.

## Фінансовий план

Таблиця 4.1

### Фінансовий план на 2023-2025рр.

Рік	Квартал або місяць	Прогноз обсягів реалізації послуг	Виручка від реалізації послуг (з ПДВ), тис. грн.	ПДВ, 20%, тис. грн.	Виручка від реалізації послуг (без ПДВ), тис. грн.	Собівартість реалізованих послуг, тис. грн.	Валовий прибуток, тис. грн.	Податок на прибуток, 30%, тис. грн.	Чистий прибуток, тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2023	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	1	270	15,8	254,2	79	175,2	52,56	122,64
	6	2	540	31,6	508,4	158	350,4	105,12	245,28
	7	2	540	31,6	508,4	158	350,4	105,12	245,28
	8	3	810	47,4	762,6	237	525,6	157,68	367,92
	9	2	540	31,6	508,4	158	350,4	105,12	245,28
	10	3	810	47,4	762,6	237	525,6	157,68	367,92
	11	3	810	47,4	762,6	237	525,6	157,68	367,92
	12	2	540	31,6	508,4	158	350,4	105,12	245,28
2024	1	9	2430	142,2	2287,8	711	1576,8	473,04	1103,76
	2	8	2160	126,4	2033,6	632	1401,6	420,48	981,12
	3	12	3240	189,6	3050,4	948	2102,4	630,72	1471,68
	4	12	3240	189,6	3050,4	948	2102,4	630,72	1471,68

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2025	-	49	13230	774,2	12455,8	3871	8584,8	2575,44	6009,36

**Ефективність програми:**

**Очікувані стартові інвестиції :**

$$I = 7500000$$

**Очікуваний строк окупності :**

$$t(\text{Life Period}) = 3$$

**Дисконтна ставка:**

$$K(20\%) = 0,2$$

**Залишкова вартість :**

$$SV = Cal - Cd = 5000000 - 416666,6667 = 4583333,333$$

$$Depreciation = 972222,2222$$

**Щорічні грошові надходження з урахуванням дисконту:**

$$DACI_{2023} = 1277500,00$$

$$DACI_{2024} = 2909861,11$$

$$DACI_{2025} = 3477638,89$$

**Розрахунковий рівень доходу:**

$$ARR_{2023} = 4,07 \%$$

$$ARR_{2024} = 25,84 \%$$

$$ARR_{2025} = 33,41 \%$$

$$ARR_{\text{mean}} = 21,10 \%$$

**Період окупності програми:**

$$PBP = 0,98 \text{ року}$$

**Чистий приведений дохід:**

$$NPV = 165000,00 > 10 \text{ Програма прийнятна для інвестицій}$$

**Індекс прибутковості:**

$PI = 1,02 > 0$  Отже, програма економічно ефективна

**Внутрішня норма рентабельності:**

$IRR = 32,89153472 \% > 10$  Програма прийнятна для інвестування

Таблиця 4.2.

Приведений дохід, розрахунок з MS Excel

Вид виплат	Періоди часу, рр.	Обсяг надходжень і витрат без урахування	$1 + IRR 1,$	$F_1 = 1 / (1 + IRR1)^t$	Приведені надходження і витрати, F*INVEST, грн.	$1 + IRR 2$	$F_1 = 1 / (1 + IRR2)^t$	Приведені надходження і витрати, грн.
-	-	-	$IRR 1 = 20\%$	-	-	$IRR 2 = 50\%$	-	-
<b>Витрати</b>	До початку роботи	-7500000	1,2	1	-7500000	1,5	1	-7500000
<b>Надходження</b>	1-й рік	2207520	1,2	0,83	1839600	1,5	0,6	1471680
-	2-й рік	5028240	1,2	0,694	3491833,3	1,5	0,45	2234773,3
-	3-й рік	6009360	1,2	0,579	3477638,9	1,5	0,3	1780551,1
<b>Чистий приведений дохід,</b>	-	5745120	-	-	1309072,2	-	-	-2012995,5
<b>NPV</b>	-	-	-	-	<b>Прийнятний</b>	-	-	<b>Неприйнятний</b>

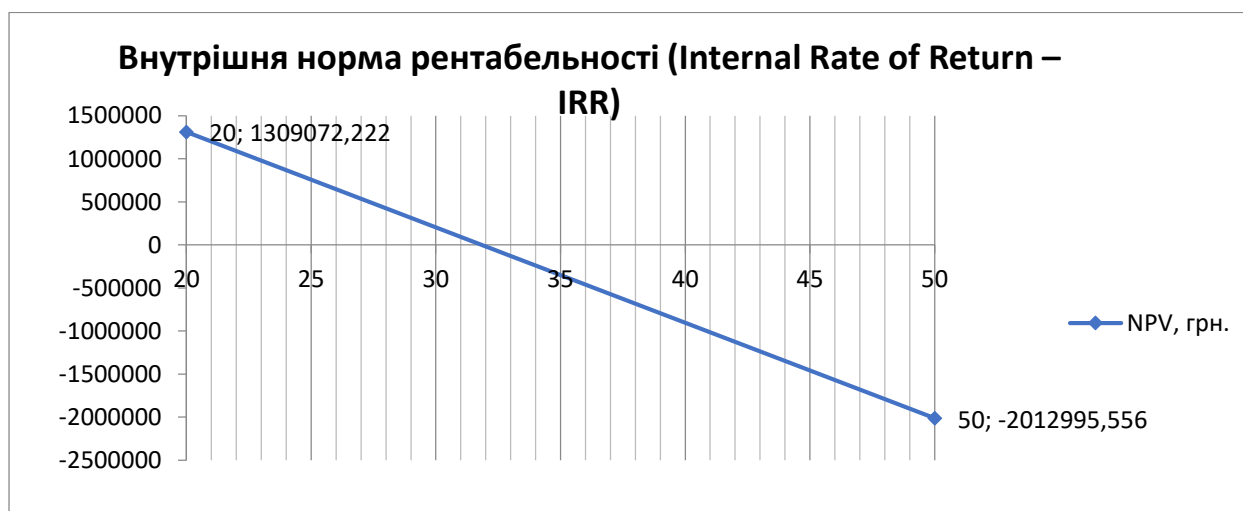


Рисунок 4.1. Розрахунок внутрішньої норми рентабельності



## Аналіз безбитковості і чутливості

### Загальний дохід підприємства за 3 роки;

NI = 20628 тис.грн.

### Точка безбитковості

BEC = 10,67

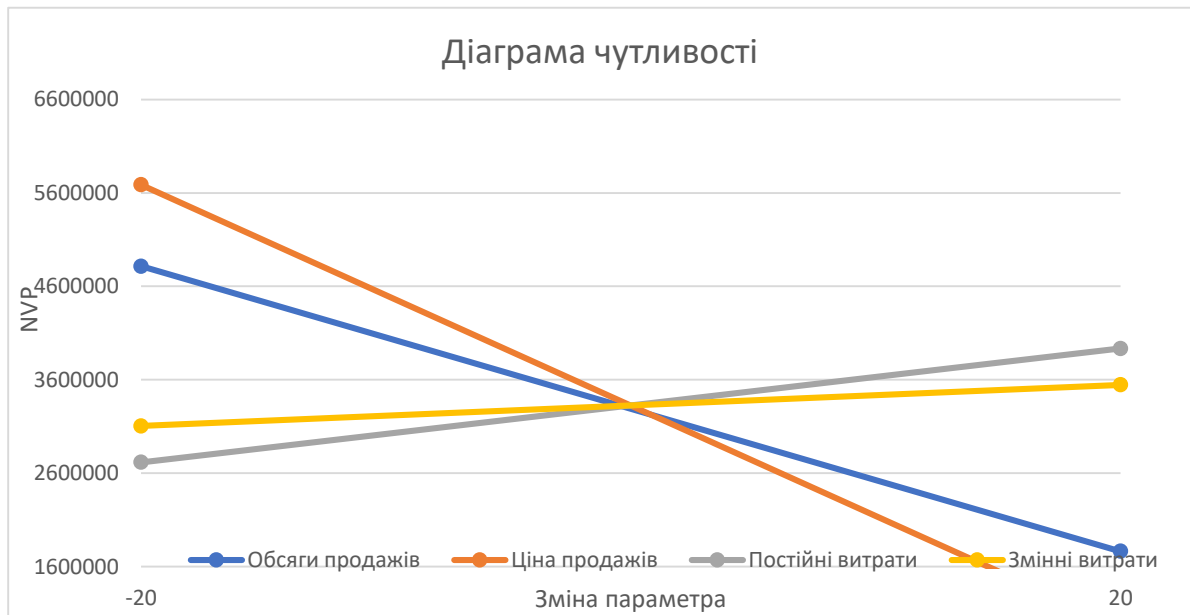


Рис. 4.2 Діаграма чутливості

Таблиця 4.3.

