

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

_____ В.Ю. Ларін

«__» _____ 2023 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ»

Тема: «Інтелектуальна СППР. Спільні прийняття рішень в аварійній ситуації «Відмова шасі»»

Виконав: _____ **І.С. Мар'єнков**

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

Керівник спеціального розділу: д-р техн. наук, проф. _____ **Т.Ф. Шмельова**

Нормоконтролер _____ **Г.Ф. Аргунов**

Київ 2023

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра аеронавігаційних систем
Навчальний ступінь «Магістр»
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»
Освітньо-професійна програма «Обслуговування повітряного руху»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, професор

_____ В. Ларін

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання дипломної роботи
МАР'ЄНКОВА ІЛІІ СЕРГІЙОВИЧА

1. Тема дипломної роботи: **«Інтелектуальна СППР. Спільні прийняття рішень в аварійній ситуації «Відмова шасі»»** затверджена наказом ректора від "28" серпня 2023 р. № 1443/ст.
2. Термін виконання проекту: 23.10.2023 – 31.12.2023
3. Вихідні дані до проекту: теоретичні дані керівних документів Міжнародної організації цивільної авіації та національних документів України у сфері забезпечення та виконання польотів цивільних повітряних суден.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз дій авіадиспетчера при виникненні аварійної ситуації у польоті. Аналіз методів, які використовуються для спільного прийняття рішення. Система підтримки прийняття рішень авіадиспетчера для прийняття рішень в аварійній ситуації та моделювання спільних рішень. Дослідження ефективності системи підтримки прийняття рішень. Охорона праці та охорона навколишнього середовища в авіації.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 23 рисунків, 32 таблиць.

Календарний план-графік

Дата видачі завдання: «_23_» _жовтня_ 2023 року

Завдання	Терміни виконання	Відмітка про виконання
Підготовка та написання 1 розділу «Аналіз дій авіадиспетчера при виникненні аварійної ситуації у польоті»	23.10.23-30.10.23	Виконано
Підготовка та написання 2 розділу «Методи, які використовуються для спільного прийняття рішення»	30.10.23-07.11.23	Виконано
Підготовка та написання 3 розділу «Система підтримки прийняття рішень авіадиспетчера для прийняття рішень в аварійній ситуації та моделювання спільних рішень»	07.11.23-14.11.23	Виконано
Підготовка та написання 4 розділу «Ефективність системи підтримки прийняття рішень»	14.11.23-21.11.23	Виконано
Підготовка та написання 5 розділу «Охорона праці та охорона навколишнього середовища в авіації»	21.11.23-28.11.23	Виконано
Оформлення пояснювальної записки та ілюстрованого матеріалу	28.11.23-12.12.23	Виконано
Попередній захист дипломної роботи	12.12.23	

6. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	Д-р техн. наук, проф. Шмельова Т.Ф.	23.10.2023	21.11.2023

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

(підпис керівника) (прізвище, ім'я, по батькові)

Завдання прийняв до виконання:

_____ Мар'єнков І.С.

(підпис студента) (прізвище, ім'я, по батькові)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Інтелектуальна СППР. Спільні прийняття рішень в аварійній ситуації «Відмова шасі»»: 23 рисунків, 32 таблиць, 35 використане джерело.

Об'єкт дослідження – технологія рекомендованих дій диспетчера ОПР в аварійних ситуаціях (відмова шасі під час зльоту).

Предмет дослідження – моделювання процесу прийняття рішень диспетчера ОПР у разі відмови шасі під час зльоту.

Мета роботи – побудова системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера у разі відмови шасі під час зльоту та моделювання спільного прийняття рішень для подальшого вдосконалення ситуаційної обізнаності та процесу прийняття рішень авіаційного персоналу.

Метод дослідження – теоретичні методи, математичне та комп'ютерне моделювання, розрахунки.

Дипломна робота зосереджена на проведенні аналізу даних отриманих за допомогою опитування експертів та побудові на основі цих даних інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, яка враховує спільне прийняття рішень. Основним прикладом використання системи є прийняття рішення на продовження польоту, аварійну посадку на запасному аеродромі чи повернення на аеродром вильоту.

За умови настання тієї чи іншої аварійної ситуації задля забезпечення безпеки польотів виникає необхідність прийняття обґрунтованого та оптимального рішення для мінімізації ризиків та небажаних наслідків, ефективним інструментом для вирішення аварійної ситуації є інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (ІСППР).

ВІДМОВА ШАСІ ПІД ЧАС ЗЛЬОТУ, АВАРІЙНА СИТУАЦІЯ, ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ, МЕТОД ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК, БЕЗПЕКА ПОЛЬОТІВ, СПІЛЬНЕ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

Список аббревіатур	9
Вступ	10
Розділ 1. Аналіз дій авіадиспетчера при виникненні аварійної ситуації у польоті.....	12
1.1. Аналіз авіаційних інцидентів на основі даних міжнародних організацій та авіакомпаній.....	12
1.2. Проблема з шасі як особливий випадок у польоті.....	15
1.3. Аналіз дій авіадиспетчера у разі виникнення аварійної ситуації «Проблема з шасі».....	18
1.4. Приклади авіаційних подій, де виникла проблема з шасі під час зльоту.....	20
Висновок до розділу 1	22
Розділ 2. Методи, які використовуються для спільного прийняття рішення.....	23
2.1. Метод експертного оцінювання	23
2.2. Метод мережевого аналізу прийняття рішень авіадиспетчером в разі виникнення аварійної ситуації у польоті за допомогою детермінованих моделей	28
2.3. Прийняття рішень авіадиспетчером в умовах невизначеності	32
2.3.1 Критерій Вальда	34
2.3.2 Критерій Лапласа	35
2.3.3 Критерій Севіджа	35
2.3.4 Критерій Гурвіца	36
2.4. Загальний алгоритм спільного прийняття рішень операторами в аварійній ситуації в польоті.....	37
Висновок до розділу 2	42
Розділ 3. Система підтримки прийняття рішень авіадиспетчера	