### Порівняння приведенного доходу при різних змінах обсягів надходження

Статті надходжень і витрат	Обсяг надходжень і витрат, грн.							
	При збільшенні на 20%				При зменшенні на 20%			
	Обсягу продажів	Ціни продажів	Постійних витрат	Змінних витрат	Обсягу продажів	Ціни продажів	Постійних витрат	Змінних витрат
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Інвестиції	-7500000	-7500000	-7500000	-7500000	-7500000	-7500000	-7500000	-7500000
Щорічні надходження	15820560	17327520	12192768	12864096	10547040	9162720	14297472	13626144

Завершення таблиці 4.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
NPV	4815138,889	5687222,222	2715722,222	3104222,222	1763333,333	962222,2222	3933722,222	3545222,222

### Прогнозування грошових надходжень

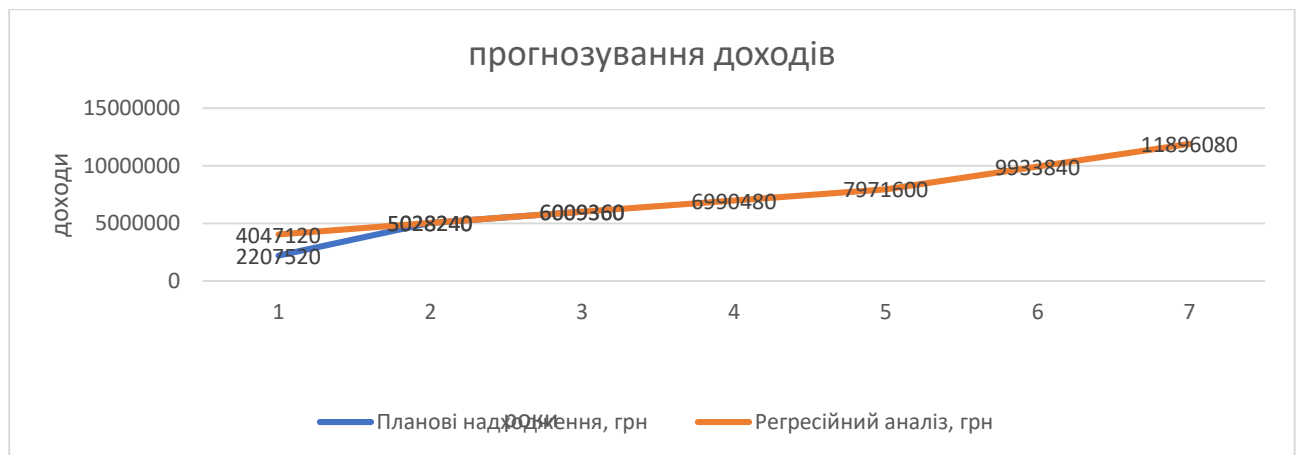


Рис. 4.3 Прогнозування доходів

### 4.1.10. Аналіз ризиків

Таблиця 4.4

#### Аналіз ризиків і заходів з попередження

№ з/п	Вид ризику	Негативний вплив	Заходи з попередження
1	2	3	4
1	Порушення логістичних ланцюжків на будь-якому з етапів виробництва.	Зниження обсягу продукції, виробленої з використанням основного капіталу	Диверсифікація логістичних шляхів із постачальниками. Укладання угод з декількома партнерами одночасно;
2	Погіршення якості сировини	Погіршення якості кінцевого продукту. Можлива шкода обладнанню.	Якісна і містка контрактна робота з постачальниками із урахуванням штрафів за порушення умов.

Завершення таблиці 4.4.

1	2	3	4
3	Невчасне виконання постачальниками своїх зобов'язань	Перебої у виробництві	Укладання угод з декількома партнерами одночасно; передбачення у договорах пені за невчасну поставку
4	Недостатня кваліфікація працівників	Зниження обсягу виробництва	Суворий підбір персоналу та забезпечення підвищення кваліфікації працівників.
5	Несправність обладнання	Погіршення якості виробництва. Зниження обсягу виробництва.	Регулярне технічне обслуговування. Якісне навчання персоналу.
6	Ризик незатребуваності продукції	Зниження обсягу виробництва	Проведення власними силами або замовлення досліджень як з питань організації виробництва, так і маркетингових; постійне впровадження досягнень науково-технічного прогресу; замовлення якісного маркетингу.
7	Втрата електропостачання	Зниження обсягу виробництва	Створення резервного живлення. Або формування повністю автономного живлення

## 4.2. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності

Автоматизована обробка даних є типовою задачею що вирішується сучасними аеронавігаційними системами. Обробка аеронавігаційних даних забезпечується як на борту у певних блоках авіоніки так і у наземних обчислювальних комплексах. Навігаційні параметри у сучасних системах вимірюються за допомогою значної кількості різних сенсорів, що забезпечують створення архіву даних, обробка яких потребує застосування спеціалізованих алгоритмів статистичної обробки. Кожен сенсор виконує вимірювання з певною величиною похибки, дію якої не можна виключили, проте її можна зменшити до прийняттого рівня. Отже сумісна обробка даних у аеронавігаційній системі виконується з врахуванням дії похибок кожного з сенсорів. Для цього використовують довірчі інтервали, що гарантують знаходження певного інтервалу у проміжку з певною ймовірністю. Найбільш застосовуваними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, що забезпечує

95% локалізації виміряних значень, виходячи з припущення про нормальний закон розподілу похибок.

Кожен блок авіоніки у своїй структурі більш схожий до архітектури персонального комп'ютера з відповідними елементами: процесор, пам'ять, аналого-цифрові /цифро-аналогові перетворювачі, що дозволяє виконувати обробку виміряних даних на програмному рівні. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних регістрах, змінних, матрицях чи архівах даних.

Визначення точного місцеположення повітряного корабля (ПК) є однією з найважливіших задач цивільної авіації [37-38]. Зростаючі обсяги авіаперевезень вимагають постійного перегляду норм ешелонування для задоволення росту потреб авіаційного транспорту. Норми ешелонування ПК визначають максимально допустимі межі розділення ПК у просторі у вертикальній площині, боковому та повздожньому відхиленнях. Єдиним можливим шляхом вирішення питання перевантаженості повітряного простору є збільшення пропускної здатності певної частини повітряного простору за рахунок зменшення безпечних відстаней між ПК. На практиці це реалізується шляхом введення більш точних вимог до визначення місцеположення ПК у просторі. Введення більш точних вимог до позиціонування ПК можливе лише за умови наявності відповідних систем здатних задовільнити їх. Функціонування систем позиціонування ПК цивільної авіації забезпечується полем аеронавігаційних сигналів, що створюється у просторі різними системами.

У якості прикладу обробки даних великої розмірності розглянемо траєкторію руху літального апарату та виконаємо її розрахунок за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

#### **4.2.1. Вхідні дані**

Сучасний літак цивільної авіації обладнаний цілою групою різноманітних датчиків, що забезпечують визначення координат місцеположення ПК у просторі.

Відповідно до концепції автоматичного залежного спостереження (ADS-B) користувачі повітряного простору повинні періодично повідомляти своє місцеположення у просторі в автоматичному режимі. Найбільш поширеним бортовим обладнанням ADS-B є літаковий відповідач режиму 1090ES. Літаковий відповідач виконує функції автоматичного генерування цифрових повідомлень відповідно до налаштувань системи (стандартні налаштування забезпечує випромінювання сигналу з частотою у 1 Гц) та виконує їх випромінювання через всеспрямовані антени системи [39, 40]. Поширене цифрове повідомлення містить ідентифікацію літака, координати місцеположення, барометричну висоту та інші дані. Координати ПК отримуються з обчислювальної системи літаководіння після вибору оптимальної системи позиціонування для певного повітряного простору виходячи з точності, що забезпечується системою та специфікаційних вимог які діють у повітряному просторі де знаходиться літак.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані передані за концепцією ADS-B. Зокрема, ідентифікаційний код літака з координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних [40, 41]. Зокрема, обчислювальні кластери компаній Flightradar24 та Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [42] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 4.5).



Рис. 4.5 Мапа глобального трафіку [41]

Доступ до глобальних баз даних траєкторної інформації є відкритим і забезпечується на комерційній основі. Програмно керований інтерфейс дозволяє отримати будь-який сегмент траєкторних даних для подальшого аналізу.

У якості вхідних даних я використаю дані траєкторії польоту N522A, що виконував тренувальний політ в околі міста Лаконья(LCI). Дата вильоту 16 грудня 2023 12:53 PM (EST). Дата посадки 16 грудня о 02:44 PM (EST). Політ завершився раніше на 8 хвилин раніше від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Cirrus SR-22 (SR22). Вхідні дані отримано від архіву за посиланням <https://www.flightaware.com/live/flight/N522A/history/20231216/1802Z/KLCI/KLCI/tracklog>

У таблиці 4.5 наведено перші та останні 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 4.5.

Траєкторні дані рейсу N522A від 16 грудня 2023

Час (EEST)	Широта	Довгота	Курс	Швидкість (kts)	Швидкість (mph)	Висота (фут)
1	2	3	4	5	6	7
Sat 12:53:24 PM	43.5716	-71.4227	← 247°	99	114	743
Sat 12:53:40 PM	43.5689	-71.4320	← 249°	99	114	650
Sat 12:53:57 PM	43.5642	-71.4392	↓ 190°	99	114	1,125
Sat 12:54:16 PM	43.5586	-71.4297	→ 89°	120	138	1,400
Sat 12:54:32 PM	43.5605	-71.4177	→ 74°	120	138	1,750
Sat 12:54:48 PM	43.5627	-71.4067	→ 75°	116	133	2,125
Sat 12:55:04 PM	43.5648	-71.3952	→ 81°	105	121	2,600
Sat 12:55:20 PM	43.5646	-71.3849	→ 99°	106	122	2,975
Sat 12:55:36 PM	43.5625	-71.3736	→ 108°	134	154	3,025
Sat 12:55:52 PM	43.5589	-71.3596	→ 110°	149	171	3,000
Sat 12:56:08 PM	43.5549	-71.3444	→ 110°	150	173	3,000
Sat 12:56:24 PM	43.5513	-71.3303	→ 109°	151	174	3,000
Sat 12:56:47 PM	43.5461	-71.3100	→ 109°	149	171	3,000
Sat 12:57:05 PM	43.5410	-71.2937	↘ 127°	148	170	3,000
Sat 12:57:25 PM	43.5311	-71.2806	↘ 139°	148	170	3,000
...						
Sat 02:36:23 PM	43.5863	-71.3726	↗ 52°	135	155	1,125

1	2	3	4	5	6	7
Sat 02:36:39 PM	43.5947	-71.3649	↑ 356°	137	158	1,075
Sat 02:36:55 PM	43.6005	-71.3744	← 267°	137	158	975
Sat 02:37:11 PM	43.5964	-71.3866	↙ 243°	136	157	900
Sat 02:37:27 PM	43.5930	-71.3992	← 247°	125	144	925
Sat 02:37:43 PM	43.5895	-71.4102	↙ 245°	118	136	1,000
Sat 02:38:00 PM	43.5853	-71.4222	↙ 245°	123	142	950
Sat 02:38:16 PM	43.5813	-71.4334	↙ 243°	129	148	875
Sat 02:38:33 PM	43.5772	-71.4459	← 249°	131	151	825
Sat 02:38:49 PM	43.5735	-71.4591	← 249°	119	137	975
Sat 02:39:06 PM	43.5692	-71.4688	↙ 209°	117	135	1,050
Sat 02:39:22 PM	43.5620	-71.4648	↘ 118°	112	129	900
Sat 02:39:38 PM	43.5622	-71.4535	↗ 64°	113	130	600
Sat 02:39:54 PM	43.5656	-71.4427	→ 67°	92	106	350
Sat 02:40:11 PM	43.5678	-71.4353	→ 67°	73	84	200

#### 4.2.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу N522A від 16 грудня 2023 у програмне забезпечення MATLAB [43]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.4.6., а вертикальний профіль представлено на рис. 4.7.

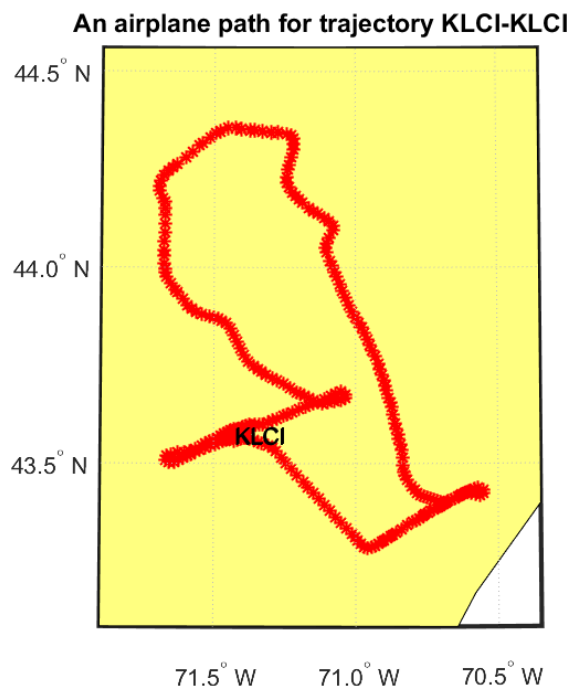


Рис. 4.6 Траєкторія руху рейсу N522A від 16 грудня 2023

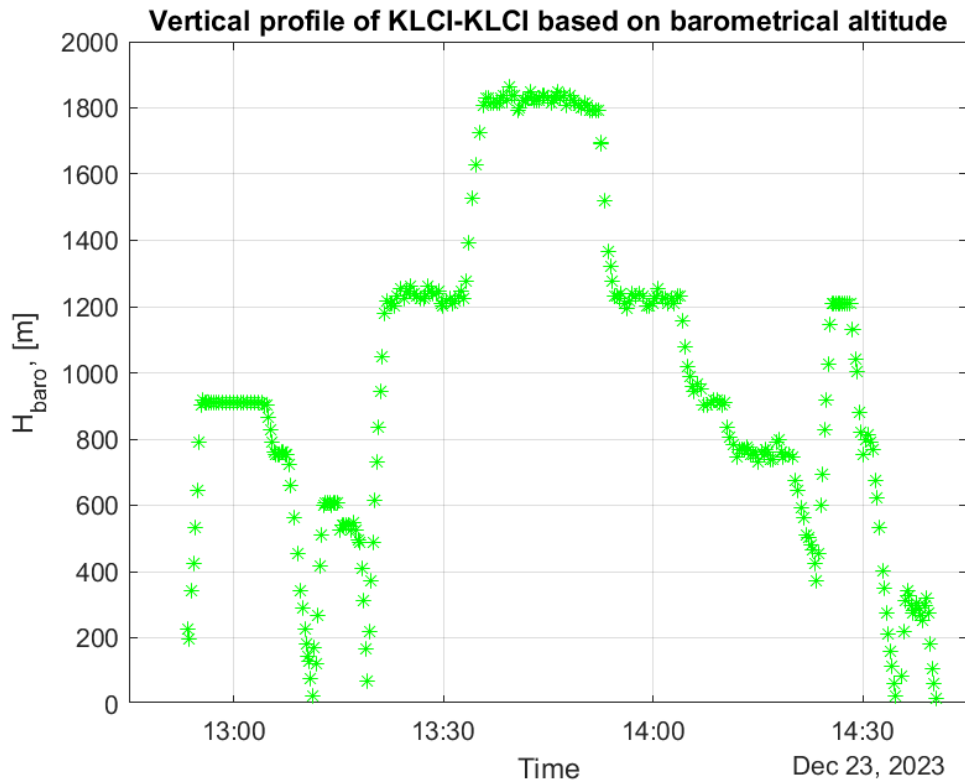


Рис 4.7. Вертикальний профіль рейсу N522A від 16 грудня 2023

#### 4.2.4. Інтерполяція траєкторних даних

Цифрові повідомлення передані за концепцією ADS-B є несинхронізованими за часом. Кожин передавач може бути налаштований на свою частоту видачі цифрових повідомлень. Крім того слід відмітити що частота 1090МГц є доволі завантаженою, оскільки на ній працюють вторинні радіолокатори, системи попередження зближень літаків та ADS-B. Це призводить до того, що певні цифрові повідомлення можуть накладатися один на одне спотворюючись. Тож траєкторні дані є несинхронізовані з багатьма «битими» повідомленнями. Для вирішення цієї проблеми застосовують методи інтерполяції даних. У якості інтерполюючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис. 4.8 - 4.10. Усі наступні обчислення будемо виконувати з інтерпольованими даними. Відобразимо дані у локальній системі NEU. У якості центра системи використаємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 4.11 та рис. 4.12.



An airplane path for trajectory KLCI-KLCI with interpolated data

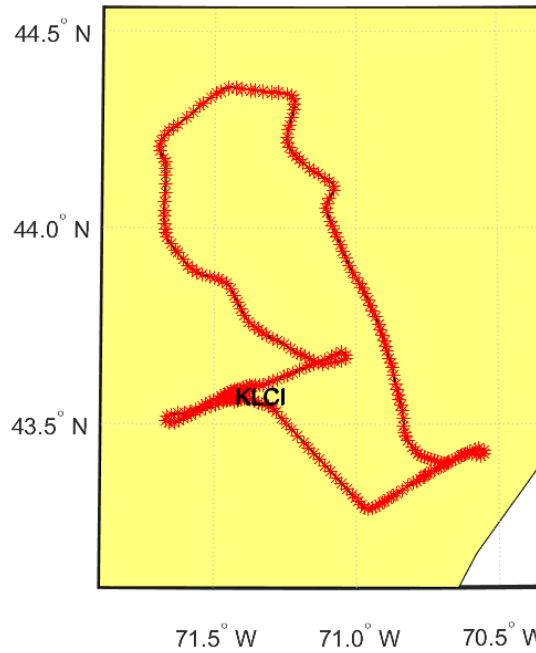


Рис. 4.8 Інтерпольована траєкторія руху ПК рейсу N522A від 16 грудня 2023

g.4. Vertical profile of KLCI-KLCI based on barometrical altitudewith interpolated