для прийняття рішень в аварійній ситуації та моделювання спільних рішень.....	43
3.1. Визначення поняття СППР	43
3.2. Формування бази моделей в СППР для ПР в умовах визначеності, ризику і невизначеності	46
3.2.1. Моделювання ПР в умовах визначеності за методом мережевого планування.....	47
3.2.2. Сумісне прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності.....	50
3.2.3. Моделювання сумісного прийняття рішення операторами аеронавігаційної системи в умовах нестохастичної невизначеності.....	53
3.3. Програмна реалізація системи підтримки прийняття рішення.....	55
3.4. Реалізація розрахунків за допомогою мови програмування Python (Jupyter Notebook).....	59
3.5. Методичні рекомендації для розробки тренінгу CDM-E.....	63
Висновок до розділу 3	67
Розділ 4. Ефективність системи підтримки прийняття рішень	68
4.1. Багатокритеріальна оцінка системи підтримки прийняття рішення.....	68
4.2. Кореляційно-регресивний аналіз	75
4.3. Прийняття рішення про інвестування в умовах невизначеності.....	77
4.4. Розробка бізнес-плану для інвестування впровадження системи підтримки прийняття рішень.....	80
Висновок до розділу 4	83
Розділ 5. Охорона праці та охорона навколишнього середовища в авіації.....	84
5.1. Забруднення навколишнього середовища наземними джерелами	

авіаційного транспорту	84
5.2. Забруднення навколишнього середовища повітряними джере- лами авіаційного транспорту	85
5.3. Особливості забруднення ґрунтового покриву.....	85
5.4. Організація праці на робочому місці.....	88
5.5. Оснащення робочого місця.....	89
5.6. Вибір оптимального режиму роботи і відпочинку.....	91
Висновок до розділу 5	93
Загальні висновки	95
Список використаної літератури	97

СПИСОК АБРЕВІАТУР

ATC – Air Traffic Control

ATM – Air Traffic Management

ATS – Air Traffic Service

DM – Decision-Making

EUROCONTROL – The European Organisation for the Safety of Air Navigation

FAA – Federal Aviation Administration

FPL – Flight Plan

IATA – International Air Transport Association

ICAO – International Civil Aviation Organization (міжнародна організація цивільної авіації)

АД – Аеродром

ЗПС – Злітно-посадкова смуга

ОПР – Обслуговування повітряного руху

ПР – прийняття рішення

ПС – Повітряне судно

СППР – Система підтримки прийняття рішень

УПР – Управління повітряним рухом

ВСТУП

Сучасна авіаційна індустрія стикається зі зростаючими вимогами до безпеки та ефективності в умовах аварійних ситуацій. Збільшення обсягу повітряного трафіку, постійний технологічний прогрес та зростання складності систем авіаційного устаткування створюють нові виклики для авіадиспетчерів. У таких критичних ситуаціях, коли кожна секунда та кожне прийняте рішення мають вирішальне значення, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень стають невід'ємною складовою авіаційного сектору.

Розробка і впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) стає важливим завданням, спрямованим на підвищення якості процесу прийняття рішень авіадиспетчерами. Ці системи забезпечують авіадиспетчерів необхідними інструментами, моделями та аналітичними даними для ефективного оцінювання ситуації та прийняття оптимальних рішень. СППР здатні працювати в режимі реального часу, враховувати багатоваріантність ситуацій та надавати рекомендації, що базуються на зібраних даних, експертному знанні та моделях спільного прийняття рішень.

Використання СППР дозволяє знизити ризик помилкових рішень, підвищити точність та швидкість реагування в аварійних ситуаціях, а також покращити координацію та комунікацію між авіадиспетчерами та іншими учасниками авіаційного процесу. Інтеграція інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в авіаційну інфраструктуру сприяє підвищенню загальної безпеки та ефективності в польотах, а також забезпечує покращення якості обслуговування пасажирів та оптимізацію ресурсів авіакомпаній.

Розробка і впровадження СППР є необхідними кроками для забезпечення оптимальних дій авіадиспетчерів у критичних аварійних ситуаціях. Ці системи допомагають авіаційній індустрії забезпечити безпеку, ефективність та надійність в польотах, сприяючи покращенню процесу прийняття рішень та підвищенню рівня координації та комунікації.

Темою даної дипломної роботи є "Інтелектуальна СППР. Спільні прийняття рішень в аварійній ситуації «Відмова шасі»". Основною метою дослідження є розробка і реалізація СППР та моделювання спільного прийняття рішень, що дозволить авіадиспетчерам приймати ефективні рішення в умовах невизначеності та стресових обставин, пов'язаних з відмовою шасі під час зльоту.

Задачі:

- Проаналізувати статистику авіаційних подій, пов'язаних з проблемами з шасі;
- Дослідити алгоритм дій авіадиспетчера у разі виникнення проблем з шасі;
- Дослідити взаємодію всіх операторів, які задіяні в ситуації з проблемою з шасі;
- Побудувати моделі прийняття рішень в умовах визначеності, невизначеності та ризику для всіх операторів для наповнення бази моделей СППР;
- Зробити програмну реалізацію отриманих моделей;
- Зробити оцінку ефективності СППР.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДІЙ АВІАДИСПЕТЧЕРА ПРИ ВИНИКНЕННІ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ У ПОЛЬОТІ

1.1. Аналіз авіаційних інцидентів на основі даних міжнародних організацій та авіакомпаній

У 2022 році спостерігалося значне зростання авіаперельотів порівняно з 2021 роком, оскільки більшість урядів скасували або пом'якшили обмеження на подорожі, пов'язані з COVID-19. Загальна кількість виконаних рейсів сягнула трохи більше 32 мільйонів, що на 25% більше, ніж у 2021 році. Однак ця кількість все одно була на 31% нижчою, ніж у 2019 році[3].

В комерційній авіації у 2022 році було загалом 39 аварій, проти 29 аварій у 2021 році. Загальний рівень аварій зріс з 1,13 аварій на мільйон польотів у 2021 році до 1,21 аварій у 2022 році. У середньому одна аварія припадала на 826 088 рейсів[3].

Що стосується аварій зі смертельними наслідками, у 2022 році було п'ять інцидентів зі смертельними наслідками порівняно з семи у 2021 році. Відповідно, рівень аварій зі смертельними наслідками покращився з 0,27 на мільйон рейсів у 2021 році до 0,16 у 2022 році[3].

Категорії інцидентів у 2022 році за кількістю не смертельних інцидентів (рис. 1.1).

Несприятливі погодні умови зіграли роль у 31% цих аварій. Серед погодних умов - вітер/зсув вітру/шквальний вітер і грози були найчастіше зазначеними сприяючими факторами, на які припадає 18% аварій[3].

У 21% аварій причина була у несправності літаків[3].

Несправності шасі/шин були визначені як причини, що сприяють 15% аварій[3].

Недотримання стандартних операційних процедур (SOP) спричинило 26% аварій, тоді як помилки ручного керування та керування польотом спричинили 21% аварій[3].

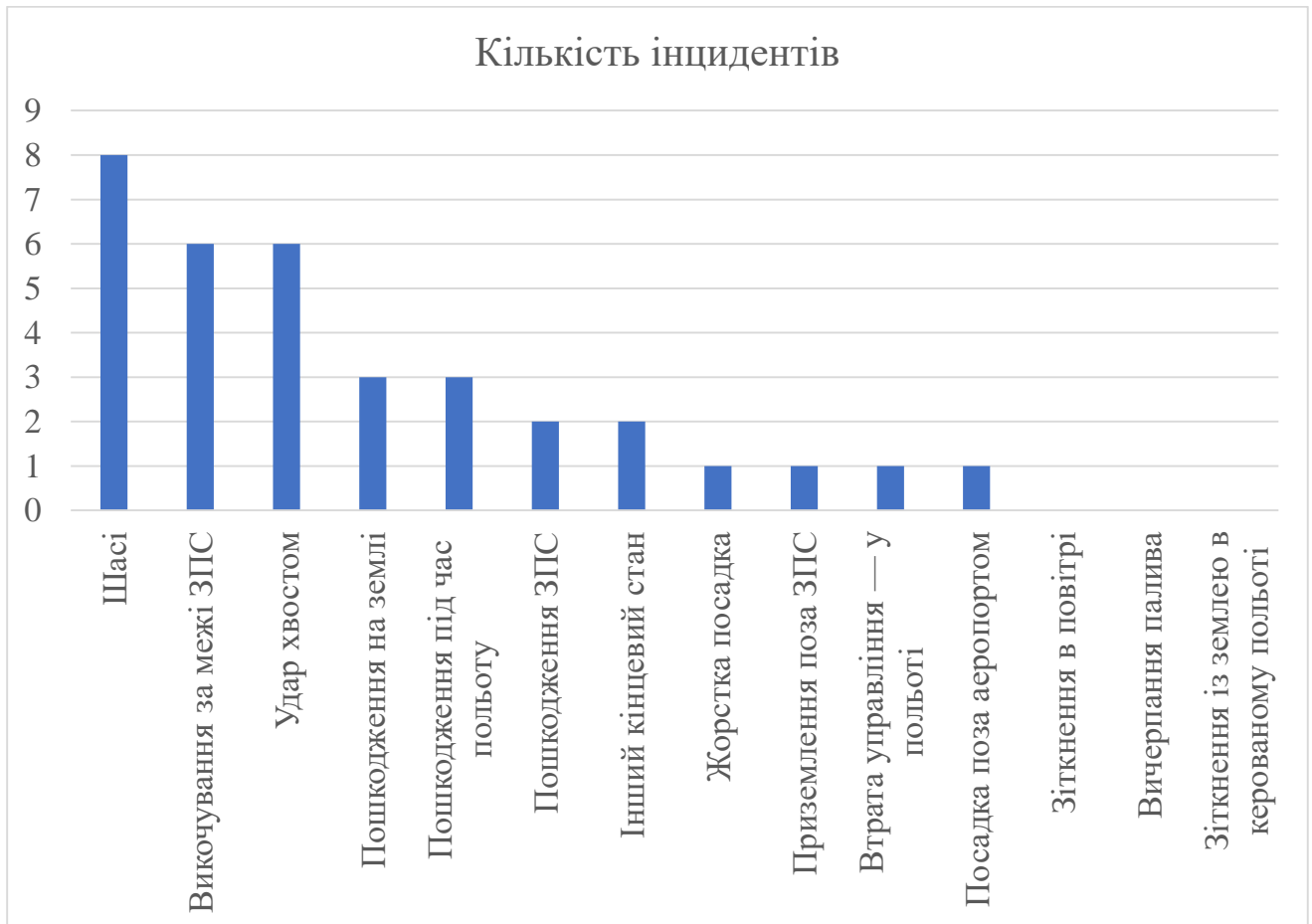


Рисунок 1.1 – Кількість інцидентів за категоріями їх виникнення у 2022 році

Різде керування літаком, а також вертикальні, бічні відхилення або відхилення швидкості були причинами 15% аварій. Також були нестабільні заходи на посадку, що стало причиною 13% аварій[3].

Недостатні управлінські рішення, включно з нормативними рішеннями, були причиною 10% аварій, і недоліки в операціях з технічного обслуговування вказувалися в такому ж відсотку аварій[3].

Загальна продуктивність екіпажу, включаючи відсутність моніторингу та перехресної перевірки, сприяла 13% аварій. Прийняття рішень під час польоту відіграло роль у 11% аварій [3].

Варто звернути увагу і на статистику інцидентів від стадії польоту (рис. 1.2).

На етап посадки (Landing) згідно даних IATA за 2005-2022 роки припадає 724 інцидента, на етап зльоту (Take off) – 116, підходу (Approach) – 111, на

початковий етап набору висоти (Initial climb) – 84. Таким чином легко побачити великий розрив в кількості інцидентів, які відбуваються на етапі посадки, від кількості інцидентів на інших етапах[3].