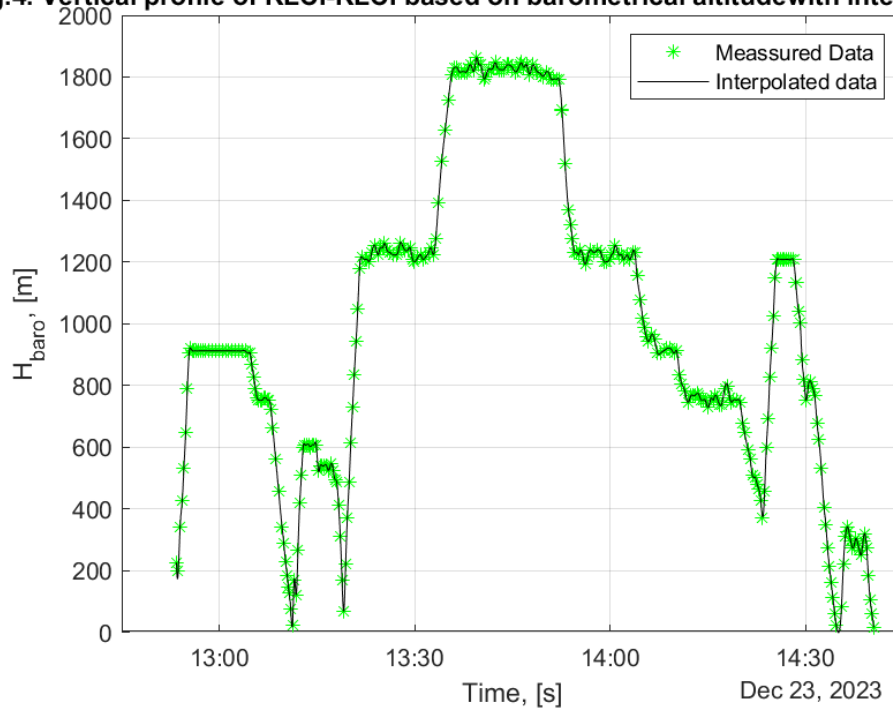


Рис. 4.9 Інтерпольований вертикальний профіль ПК рейсу N522A від 16 грудня

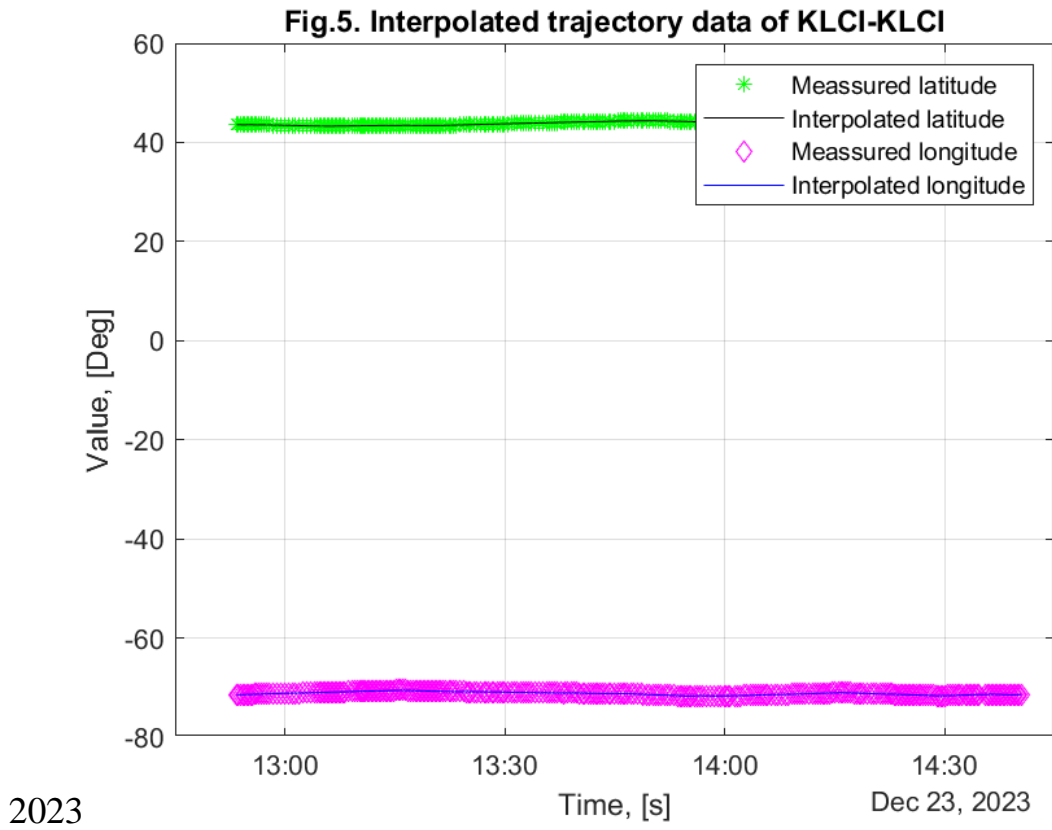


Рис. 4.10 Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу N522A від 16 грудня 2023

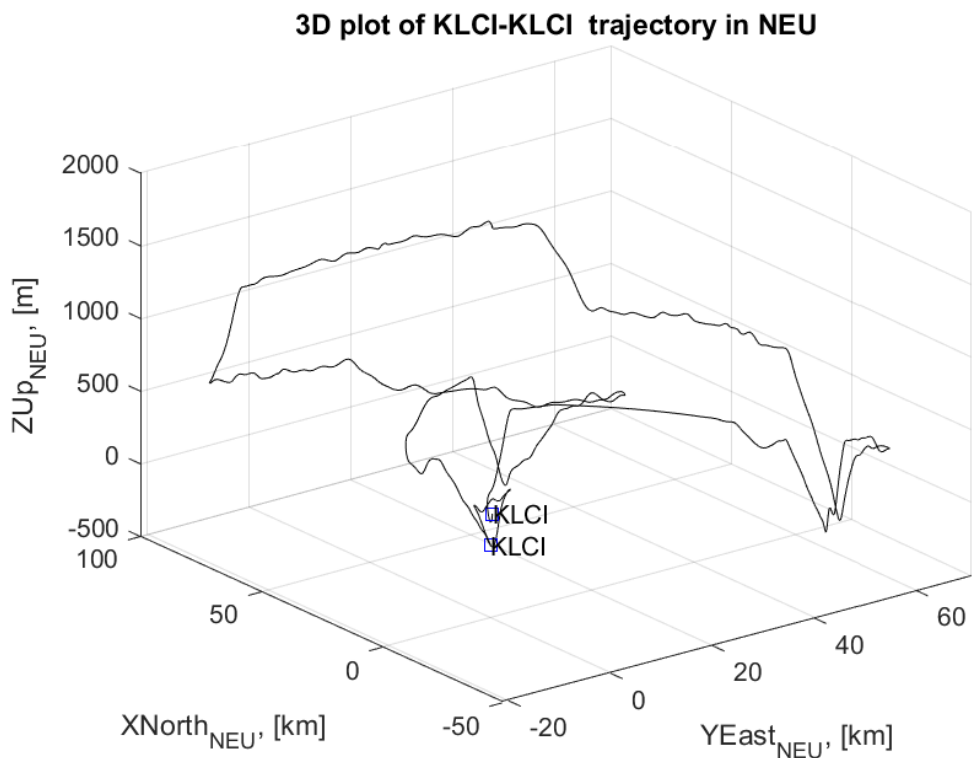


Рис 4.11 Траєкторія руху рейсу N522A у локальній системі координат

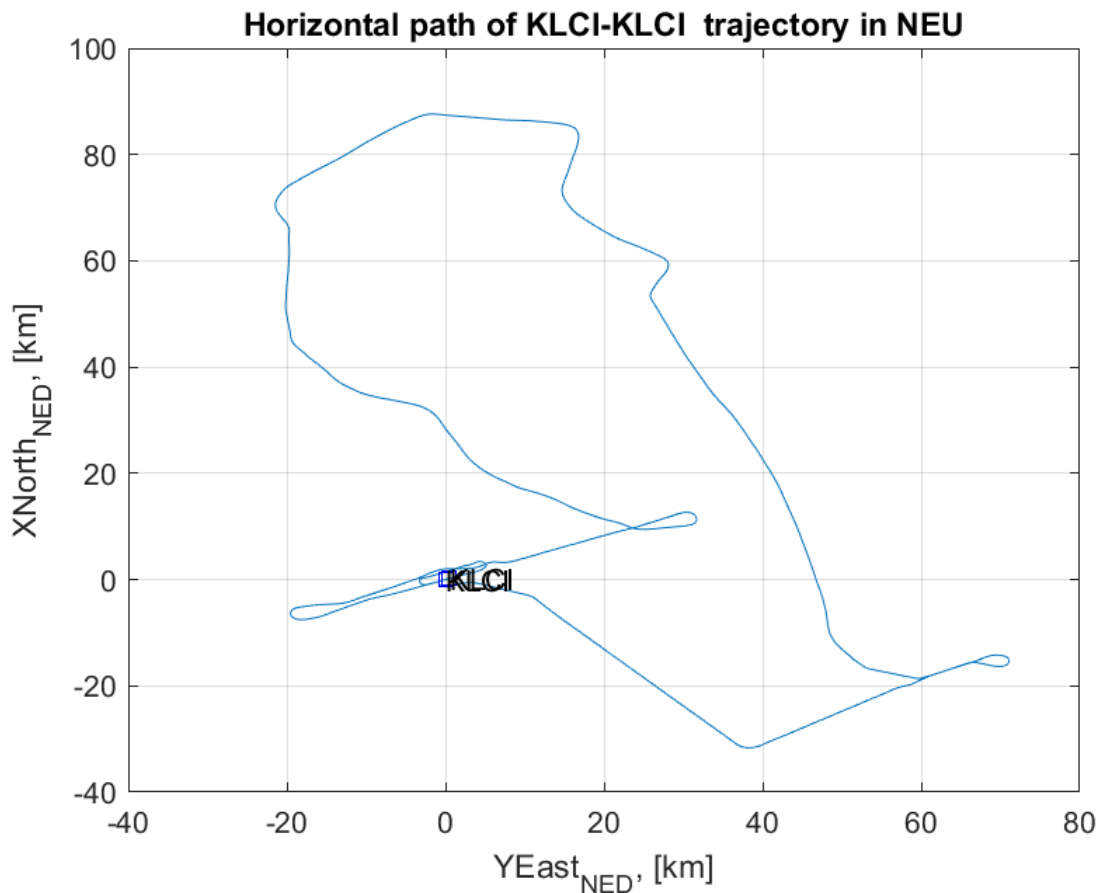


Рисунок 4.12 Шлях руху рейсу N522A у локальній системі координат

#### 4.2.5. Розрахунок параметрів траєкторії

За набором даних тривимірної траєкторії руху виконаємо розрахунок компонентів швидкості, зокрема розрахуємо повну швидкість ПК, вертикальний та горизонтальний компонент. Результати розрахунку швидкості наведено на рис. 4.13., а оцінений курс літака на рис. 4.14. Також підрахуємо загальний час польоту, та довжину маршруту та траєкторії.

Загальний час польоту рейсу N522A від 16 грудня 2023 склав 1 год. 47 хв. 3 с. Довжина траєкторії – 461.9 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 461.5 км.

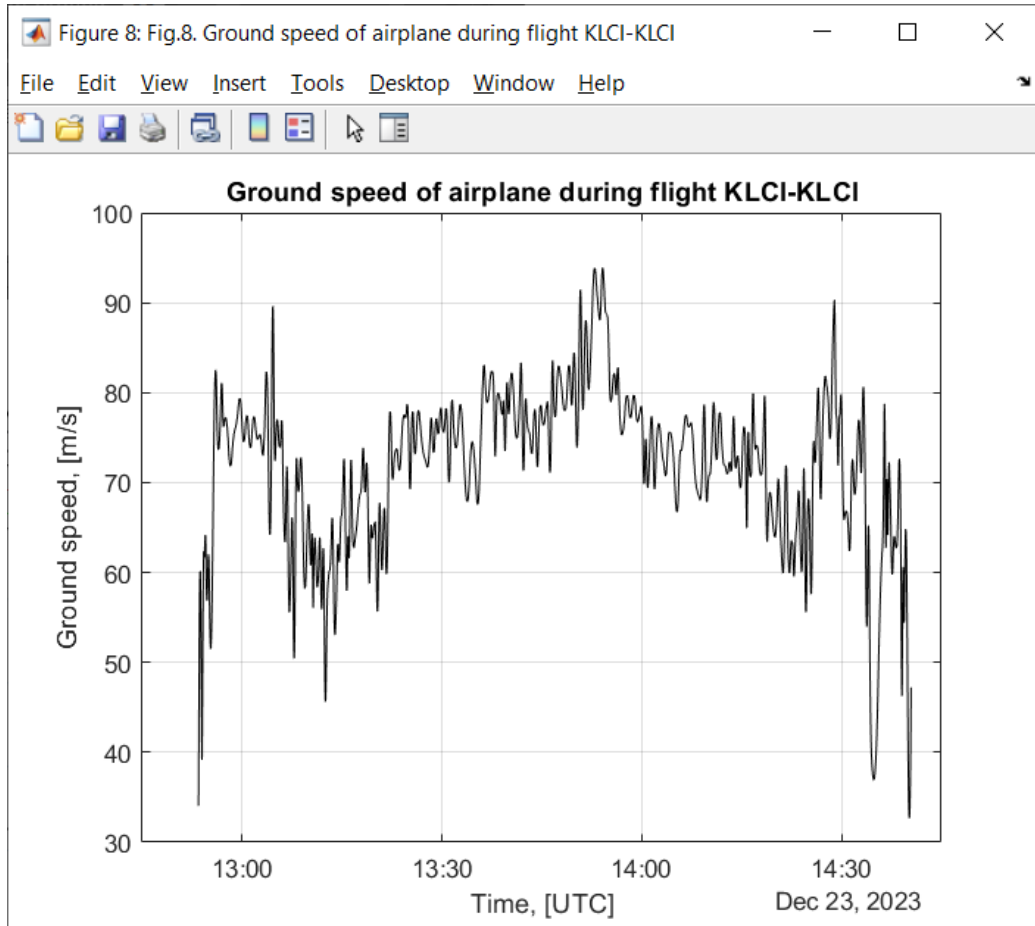


Рис. 4.13 Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу N522A від 16 грудня 2023

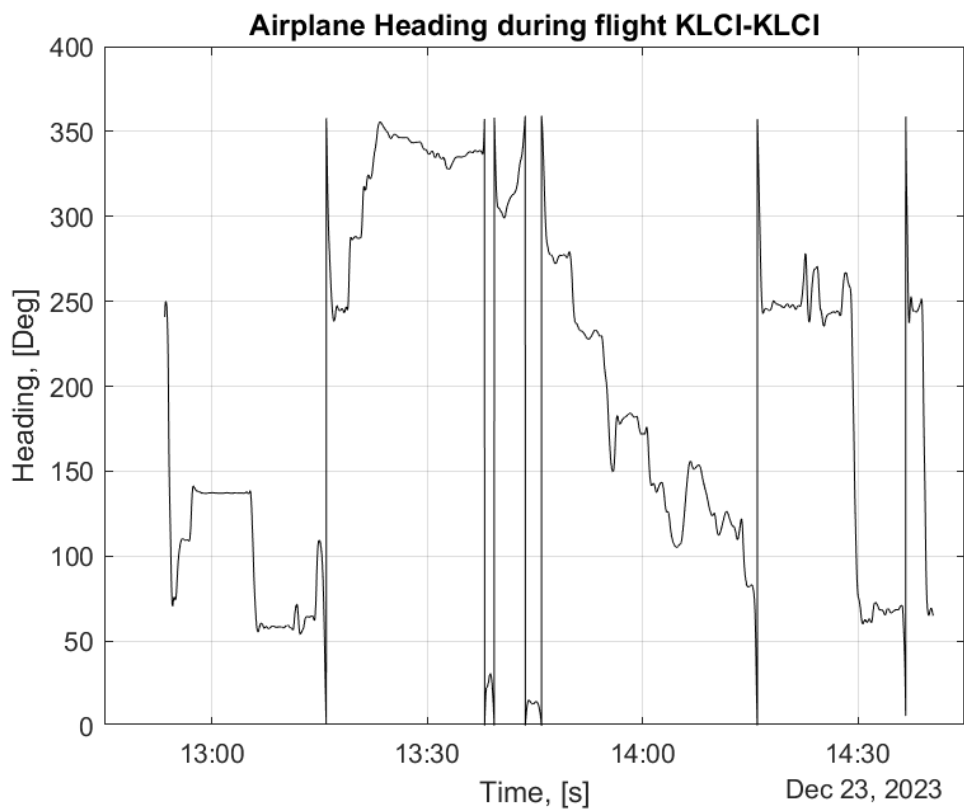


Рис. 4.14 Результати розрахунку курсу для рейсу N522A від 16 грудня 2023

## Висновки до розділу 4

Спеціальний розділ визначає рівень знань і навичок щодо дисциплін, котрі розглядались за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт». В першій частині розділу за напрямком Ефективності авіаційного транспорту було розглянути бізнес план створення підприємства з виготовлення БАС подвійного призначення. Обрані дані для обрахунків виявились досить вдалими, оскільки при стартовому капіталі в 7.5 млн. грн. загальна прибутковість підприємства визначена в 20 млн. грн. а окупність замість очікуваних 3 років , була зміщена до 1 року. Точка беззбитковості рівна 10.58 , що є дуже хорошим результатом . В загальному створення бізнес плану передбачало формування організаційної складової підприємства і фінансової. Під час розробки фінансової частини було створено розрахунки у MS Ехсе: Розрахунок рівню дохідності,, чистого приведенного доходу, Індекс прибутковості , що те дуже хороший показник.

У другій частині спеціального розділу було розглянуто одну зі складових автоматизованої обробка аеронавігаційних даних, а саме визначення траєкторії польоту цивільного судна N522A, що забезпечуються авіакомпанією SCHUMACHER AVIATION LLC із тренувальними польотом в околі аеропорту Laconia, New Hampshire (LCI). Дата вильоту 16 грудня 2023 12:53 PM (EST). Дата посадки 16 грудня о 02:44 PM (EST). Політ завершився раніше на 8 хвилини від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Cirrus SR-22 (SR22).. Результатом обробки даних є побудовані графіки на рис. 4.4 - 4.10. А також визначення загального часу польоту рейсу N522A від 05 листопада 2022 року, що склав 1 год. 47 хв. 3 с, довжина траєкторії – 461.9 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 461.5 км.

## РОЗДІЛ 5.

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГОСЕРЕДОВИЩА

#### 5.1. Вплив БпАК на навколишнє середовище

У сучасному світі безпілотна авіація відіграє все важливішу роль у багатьох сферах життя, від комерції до розваг та наукових досліджень. Однак, поряд з величезним потенціалом, що відкривається завдяки безпілотним літальним апаратам, існують і серйозні виклики, особливо щодо впливу на навколишнє середовище. Цей аналіз зосереджується на розгляді екологічних наслідків авіаційних подій та інцидентів, пов'язаних з використанням БАС, підкреслюючи як негативні, так і потенційно позитивні аспекти цієї швидкозростаючої галузі.

Перш за все, треба розглянути, що саме входить до БпАК і що може нести потенційну небезпеку навколишньому середовищу. До комплексів належать не лише літальні апарати, а й станції наземного керування та інфраструктура транспортування і зберігання. В даному випадку найбільшого впливу на навколишнє середовище несе силова установка БПС, що може бути як на двигуна внутрішнього згорання так і на основі безколекторного мотора. В першому випадку система наносить прямої шкоди, оскільки згорання палива продукує викиди двоокису-вуглецю, в другому випадку шкода є опосередкованою, оскільки живлення мотора відбувається від акумулятора. Звичні користувачам БАС літій-іонні,-полімерні-ферофосфатні акумулятори містять в собі активний рідкоземельний метал літій. Використання цих акумуляторів викликає значні екологічні проблеми, пов'язані із видобутком і переробкою літію, а також утилізацією відпрацьованих акумуляторів[46]. Видобуток викликає значний ефект на навколишнє середовище оскільки, передбачає: ерозію ґрунту, використання великих обсягів води та хімічних речовин, що призводить до забруднення водних ресурсів і ґрунту. Повернувшись до використання, теж можна отримати значної шкоди ще й своєму здоров'ю, бо неналежне поводження з

відпрацьованими акумуляторами може призвести до витоку токсичних речовин. Тому, розробка та впровадження ефективних методів переробки та більш екологічно безпечних альтернатив є важливими завданнями для зменшення негативного впливу БАС на довкілля.[46]

До інших складових БпАК, що можуть представляти шкоду навколишньому середовищу також можна віднести:

а) його корпус, часто виготовляються з полімерів та композитних матеріалів, які можуть бути складними для переробки та тривалий час розкладаються у навколишньому середовищі.

Електронні компоненти: Плати, сенсори, та інші електронні компоненти містять різноманітні метали та хімічні речовини, які можуть бути токсичними при пошкодженні і потраплянні в ґрунт або воду.

Так само варто враховувати процес виробництва БпАК, оскільки то включає використання енергії та ресурсів, які супроводжуються викидами вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин.

Ці аспекти підкреслюють необхідність розробки більш екологічних матеріалів та методів виробництва, а також поліпшення процесів утилізації для

## **5.2. Особливості роботи операторів БпАК з огляду на діяльність підрозділу ДСНС.**

Штатний розклад підрозділу визначає, наявність на комплекс декількох техніків, водія і власне оператора, що являється командиром підрозділу.