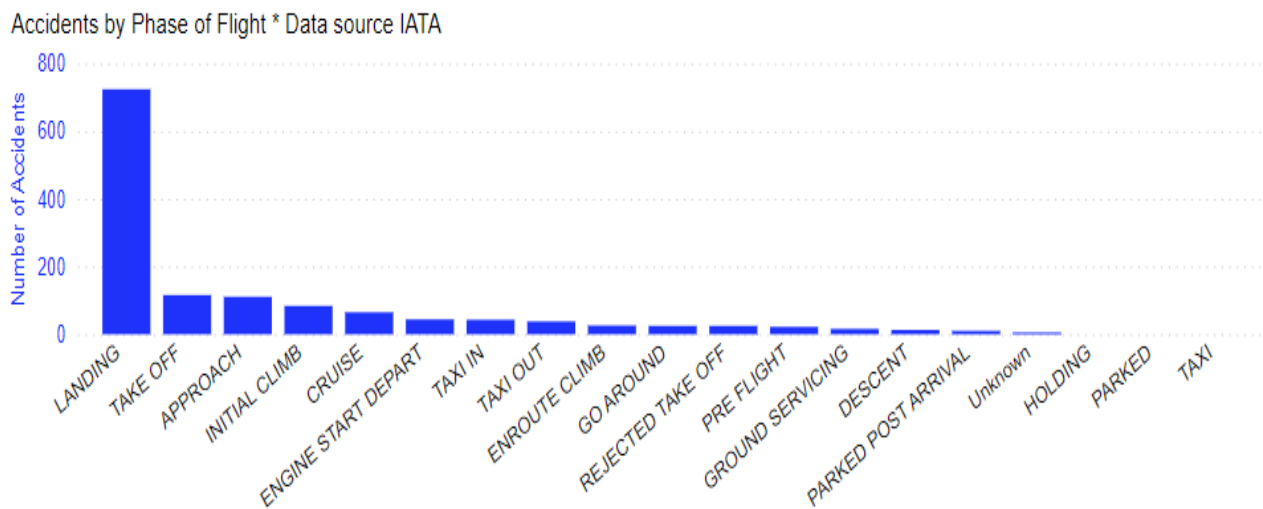


Рисунок 1.2 – кількість інцидентів в залежності від стадії польоту

Свою окрему статистику веде авіакомпанія Boeing, яка щорічно її публікує у відкритий доступ (рис. 1.3).

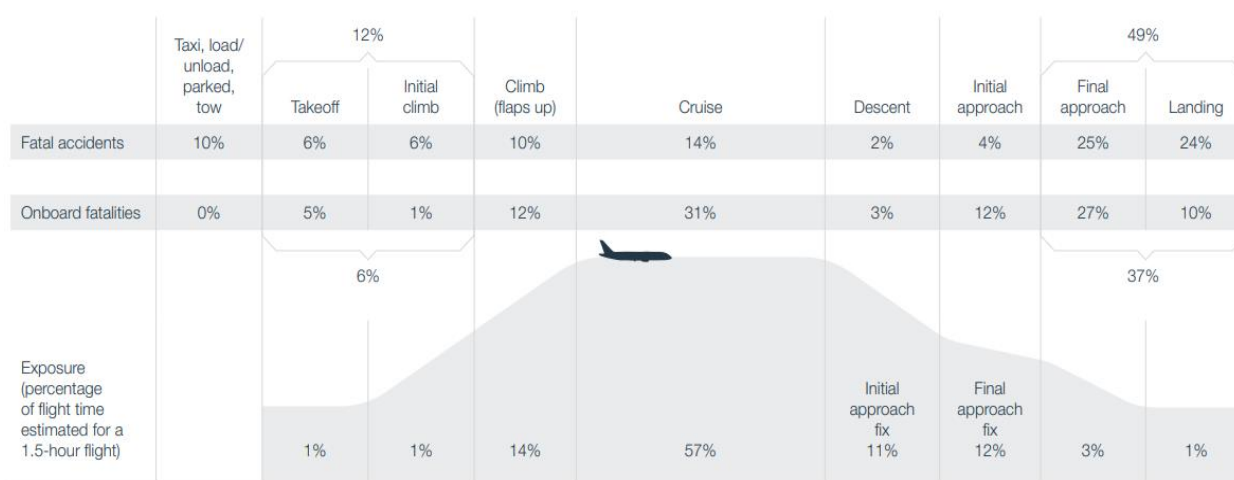


Рисунок 1.3 - Відсоток аварій зі смертельними наслідками та загиблих на борту з 2009 по 2018 роки

Згідно статистики Boeing на етап посадки (Landing) за 2009-2018 роки припадає 24% інцидентів, на етап зльоту (Take off) – 6%, підходу (Final approach) – 25%, на початковий етап набору висоти (Initial climb) – 6%. Порівнявши ці дані

з даними IATA, можна стверджувати про загальний рівень узгодженості даних, з яких випливає, що етап посадки є найбільш небезпечним і на якому виникає велика кількість інцидентів.

Спираючись на дані FAA, які були взяті з аналізу авіаційних інцидентів за 1984-2004 роки, виходить, що проблеми з шасі були основною причиною інцидентів як в одномоторних, так і в багатомоторних літаках та склали 48.3% від всіх причин. 11% інцидентів припадає на проблеми з поршневим двигуном, 7.6% на проблеми з електрикою, 6.5% на паливо[4-5]. Детальний розподіл причин зображений на рисунку 1.4.