Оператори БпАК виконують складні завдання, які вимагають одночасного спостереження за великою кількістю інформаційних сигналів та необхідності швидкого реагування на раптові зміни обстановки. Це ставить високі вимоги до їх уваги, концентрації, швидкості реакції та здатності до прийняття рішень. Важливими якостями для операторів БпАК є здатність до перемикання та концентрації уваги. Через високу напруженість праці та необхідність обробки великої кількості інформації, оператори зазнають значного психологічного

навантаження. Також оператори БпАК зазнають високого інтелектуального навантаження і тривалої роботою з відеодисплейними терміналами, що може викликати втомлення та зниження працездатності. За статистикою одного з досліджень діяльності військових операторів БпАК, як не можна згадувати, оператори в середньому сидять за монітором від 7 до 10 годин, що близько до робочої обстановки в підрозділі ДСНС за умов виконання задач із контролю лісових пожеж, тощо.

Враховуючи, що діяльність підрозділу зумовлює переміщення по території України і за кордон для виконання місій дуже різноманітним є мікроклімат робочого місця оператора, так само це залежить ввід від типу БПС і умов виконання завдання з пересувної НСК чи з переносної. Мікроклімат робочого місця тут може включати різноманітні погодні умови та фізичні обмеження.

Щодо психофізіологічного стану то оператори БпАК на час виконання місії і під час підготовок знаходяться у стані високої нервово-емоційної напруги через високу відповідальність та потенційні ризики пов'язані з їхньою роботою.

### **5.3 Формування підготовки зовнішніх пілотів/ операторів безпілотних авіаційних систем**

Льотну експлуатацію безпілотних авіаційних систем (БАС) виконують дистанційні пілоти, котрі відіграють ключову роль у забезпеченні безпечного використання цих систем. Обов'язки цих пілотів подібні до тих, що ставляться до льотчиків пілотованих повітряних суден, особливо у частині, що стосується дотримання законодавства та правил виконання польотів у різних країнах. Тому кваліфікація дистанційних пілотів БАС вимагає ретельного розгляду, адже для ефективного виконання цих нових видів польотів необхідні відповідні знання та навички.

В Україні Міністерством оборони затверджені Правила виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації. Ці правила розроблені з урахуванням стандартів та рекомендованої практики ІКАО та організації



Північноатлантичного договору (НАТО). Вони включають основні вимоги до дистанційних пілотів БАС, які повинні пройти повне теоретичне навчання, еквівалентне підготовці екіпажів пілотованих повітряних суден. До навчальної програми входить отримання базових знань з таких дисциплін:

- а) Структура та порядок використання повітряного простору України.
- б) Управління повітряним рухом (УПР) та правила польотів.
- в) Практична аеродинаміка.
- г) Конструкція БАС та їх льотна і технічна експлуатація.
- г) Повітряна навігація та авіаційна метеорологія.
- д) Порядок ведення радіозв'язку, включаючи авіаційну англійську мову (ІСАО, рівень 4).
- е) Виконання бойових та спеціальних завдань.
- є) Безпека польотів.

Цей перелік дисциплін співпадає з програмою підготовки майбутніх авіаційних фахівців, що підтверджує аналогію підготовки дистанційних пілотів БАС з підготовкою авіаційних фахівців.

У зв'язку з різноманітністю БАС, які відрізняються за своїми льотно-технічними характеристиками, силовими установками, цільовим спорядженням та складністю експлуатації, необхідно мати кваліфікованих фахівців, здатних майстерно керувати такими системами.

В жовтні 2021 року Міністерством економіки України було внесено зміни до Класифікатора професій, в результаті чого в Україні з'явилися нові авіаційні професії, такі як:

- а) Дистанційний (зовнішній) пілот БпЛА.
- б) Дистанційний командир БпЛА.
- в) Дистанційний пілот-випробувач БпЛА.
- г) Дистанційний пілот-інструктор БпЛА.

Ці нові професії стали відповіддю на швидкий розвиток технологій, особливо тих, що працюють без прямого втручання людини. Впровадження безпілотних авіаційних комплексів і систем в авіацію України сталося давно, але

лише тепер з'явилися відповідні професії. Тепер освітні заклади авіаційної галузі можуть готувати фахівців для цих спеціалізацій.

Підготовка дистанційних пілотів і операторів як у цивільній, так і військовій сферах, зазвичай складається з трьох етапів: теоретичного, тренажерного, та практичного.

## **Висновки до розділу 5**

Цей розділ присвячений безпеці навколишнього середовища і безпеці персоналу у сфері застосування БАС і БпАК, акцентуючи на їх екологічному впливі при виникненні інцидентів, психофізіологічному стані операторів, а також на необхідності якісної підготовки зовнішніх пілотів/операторів.

У першому пункті зазначено про необхідно враховувати не тільки безпосередній вплив двигунів БпАК, але й супутні процеси, такі як виробництво і утилізація акумуляторів. Видобуток і переробка літію, який є ключовим елементом для акумуляторів, може мати значні екологічні наслідки. Тому розвиток екологічно безпечних альтернатив та ефективних методів переробки є критично важливим.

У другому пункті розглянуто психофізіологічний стан операторів БпАК: Оператори БпАК дійсно відчують високий рівень психологічного та інтелектуального навантаження. Важливо забезпечити належні умови роботи, зокрема, враховуючи мікрокліматичні умови, щоб знизити рівень стресу та втоми, а також підтримувати високу працездатність.

Підготовка зовнішніх пілотів/операторів БАС: Навчання цих фахівців вимагає ретельного підходу, аналогічного тому, який використовується для пілотів пілотованих повітряних суден. Це охоплює широкий спектр дисциплін, включаючи аеродинаміку та безпеку польотів. Введення нових авіаційних професій в Україні відображає потребу в кваліфікованих спеціалістах для впорядкування цієї швидко розвиваючої галузі.

У цілому, для забезпечення сталого розвитку безпілотної авіації важливо зосередитися на екологічній безпеці, здоров'ї та благополуччі операторів, а також на розвитку високої якості підготовки та кваліфікації персоналу.

## ВИСНОВКИ

Значні переваги безпілотної авіації гарантовано визначають широке їх розповсюдження у більшість сфер діяльності людини. Тому, інтеграції безпілотних систем у керований повітряний простір займає важливе місце у порядку денному, куди необхідно включити і розробити комплекс рішень, де особливість безпілотних систем, пов'язана з віддаленістю дистанційного пілота грає ключову роль. За таких обставин оперативність прийняття рішення для уникнення можливих інцидентів прямо впливає на безпеку і ефективність. Окрім створення документів регулюючих дії дистанційних пілотів, оптимальним є створення систем підтримки прийняття рішення, що вже використовуються для різних ситуацій в пілотованій авіації. Саме тому під час виконання роботи було досліджено які саме бувають СППР, їх складові і недоліки. Мала адаптивність щодо і лінійність таких систем є перешкодою в обставинах де стрімко змінюються обставини.

Створення моделі системи потребувало дослідження предметної області задачі. Ґрунтуючись на рекомендаціях з «Керівництва користувача ДПАС» і «Загальних правилах польотів цивільної авіації в Україні», до переліку основних критеріїв, належать: складність метеоумов у повітряному просторі альтернативи, характеристики посадкового майданчика, наявність палива/енергії, дальність, можливість втрати зв'язку С2 згідно з електромагнітною обстановкою на маршрут польоту, важливість виконання цільової задачі. Враховуючи, що умови польоту в земній атмосфері мають значну кількість явищ, що неможливо або важко передбачити задача є стохастичною, тому при виборі варто покладатись на експертну думку, котра має достатні знання про обставини.

Рекомендації міжнародних організацій і властивості штучного інтелекту у галузі прийняття рішень створюють можливість обробити комплекс даних і рекомендувати рішення на його основі, знівелювавши людським фактором, прибравши лінійність і малу адаптивність щодо задач прийняття рішення в умовах невизначеності даної задачі. НМ, як яскравий представник штучного інтелекту

дозволяють завдяки їх «навчанню» не вибудовувати лінійних алгоритмів по шляхах рішення, а формувати знання про обставини і вибудовувати рішення вже на основі висновків самої системи.

Різні архітектури штучних НМ залежно від поставлених цілей можуть показувати різні кількісні і якісні результати. Остаточний аналіз привів, до рішення відкинути класичну повнозв'язну НМ, як в[26] через її низьку інтерпретативність і перевантаженість тренуваними параметрами, де кожен критерій кожної альтернативи повинен мати власний параметр. В той же час є згорткові НМ, котрі обмежуються параметрами сформованими у вигляді ознак з певної секції, в нашому випадку ознака формується щодо одного з критеріїв одночасно для всіх альтернатив, тим самим вибудовує залежність між ними. Згідно Рис. 3. Тільки 1 згортковий шар із активаційною функцією *softmax* показує цікаві для дослідження результати.

Збір даних на основі методу експертних оцінок щодо даної задачі є досить трудомістким і потребує окремого дослідження, саме тому для навчання НМ було використано синтетичні набори даних (Додаток Б), де експертну оцінку симульовано завдяки критеріям ПР в умовах невизначеності: Вальда, Севеджа, Лапласа, Гурвіца. Завдяки цим наборам було створено 5 моделей, де 5 використовувала змішані критерії. Створення 5 моделей дозволило перевірити реакцію НМ на кожне з припущень про невизначеність. Варто зазначити що за умов тільки тільки одного згорткового шару, припущення про «недостатню обґрунтованість» Лапласа, дало найвищу точність відтворення і найнижчі втрати, в той час як орієнтація на упущену вигоду за максимінним методом показала найнижчу точність і відповідні втрати прогнозування. Припускаю, що в першому випадку, мала місце деяка надмірна апроксимація, оскільки виділення ознаки і визначення оптимуму за критерієм лапласа є близькими за рішенням.

Створивши модель на основі одного згорткового шару, не варто було очікувати високої точності відтворення, тому за тим було проведено процеси оптимізації навчання і самої моделі шляхом автоматичного і експериментального підбору параметрів. В цьому допомогли методи Keras: автоматичне налаштування

епох, батчів дозволили уникнути перенавчання НМ. Провівши оптимізацію шляхом збільшення кількості повнозв'язних шарів до 3, правильність відтворення зросла до 84% , а втрати прогнозування впали до 0,32, що в порівнянні з складнішою моделлю[30], є дуже хорошим результатом.

Остаточна перевірка прогнозуванням, показала, що майже всі моделі, на наборі даних як в[11] показали однаковий результат із 42% точністю прогнозування, що означає ймовірність оптимальності конкретно цього варіанту. За такого результату варто продовжувати дослідження щодо НМ і покращувати модель для підвищення точності прогнозування. Перш за все варто розглянути складні розгалужені моделі, як дослідженнях[30,31]. Задачі тут подібні, але мають інше призначення і в той же час показують кращі показники точності.

Створена модель інтелектуальної системи прийняття рішення, хоч і з простою архітектурою, вона показала відносно хороші кількісні показники при рекомендації оптимального місця для посадки. Це дозволяє стверджувати, що використання даного методу є доцільним, проте вимагає детального вивчення . В той же час розглянута лише одна ситуація, що не розкриває можливості методу сповна. Через, що виникає потреба проведення широкого спектру досліджень у зрізі сфери авіаційного рішення і НМ, для створення універсальних і дружніх до користувача систем на основі штучного інтелекту. Також для використання цього методу повноцінно, варто провести ґрунтовний збір експертних даних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

овітряний кодекс України : Кодекс України від 19.05.2011 р. № 3393-VI : станом на 2

по затвердження Правил метеорологічного забезпечення польотів державної авіації України : Наказ М-ва оборони України від 29.09.2015 р. № 516 : станом на ж

системи і методи підтримки прийняття рішень : підручник / П. І. Бідюк та ін. Київ в

т

н

щ

р

Lo M., Hugenholtz C., Fox T. Weather constraints on global drone flyability. Springer Nature, Науковий звіт, 2021. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91325-w> (дата звернення: 27.06.2023).

Exploring the range of weather impacts on UAS operations. Range and Aerospace Meteorology : 18th Conference on Aviation, м. Seattle, WA, 1 січ. 2017 р. Colorado, HYPERLINK

к

т

п

10. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України: Наказ М-ва оборони України від 08.12.2016 р. № 661 : станом на 11 лют. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> (дата звернення: 25.06.2023).

11. Organization of a safe and efficient system of air transportation in and around an urban area using Unmanned Aerial Vehicles / T. F. Shmelova, V. D. Stovba, et al. DESSERT'2022: The 12th IEEE International Conference on Dependable Systems, Athens, 9–11 December 2022.

в

н

е

с

д

арченко В., Шмельова Т., Сікірда Ю. Теорія і практика прийняття рішення : Навч. посіб. Київ : Нац. авіац. ун-т, 2017. 393 с.

13. Potential of Artificial Intelligence in Air Traffic Management (ATM). In: Thirteenth A

14. On common rules in the field of civil aviation and establishing a European Union Aviation Safety Agency, and amending Regulations (EC) : Regulation of 04.07.2018 no. 2018/1139. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_027-18#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_027-18#Text).

15. What is U-space. EASA Pro. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/what-u-space>.

16. Закони про дрони в США. TS2 SPACE. URL: <https://ts2.space/uk/закони-про-дрони-в-сша/#gsc.tab=0>.

17. General Aviation Accident Dashboard: 2012-2021. NTSB. URL: <https://www.nts.gov/safety/data/Pages/GeneralAviationDashboard.aspx>.

Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України» : Наказ Держ. авіац. служби України від 11.05.2018 р. № і

Н

гальних правил польотів у повітряному просторі України : Наказ від 06.02.2017

У  
р  
р

рограмне забезпечення моделювання систем цивільної авіації : Навч. посіб. / М. К.

Філяшкін та ін. Київ : Принт-центр, 2017. 256 с. URL:

<https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/52667/1/%D0%9F%D0%97%D0%9C%D0%A1%D0%A6%D0%90.pdf>

Н

годи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник для студентів напряму

К.

підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» / Уклад. : А.С. Савченко, О. О.

Р

Синельніков. – К. : НАУ, 2017. – 190 с.. URL:

[https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/40676/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%88%D1%82%D1%83%D1%87%D0%B%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%20\\_%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%8%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD.pdf](https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/40676/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D1%88%D1%82%D1%83%D1%87%D0%B%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%20_%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%8%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD.pdf)

С

А

О



22. Giocoli N. Savage vs. Wald: Was Bayesian Decision Theory the Only Available Alternative for Postwar Economics?. SSRN Electronic Journal. 2004. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.910916> URL: [ypdf.ssrn.com/delivery.php?ID=221000002093120074122113109102067009026035041077088070077008093068093076121081099113107032044](http://pdf.ssrn.com/delivery.php?ID=221000002093120074122113109102067009026035041077088070077008093068093076121081099113107032044)
23. Developing a Framework for the Optimization Processes of Logistics Costs: A Hurwitz Criterion Approach / X. Yan та ін. SAGE Open. 2021. Т. 11, № 4. С. 215824402110544. URL: <https://doi.org/10.1177/21582440211054499>.
24. Train K. E. Discrete Choice Methods with Simulation. 2-ге вид. Cambridge University Press, 2009. 388 с. URL: <https://eml.berkeley.edu/books/train1201.pdf>
25. Нестеренко О., Ковтунець О., Фаловський О. Інтелектуальні системи і технології : Навч. Посіб. К.: Національна академія управління, 2017. 90 с. URL: <https://nam.kyiv.ua/files/publications/nester-kovt-fal-2-ostanna.pdf>
- товба В. Д., Шмельова Т. Ф. Інтелектуальна СППР оператора БАС: посадка в складних метеорологічних умовах. XIV всеукраїнська науково-технічна конференція «Сталий розвиток систем зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM - 2023 », Київ, 29 листопада 2023 р. К.: Н
27. AI vs. Machine Learning vs. Deep Learning vs. Neural Networks: What's the difference?. IBM Blog. URL: <https://www.ibm.com/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks/> (дата звернення: 21.12.2023).
28. Issues of Artificial Intelligence Application in Digital Marketing. DMI 2023 : 2nd International Conference, м. Сеул, 1 серп. 2023 р. Сеул, 2023. С. 52–59. URL: <https://doi.org/10.3233/FAIA230716>.
29. Léopold E. AI IN AVIATION. IATA, 1. 20 с. URL: <https://www.iata.org/contentassets/2d997082f3c84c7cba001f506edd2c2e/ai-white-paper.pdf>.
30. Castañón J. 10 Machine Learning Methods that Every Data Scientist Should Know. DATA SCIENCE IN THE REAL WORLD. URL: <https://towardsdatascience.com/10-machine-learning-methods-that-every-data-scientist-should-know-3cc96e0eccc9>

a

b

i

31. Hassan M., Hamada M. Evaluating the performance of a neural network-based multi-criteria recommender system. *International Journal of Spatio-Temporal Data Science*. 2019. T. 1, № 1. С. 54. URL: <https://doi.org/10.1504/ijstds.2019.097617>
32. Baheti P. The Essential Guide to Neural Network Architectures. V7 | The AI Data Engine for Computer Vision & Generative AI. URL: <https://www.v7labs.com/blog/neural-network-architectures-guide>.
33. Baheti P. Activation Functions in Neural Networks [12 Types & Use Cases]. V7 | The AI Data Engine for Computer Vision & Generative AI. URL: <https://www.v7labs.com/blog/neural-networks-activation-functions>.
- мельова Т., Шаптала С., Стовба В. Моделі прийняття рішень при управлінні потоками БПЛА. АВІА 2023 : Міжнар. науково-техн. конф., м. Київ, 18 квіт. 2023 р. Київ, 2023. URL: <https://conference.nau.edu.ua/index.php/AVIA/AVIA2023/paper/view/9725/7623>
- neural-embedded discrete choice model: Learning taste representation with strengthened interpretability / Y. Han та ін. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2022. Т. 163. С. 166–186. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.102783>
- performance / I. Arkoudi та ін. *Transportation Research*. 2023. Part B: Methodological, № 175. С. 21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2023.102783>.
37. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. *Aviation*. 2022. № 26(1). P. 1-10 DOI: 10.3846/aviation.2022.16589.
38. Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S. An airspace analysis according to area navigation requirements. *Aviation*. 2019. № 23(2). P. 36-42 DOI: 10.3846/aviation.2019.10302 .
39. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Statistical Analysis and Flight Route Extraction from Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Data. 2022 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2022. P. 1-9. DOI: 10.1109/ICNS54818.2022.9771515.

40. Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322-334.

41. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Probability Estimation of Aircraft Departures and Arrivals Delays. Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science. 2021. № 12950. P. 363-377 DOI: 10.1007/978-3-030-86960-1\_26 .

42. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. . UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102671-7.10150-2. ISBN: 9780081026717.

l

Navigation analysis. Visualization of airplane trajectory based on ADS-B data messages.

Електронний ресурс]. URL: [https://www.ostroumov.sciary.com/codes\\_airplane-h](https://www.ostroumov.sciary.com/codes_airplane-h)

t

астосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту:

монографія / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко, В.В.Хижняк, В.Л.

Шевченко, Д.М. Ядченко. Київ, 2022, 312 с. URL:

<https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/1/0/7/9/1/6/5/eSLU7FcmeJYIEPehdm0I1l3Cn39Bi>

4BM1l3IedcX.pdf

.