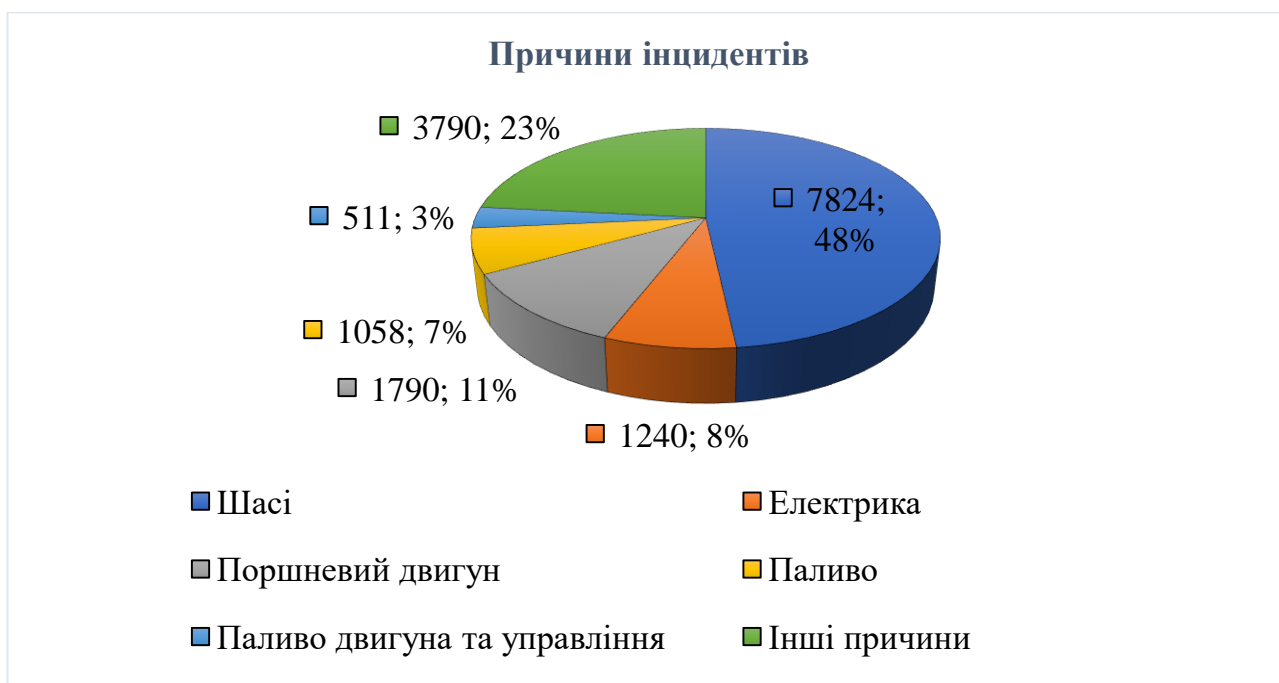


Рисунок 1.4 – Розподіл причин інцидентів

1.2. Проблема з шасі як особливий випадок у польоті

Як було зазначено в статистиці від FAA, 48.3% усіх інцидентів припадає на проблеми з шасі. Проте ці інциденти не завжди приводять до аварій чи катастроф. Тим не менш авіадиспетчеру як і пілоту важливо знати порядок необхідних дій у разі виникнення такої ситуації, чого очікувати від неї, та до чого вона може призвести.

Для початку важливо визначити причини, які можуть викликати проблеми з шасі. Їх можна розділити на три групи – причини обумовлені технічним фактором, причини людського фактору, та причини, які залежать від навколишнього середовища[6].

Спираючись на ці основні три групи, можна виявити вже більше конкретні причини, які призводять до проблем з шасі:

а) технічні фактори:

- 1) механічне пошкодження;
- 2) відмова гідравлічної системи;
- 3) відмова електричної системи;
- 4) пожежа;
- 5) відмова індикаторів;

б) людський чинник:

- 1) помилки технічного персоналу;
- 2) помилки персоналу наземних служб під час буксирування;
- 3) помилки пілота;
- 4) умисні дії злочинців;

в) фактор навколишнього середовища:

- 1) потрапляння чужорідного предмета;
- 2) перешкоди на злітно-посадковій смузі;
- 3) нерівності на поверхні злітно-посадкової смуги;
- 4) опади;
- 5) сильний вітер та інші.

а1) **механічні пошкодження** - шасі можуть зазнати механічних пошкоджень через такі фактори, як надмірна сила, удар або знос. Це може бути результатом різких приземлень, зіткнень з об'єктами або структурних недоліків у компонентах шасі;

а2) **збій гідравлічної системи** - для ефективної роботи система шасі покладається на гідравлічний тиск. Збій гідравлічної системи може виникнути

через такі проблеми, як витоки, втрата тиску або несправність клапанів. Це може перешкодити правильному випуску або прибиранню шасі;

а3) **збій електричної системи** - електричні системи відіграють вирішальну роль у контролі роботи шасі. Якщо в електричній системі стався збій, наприклад коротке замикання або несправна проводка, це може порушити сигнали та команди, що надсилаються на шасі, що призведе до збою;

а4) **пожежа** - у рідкісних випадках пожежа може виникнути у відсіку шасі. Це може статися через несправність електрики, витік палива або інші горючі матеріали. Пожежа може пошкодити компоненти шасі та поставити під загрозу їх функціональність;

а5) **несправність індикаторів** - індикатори, такі як вогні або системи попередження, надають важливу інформацію про стан шасі. Несправність або неточні індикатори можуть призвести до неправильного зворотного зв'язку, через що пілот або наземний екіпаж неправильно розтлумачать положення або стан шасі;

б1) **помилки обслуговуючого персоналу** - помилки, допущені під час процедур технічного обслуговування, наприклад неправильне встановлення або регулювання компонентів шасі, можуть сприяти збоям під час зльоту. Недостатні перевірки, неправильне змащування або непомічені пошкодження також можуть призвести до проблем із шасі;

б2) **помилки персоналу наземних служб під час буксирування** - неправильне кріплення або надмірне зусилля під час буксирування може призвести до навантаження на компоненти шасі, що призведе до поломки під час зльоту;

б3) **помилки пілота** - людські помилки, такі як недотримання належних процедур або неправильна оцінка стану шасі, можуть спричинити поломку шасі під час зльоту;

б4) **навмисні дії злочинців** - у рідкісних випадках можливий навмисний саботаж або поломка шасі з боку злочинців або неавторизованих осіб. Ці

навмисні дії можуть порушити цілісність і функціональність шасі;

в1) **потрапляння стороннього предмета** - сторонні предмети, такі як уламки різних об'єктів або інструменти, випадково залишені всередині відсіку шасі, можуть заважати руху або роботі шасі під час зльоту;

в2) **перешкоди на злітно-посадковій смузі** - якщо під час зльоту на злітно-посадковій смузі є перешкоди, наприклад: уламки, обладнання або навіть тварини, шасі може бути пошкоджено або вийти з ладу при зустрічі з ними;

в3) **нерівності на поверхні злітно-посадкової смуги** - нерівні або пошкоджені поверхні злітно-посадкової смуги, включаючи вибоїни, тріщини або крихке покриття, можуть спричинити пошкодження шасі під час зльоту;

в4) **опади** - несприятливі погодні умови, такі як дощ, сніг або ожеледиця, можуть вплинути на ефективність і функціональність шасі, потенційно призводячи до поломок під час зльоту;

в5) **сильний вітер** - Сильний бічний або поривчастий вітер під час зльоту може створювати додаткове навантаження на шасі, збільшуючи ризик відмови, якщо не керувати шасі належним чином;

Цей перелік не є вичерпним й він описує причини поломки шасі під час зльоту, наголошуючи на важливості ретельних перевірок, технічного обслуговування, дотримання процедур і пильності для попередження виникнення будь-яких проблем.

1.3. Аналіз дій авіадиспетчера у разі виникнення аварійної ситуації «Проблема з шасі»

Постачальники послуг аеронавігації в Європі успішно впровадили принцип ASSIST (рис.1.5). Першими, хто розпочав цей процес, була компанія Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS), яка відповідає за управління повітряним рухом в Німеччині[7].