О

ф

і

ц

і

й

н

и

й

## Код реалізації моделі нейронної мережі для вибору оптимального аеродрому посадки

```

def DCM_NN(criteria_num, objects_num, activation= 'softmax'):
#Створення екземпляра тензора розмірністю 6*5*1 2D матриці
#де кожен наступний горизонтальний ряд представляє набір критеріїв щодо котрогось із
об'єктів
    main_input = Input(shape=(criteria_num, objects_num, 1))
# згортковий шар із фільтром розмірністю в кількість критеріїв одного об'єкта
# виділяє одну чисту лінійну ознаку
    utilities = Conv2D(filters= 1, kernel_size= [criteria_num,1],
padding='valid',use_bias= True, trainable= True)(main_input)
#перетворює формат тензора у прийнятний для функції активації.
    utilitiesR = Reshape([objects_num])(utilities)
    dense_layer1 = Dense(units=5, activation='softmax', use_bias=True) (utilitiesR)
    dense_layer2 = Dense(units=5, activation='softmax', use_bias=True)
(dense_layer1)
    #dense_layer3 = Dense(units=5, activation='softmax', use_bias=True)
(dense_layer2)
    dense_layer = Dense(units=5, activation='softmax', use_bias=True) (dense_layer2)
#softmax активація.
    logits = Activation(activation)(dense_layer)
    #logits = Activation(activation)(utilitiesR)
#Створення екземпляра функціональної моделі
    model = Model(inputs= main_input, outputs = logits)
    print(model.summary())
    return model

#Компіляція моделі
def build_model(hp):
    model = DCM_NN(6, 5, activation='softmax') # Побудова моделі
    hp_learning_rate = hp.Choice('learning_rate', values=[1e-2, 1e-3, 1e-4])

    model.compile(optimizer = Adam(learning_rate=hp_learning_rate),
metrics=['accuracy'], loss='categorical_crossentropy')
    return model

#Автоматизована оптимізація навчання моделі
def Train(fileInputName, train_data_name, saveName = ''):

    tuner = kt.Hyperband(build_model,
        objective='val_accuracy',
        max_epochs=10, # Максимальна кількість епох для
гіперпараметрів
        factor=3,
        directory='hyperParams',
        project_name='tuner')

```

```

stop_early = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=5)

train_data = np.load(train_data_name)
train_labels = train_data[:, -1, :]
train_data = np.delete(train_data, -1, axis = 1)
train_data = np.expand_dims(train_data, -1)
#нідібп рінепнапараметрів

tuner.search(train_data, train_labels, epochs=50, validation_split=0.2,
callbacks=[stop_early])
best_hps = tuner.get_best_hyperparameters(num_trials=1)[0]

print(f"optimal learning rate for the optimizer is
{best_hps.get('learning_rate')}.")

model = tuner.hypermodel.build(best_hps)
history = model.fit(train_data, train_labels, epochs=50, validation_split=0.2)
val_acc_per_epoch = history.history['val_accuracy']
best_epoch = val_acc_per_epoch.index(max(val_acc_per_epoch)) + 1
print('Best epoch: %d' % (best_epoch,))

hypermodel = tuner.hypermodel.build(best_hps)
hyperhistory = hypermodel.fit(train_data, train_labels, epochs=best_epoch,
validation_split=0.2)

hypermodel.save('models/' + fileInputName + '_' + saveName + '.keras')

loss, accuracy = model.evaluate(train_data, train_labels)
print(fileInputName)
print(f'Loss: {loss}')
print(f'Accuracy: {accuracy}')

return saveName

Train('Hurvitz', 'data/train_data_Hurvitz.npy', 'Landing_place_v1' )
Train('Vald', 'data/train_data_Vald.npy', 'Landing_place_v1' )
Train('Sevidje', 'data/train_data_Sevidje.npy', 'Landing_place_v1' )
Train('Laplas', 'data/train_data_Laplas.npy', 'Landing_place_v1' )
Train('mixed', 'data/train_data_mixed.npy', 'Landing_place_v1' )

```

## Код програмного модуля для створення набору навчальних даних нейронної мережі

```

import numpy as np
#Розміри матриці навчального набору
width = 7 # Критерії + результат
height = 5 #Кількість об'єктів
depth = 5000 #Кількість навчальних наборів

def Generate():
    train_data = np.zeros((depth, height, width))
    for i in range(depth):
        for j in range(height):
            for k in range(width - 1):
                train_data[i, j, k] = np.random.randint(1, 11)
    return train_data

def Vald(train_data,start, stop):
    min = np.zeros((height))
    for i in range(start,stop):
        for j in range(height):
            min[j] = np.min(train_data[i, j, :6])
            if j+1 == height:
                minimax_index = np.argmax(min)
                train_data[i, :, width - 1] = 0
                train_data[i, minimax_index, width-1] = 1

    return train_data

def Savage(train_data,start, stop):
    max = np.zeros((height))
    for i in range(start,stop):
        for j in range(height):
            max[j] = np.max(train_data[i, j, :6])
            if j+1 == height:
                maximin_index = np.argmin(max)
                train_data[i, :, width - 1] = 0
                train_data[i, maximin_index, width-1] = 1
        #print(train_data[i, :, :])
        #print(max)
    return train_data

def Hurvitz(train_data,start, stop):
    Hur = np.zeros((height))
    alpha = 0.5
    for i in range(start,stop):
        for j in range(height):
            Hur[j] = alpha*np.max(train_data[i, j, :6])+ ((1-
alpha)*np.min(train_data[i, j, :6]))

```

```

        if j+1 == height:
            row_with_max = np.argmax(Hur)
            #print(i, "-", row_with_max)
            train_data[i, :, width - 1] = 0
            train_data[i, row_with_max, width-1] = 1
        #print(train_data[i, :, :])
        #print(Hur)
    return train_data

def Laplas(train_data,start, stop):
    aver = np.zeros((height))
    for i in range(start,stop):

        for j in range(height):
            aver[j] = (np.sum(train_data[i, j, :6]))/(width-1)

            if j+1 == height:
                row_with_max = np.argmax(aver)
                train_data[i, :, width - 1] = 0
                train_data[i, row_with_max, width-1] = 1
            #print(train_data[i, :, :])
            #print(aver)
    return train_data

def mixed(train_data, interval):
    Data = train_data
    count = interval
    Data = Laplas(Data,0,interval-1)
    for i in range(interval, depth):
        if count % interval == 0: # Зміна критерію кожні "interval" значень
            if count // interval == 1:
                Data = Vald(Data,i,i+interval)
            elif count/interval == 2:
                Data = Savage (Data,i,i+interval)
            elif count/interval == 3:
                Data = Hurvitz(Data,i,i+interval)
            elif count/interval == 4:
                Data = Laplas(Data,i,i+interval)
            count=0
        count += 1
    return Data

train_data = Generate()
np.save('train_data_Vald.npy', np.transpose(Vald(train_data,0,depth), axes=(0, 2, 1)))
np.save('train_data_Savage.npy', np.transpose(Savage(train_data,0,depth), axes=(0, 2, 1)))
np.save('train_data_Hurvitz.npy', np.transpose(Hurvitz(train_data,0,depth), axes=(0, 2, 1)))
np.save('train_data_Laplas.npy', np.transpose(Laplas(train_data,0,depth), axes=(0, 2, 1)))

```

```
np.save('train_data_mixed.npy', np.transpose(mixed(train_data, 100), axes=(0, 2, 1)))
test_data = Generate()
np.save('test_data_Vald.npy', np.transpose(Vald(test_data,0,1000), axes=(0, 2, 1)))
np.save('test_data_Savage.npy', np.transpose(Savage(test_data,0,1000), axes=(0, 2, 1)))
np.save('test_data_Hurvitz.npy', np.transpose(Hurvitz(test_data,0,1000), axes=(0, 2, 1)))
np.save('test_data_Laplas.npy', np.transpose(Laplas(test_data,0,1000), axes=(0, 2, 1)))
np.save('test_data_mixed.npy', np.transpose(mixed(test_data, 1000), axes=(0, 2, 1)))
```



## Код програмного модуля для презентації результату рекомендації

```

import numpy as np
from keras.models import Model
OBJ = 5
CRIT = 7
Test_data = np.array([[1, 2, 9, 8, 9, 1],[10,9, 8, 1, 4, 8],[8,8, 6, 7, 7, 4],[9,9,
6, 3, 7, 6],[8, 8, 6, 6, 8, 5]])
prev = Test_data
# Додати нову вісь для створення тензора
Test_data = np.expand_dims(Test_data, axis=-1)
# Додати вісь партії (батчу)
Test_data = np.expand_dims(Test_data, axis=0)
# Перевірити розмірність
print("Матриця експертних оцінок:")
print(prev)
def show(test_data_name):
    if(test_data_name == 'Hurvitz'):
        print("Результат вибору за методом Гурвіца")
        print(Hurvitz(prev))
        print("Пропозиція НМ навченої за даними на основі Гурвіца")
    elif(test_data_name == 'Vald'):
        print("Результат вибору за методом Вальда")
        print(Vald(prev))

        print("Пропозиція НМ навченої за даними на основі Вальда")
    elif(test_data_name == 'Sevidje'):
        print("Результат вибору за методом Севіджа")

        print(Sevidje(prev))
        print("Пропозиція НМ навченої за даними на основі Севіджа")
    elif(test_data_name == 'Laplas'):
        print("Результат вибору за методом Лапласа")
        print(Laplas(prev))

        print("Пропозиція НМ навченої за даними на основі Лапласа")
    elif(test_data_name == 'mixed'):
        print("Пропозиція НМ навченої за даними на основі змішаних даних")

    loaded_model = keras.saving.load_model('models/'+ test_data_name +
'_Landing_place_v1.keras')
    arr = loaded_model.predict(np.transpose(Test_data))
    print(arr)
    print(np.argmax(arr)+1)

show('Vald')
show('Sevidje')
show('Laplas')
show('Hurvitz')
show('mixed')

```