У разі виникнення аварійної ситуації «Проблеми з шасі» варто дотримуватися найкращої практики, вбудованої в принцип ASSIST: (А –

підтвердження; S – розділення, S – мовчання; I – інформування, S – підтримка, T – час).



Рисунок 1.5 - Порядок дій авіадиспетчера під час аварійної ситуації згідно ASSIST

Acknowledge – підтвердити наявність проблеми з шасі, запитати про наміри екіпажу, коли це дозволить ситуація, і встановити, чи зможе екіпаж висунути шасі у заблоковане положення. Визначити кількість пасажирів на борту; визначити кількість палива літака. Оновлювати значення кількості палива відповідно до ситуації, але принаймні кожні 15-20 хвилин, щоб зменшити ймовірність аварійної ситуації з паливом;

Separate - відокремити повітряне судно від інших учасників авіаційного руху, визначити його пріоритет для посадки, тримати робочу злітно-посадкову смугу вільною від суден, що заходять на посадку або злітають, та транспортних засобів;

Silence - скоротити радіообмін на робочій частоті до мінімуму (за потреби) і використовувати окрему частоту, якщо це можливо;

Inform - інформувати екстрені служби аеропорту та всі зацікавлені сторони відповідно до встановлених процедур;

Support - підтримувати повітряне судно, яке має проблеми з шасі, будь-якою необхідною інформацією (наприклад, тип заходу на посадку, довжина злітно-посадкової смуги та деталі аеродрому тощо);

Time - дати час екіпажу оцінити ситуацію.

Авіадиспетчеру слід очікувати таких можливих наслідків у разі виникнення аварійної ситуації «Проблеми з шасі»[8]:

- а) час випуску шасі може бути збільшений;
- б) можливий вихід на друге коло, якщо проблема виникла під час кінцевого етапу заходження на посадку;
- в) може знадобитися візуальний огляд літака, який може бути здійснений з іншого ПС або шляхом прольоту над відповідною точкою огляду;
- г) повітряне судно може мати знижену гальмуючу здатність;
- д) під час приземлення можливе руйнування шасі або втрата керованості.

1.4. Приклади авіаційних подій, де виникла проблема з шасі під час зльоту

Перший приклад ситуації, коли виникла проблема з шасі під час зльоту і пілот вирішив повернути літак на аеродром вильоту та виконати процедуру злива пального, стався з Wizz Air Airbus A320-200, реєстрація HA-LPU, який виконував рейс W6-1023 Катовіце (Польща) – Запоріжжя (Україна) 15.06.2021[9]. Пілот виконував зліт з аеропорту Катовіце і на панелі приладів помітив, що двері, відповідальні за закриття носової стійки шасі, не закриті. Це сталося на висоті

5000 футів. Пілот вирішив злити паливо і приземлитися в аеропорту вильоту. Через 75 хвилин від початку польоту літак успішно приземлився в аеропорту Катовіце.

Розглянемо інший приклад, коли пілот вирішив приземлитися на запасному аеродромі. Це був Airbus A330-300 авіакомпанії THY Turkish Airlines, реєстрація TC-JNI, який 01.02.2020 виконував рейс ТК-45 Кейптаун (ПАР) – Стамбул (Туреччина)[10]. Пілот отримав повідомлення з панелі приладів про помилку з лівим головним шасі, під час набору FL080 після зльоту. Зв'язавшись з авіадиспетчером, пілот вирішив злити паливо та здійснити посадку на запасному аеродромі Йоганнесбурга, оскільки цей аеродром мав кращі характеристики з технічного обслуговування. Після приземлення літак продовжив рух за межі злітно-посадкової смуги, але екстрені служби були готові до цього та оперативно зреагували.

В третьому прикладі, коли повітряне судно приземляється на аеродромі призначення, опишемо ситуацію, яка сталася 29.10.2022 з повітряним судном, вантажним LATAM Cargo Boeing 767-300, реєстрація N532LA, який виконував рейс L7-2516 із Сарагоси (Іспанія) до Нью-Йорка JFK (США) з чотирма членами екіпажу на борту[11]. Пілот літака, що прямував до аеропорту призначення, повідомив авіадиспетчера про проблему з шасі, коли літак уже був на завершальній стадії посадки.

Пілот вирішив піти на друге коло. На висоті 2000 футів пілот додатково повідомив про неможливість висування правого шасі і оголосив аварійну ситуацію. Служба ОПР запропонувала найдовшу злітну смугу для посадки. Літак приземлився, але викотився за межі злітно-посадкової смуги.

Висновок до розділу 1

Аналіз авіаційних інцидентів на основі даних міжнародних організацій та авіакомпаній показав розподіл основних причин цих інцидентів. Було визначено різні ступені виникнення аварій чи інцидентів в залежності від етапу польоту. Завдяки даним IATA та авіакомпанії Boeing можна стверджувати, що етап посадки є найбільш небезпечним і на якому виникає велика кількість інцидентів.

Спираючись на дані FAA, які були взяті з аналізу авіаційних інцидентів за 1984-2004 роки, виходить, що проблеми з шасі були основною причиною інцидентів як в одномоторних, так і в багатомоторних літаках та склали 48.3% від всіх причин.

Визначені основні причини виникнення проблем з шасі:

- а) технічні фактори (механічне пошкодження; відмова гідравлічної системи; механічне пошкодження; відмова гідравлічної системи; пожежа; відмова індикаторів);
- б) людський чинник (помилки технічного персоналу; помилки персоналу наземних служб під час буксирування; помилки пілота; умисні дії злочинців);
- в) фактор навколишнього середовища (потрапляння чужорідного предмета; перешкоди на злітно-посадковій смузі; нерівності на поверхні злітно-посадкової смуги; опади; сильний вітер та інші).

Відповідно до ASSIST описан перелік дій авіадиспетчера у разі виникнення аварійної ситуації «Проблеми з шасі», яка є основою для створення інтелектуальної системи, яка допомагає оператору в прийнятті рішень для ефективного керування процесом.

Приведені приклади з різним розвитком подій, де виникали проблеми з шасі під час зльоту.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ СПІЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

2.1. Метод експертного оцінювання

Надійність рішень, заснованих на думках груп експертів, багато в чому визначається якістю процедур збирання, аналізу та математичної обробки цих думок. Зазначимо, що рішення, які приймають групи експертів, відрізняються від тих, що формуються в ході дискусій, в яких можуть брати участь менш компетентні люди. У таких дискусіях думка авторитетних чи домінуючих учасників може сильно впливати на думки інших[12].

Інформація, отримана від експертних груп та правильно оброблена, часто буває більш точною та надійною. Така інформація часто ґрунтується на аналізі минулих даних, враховуючи передбачувані можливості та зовнішні фактори[12].

Є два основні підходи до аналізу майбутнього. Перший - дослідницький, який допомагає визначити, що "можна чи не можна зробити". Другий - нормативний, де акцент робиться на встановленні бажаних цілей та потреб, а також на оцінці поточних можливостей для досягнення цих цілей[12].

Суб'єктивні оцінки відіграють роль в обох підходах. При їх використанні важливо враховувати не тільки їхнє абсолютне значення, а й характеристики тих, хто їх робить. Для ухвалення рішення важливо знати:

- а) хто приймає рішення;
- б) які його цілі;
- в) на які аспекти ситуації він може впливати й у яких межах;
- г) які інші фактори довкілля можуть впливати на результати дій.

Одним із ключових етапів у підготовці програми експертної оцінки є створення команди аналітиків-фахівців. Їх завдання включають:

- а) відбір експертів для участі в оцінці;
- б) створення опитувальних листів (анкет);
- в) визначення методики та порядку опитування експертів;
- г) організацію опитування;

- д) обробку даних, отриманих від експертів;
- е) об'єднання об'єктивної (статистичної) та суб'єктивної інформації для формування оцінок, які будуть використовуватися при прийнятті рішень.

Процес відбору експертів для участі в опитуванні починається з виявлення наукових, технічних та адміністративних питань, що впливають на виконання поставленого завдання. Після цього формується перелік осіб, які мають компетенцію у цих областях, який стає відправною точкою для вибору експертів.

Визначившись із потенційними кандидатами, слід вирішити, скільки експертів буде у групі. Неможливо точно визначити ідеальну кількість, але варто пам'ятати: якщо експертів мало, то думка кожного з них надто сильно впливатиме на загальний результат. Якщо ж експертів занадто багато, складніше досягти консенсусу, і може зменшитися точність групової оцінки через зменшення впливу нетрадиційних думок, які можуть відрізнитись від думки більшості, але при цьому бути вірними. У будь-якому випадку, кількість експертів повинна враховувати рівність представленості вчених та спеціалістів різних профілів, а також їхню кваліфікацію[12].

Існують різні методики вимірювання аналізованих об'єктів на основі зібраних даних:

- а) **ранжування** – метод, де об'єкти впорядковуються за певною характеристикою, від найменшого до найбільшого чи наоборот. Цей метод допомагає визначити найбільш значущий фактор та розмістити критерії за їх важливістю;
- б) **парне порівняння** – метод, де аналізуються переваги об'єктів, порівнюючи їх в парах. На відміну від ранжування, тут об'єкти не впорядковуються, а лише визначається, який з пари є більш значущим чи вони рівні. Цей метод корисний, коли є багато об'єктів чи коли різниця між ними мінімальна;
- в) **пряма оцінка** – метод, де не тільки ранжують об'єкти, а й визначають ступінь їх важливості. Характеристики об'єкта діляться на інтервали,

кожному з яких присвоюється оцінка, наприклад, від 0 до 10. Іноді цей метод називають бальним.

Алгоритм виконання методу експертного оцінювання:

- 1) Підготовка питань для анкети та безпосереднє опитування експертів;
- 2) Заповнення даними матриці переваг кожного експерта (формула (2.1)):

$$A_{n \times n} = (a_{ij}), \quad (2.1)$$

де $i=1..n$.

- 3) Ранжування кожного j -го експерта за формулою (2.2):

$$R_j = R_1 > R_2 > R_3 > \dots, \quad (2.2)$$

де $j=1..n$.

- 4) Побудова матриці переваг всіх експертів (формула (2.3)):

$$A_{n \times m} = (a_{ij}), \quad (2.3)$$

де $i=1..n, j=1..m$.

- 5) Ранжування всіх експертів за формулою (2.4):

$$R_{гр} = R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > R_5 > \dots \quad (2.4)$$

за середньою позицією параметра групи в загальному наборі значень (формула (2.5)):

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}, \quad (2.5)$$

де m – кількість експертів.

- 6) Вимірювання збігу оцінок експертів:

- 6.1) Дисперсія визначається за формулою (2.6):

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m-1} \quad (2.6)$$

6.2) Середньоквадратичне відхилення визначається за наступною формулою (2.7):

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (2.7)$$

- 6.3) Коефіцієнт варіації визначається за формулою (2.8):

$$v_j = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Якщо відсоток узгодження думок експертів (v) становить менше 33%, вважається, що експерти дійшли згоди. У випадку, коли відсоток узгодження перевищує 33%, вважається, що думки експертів неузгоджені, і виникає необхідність повторення експертного опитування або використання коефіцієнта конкордації Кендалла для оцінки узгодженості думок експертів за всіма параметрами.

Коефіцієнт конкордації Кендалла розраховується за формулою (2.9):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (2.9)$$

де T_j – число ідентичних рангів в j -му рядку, що оцінив j -й експерт, визначається за формулою (2.10):

$$T_j = \sum (t_i^3 - t_i), \quad (2.10)$$

S – загальна дисперсія, що визначається за формулою (2.11):

$$S = \sum (\sum_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R})^2, \quad (2.11)$$

де \bar{R} – середня сума рангів за кожним фактором, що визначається за формулою (2.12):

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m R_{ij} \quad (2.12)$$

Якщо значення коефіцієнта узгодженості W знаходиться в діапазоні від 0,6 до 1, то думки експертів узгоджуються в значній мірі. У випадку, коли W менше 0,6, рекомендується повторити експертне опитування.

7) Оцінка статистичної значущості коефіцієнта конкордації W проводиться за допомогою відповідного критерію χ^2 , що визначається за наступною формулою (2.13):

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2}m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m R} > \chi_t^2 \quad (2.13)$$

8) Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, який дозволяє визначити ступінь збігу думок j -го експерта з думками групи експертів, визначається за наступною формулою (2.14):

$$r_{sI} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.14)$$

Результати порівняння оцінок, які дав j -й експерт, з оцінками, які дали інші експерти, вносяться до табл. 2.1:

Таблиця 2.1 – Групові ранги та ранги i -го експерта

Ранги		Характеристики, які потрібно оцінити			
		r_1	r_2	r_3	r_4
$R_{гр}$ – ранги групи	i				
R_i – ранги i -го експерта	i				

9) Для оцінки того, чи є коефіцієнт рангової кореляції Спірмена статистично значущим, можна використовувати критерій Стьюдента (2.15):

$$t_{\phi} = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} > t_{st} \quad (2.15)$$

10) Для визначення цінності характеристик, що досліджуються, використовується формула, яка враховує переваги характеристик (2.16):

$$R_{гр} = R_1 > R_2 > R_3 > R_4 > R_5 > \dots \quad (2.16)$$

11) Для розрахунку коефіцієнтів ваг використовується формула, яка враховує певні фактори (2.17):

$$\omega_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^n C_j}, \quad (2.17)$$

де C_j – оцінка, яку можна отримати, якщо припустити, що існує певна залежність між двома змінними. Розрахунок цієї оцінки відбувається за формулою (2.18):

$$C_i = 1 - \frac{R_{ij}-1}{n}, \quad (2.18)$$

де R_{ij} – ранг i -го параметру j -го експерта.

Сума вагових коефіцієнтів має дорівнювати одиниці (формула (2.19)):

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (2.19)$$

12) Візуальне представлення значень вагових коефіцієнтів на побудованому графіку;

13) Кінець задачі.

2.2. Метод мережевого аналізу прийняття рішень авіадиспетчером в разі виникнення аварійної ситуації у польоті за допомогою детермінованих моделей

Робота авіаційного спеціаліста, будь то пілот чи авіадиспетчер, базується на чітко визначеному алгоритмі дій, який викладено в нормативних та регулюючих документах. Ці алгоритми служать основою для моделювання дій авіаспеціаліста, особливо у випадках виникнення особливих випадків у польоті в яких можна застосовувати детерміновані моделі.

Оскільки аварійна ситуація не є подією, яка відбувається миттєво, а розгортається протягом певного часу, для моделювання процесу прийняття рішень спеціалістами у таких ситуаціях доцільно використовувати мережеві графіки [1].

Мережеве планування дозволяє визначити найефективнішу послідовність дій для виконання операцій, забезпечуючи оптимальний підхід до управління надзвичайними ситуаціями. Цей метод допомагає авіаспеціалістам швидко та ефективно реагувати на різноманітні виклики, мінімізуючи ризики та забезпечуючи безпеку польотів [1].

Мережевий графік, який використовується для відображення операційних процедур авіаспеціалістом у випадках аварій або непередбачених ситуацій, є орієнтованим графом без замкнених контурів. Він складається з вузлів та дуг [1].

Вузли цього графу представляють події на початку або в кінці дій, які виконуються авіадиспетчером, пілотом або членами екіпажу літака, особливо при виникненні надзвичайних ситуацій. Дуги графу відображають конкретні операційні процедури, які спираються на відповідні технологічні інструкції або керівництва з експлуатації даного типу літака [1].

Для аналізу таких мережевих графіків використовуються математичні моделі. Ці моделі дозволяють вивчати операційні процедури у випадках надзвичайних ситуацій за допомогою спеціалізованого алгоритму. Цей алгоритм

розраховує графіки, враховуючи визначений та ймовірний час виконання кожної процедури [1].

Завдяки формалізації дій у таких ситуаціях за допомогою мережевого планування, можна визначити:

- а) найкращу послідовність дій у випадку надзвичайних ситуацій;
- б) критичний час для виконання цих дій;
- в) максимальний та мінімальний часи виконання;
- г) резервний час, який може бути використаний для реагування на непередбачені обставини [1].

Моделювання процесу прийняття рішень авіадиспетчером та створення детермінованої моделі у формі мережевого графіка виконуються згідно з методикою дій спеціаліста з обслуговування повітряного руху, використовуючи принципи ASSIST (Acknowledge, Separate, Silence, Inform, Support, Time). У випадках надзвичайних ситуацій або непередбачуваних обставин, спеціалістам з ОПР для надання оптимальної допомоги екіпажу літака, що потрапив у небезпечну ситуацію, та забезпечення отримання важливої інформації для її подальшої передачі аварійно-рятувальним службам, слід дотримуватися вказаної методики [1].

Відповідно до затверджених технологій роботи авіадиспетчера отримані детерміновані моделі прийняття рішення у разі виникнення аварійної ситуації, наведені в табл 2.2 та на рис. 2.1[1].

Таблиця 2.2 – Узагальнена структурно-часова таблиця технології роботи авіадиспетчера в аварійній ситуації

№ з/п	Зміст роботи	Позначення роботи	Множина робіт	Спирається на роботу	Час виконання роботи
1	Отримання інформації від екіпажу ПС про аварійну ситуацію	A_1	$\{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}\}$	–	$\{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}\}$
2	Авіадиспетчер підтвердив, що отримав інформацію про стан повітряного судна від екіпажу.	A_2	$\{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}\}$	A_1	$\{t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}\}$

Продовження таблиці 2.2

№ з/п	Зміст роботи	Позначення роботи	Множина робіт	Спирається на роботу	Час виконання роботи
3	Передача інформації відповідним службам	A_3	$\{a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3n}\}$	$A_1 \cap A_2$	$\{t_{31}, t_{32}, \dots, t_{3n}\}$
4	Отримання рішення командира ПС	A_4	$\{a_{41}, a_{42}, \dots, a_{4n}\}$	$A_1 \cup A_2 \cup A_3$	$\{t_{41}, t_{42}, \dots, t_{4n}\}$
5	Забезпечення умов безпечного завершення польоту	A_5	$\{a_{51}, a_{52}, \dots, a_{5n}\}$	$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4$	$\{t_{51}, t_{52}, \dots, t_{5n}\}$
6	Отримання інформації від екіпажу ПС про результат посадки	A_6	$\{a_{61}, a_{62}, \dots, a_{6n}\}$	$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4 \cap A_5$	$\{t_{61}, t_{62}, \dots, t_{6n}\}$

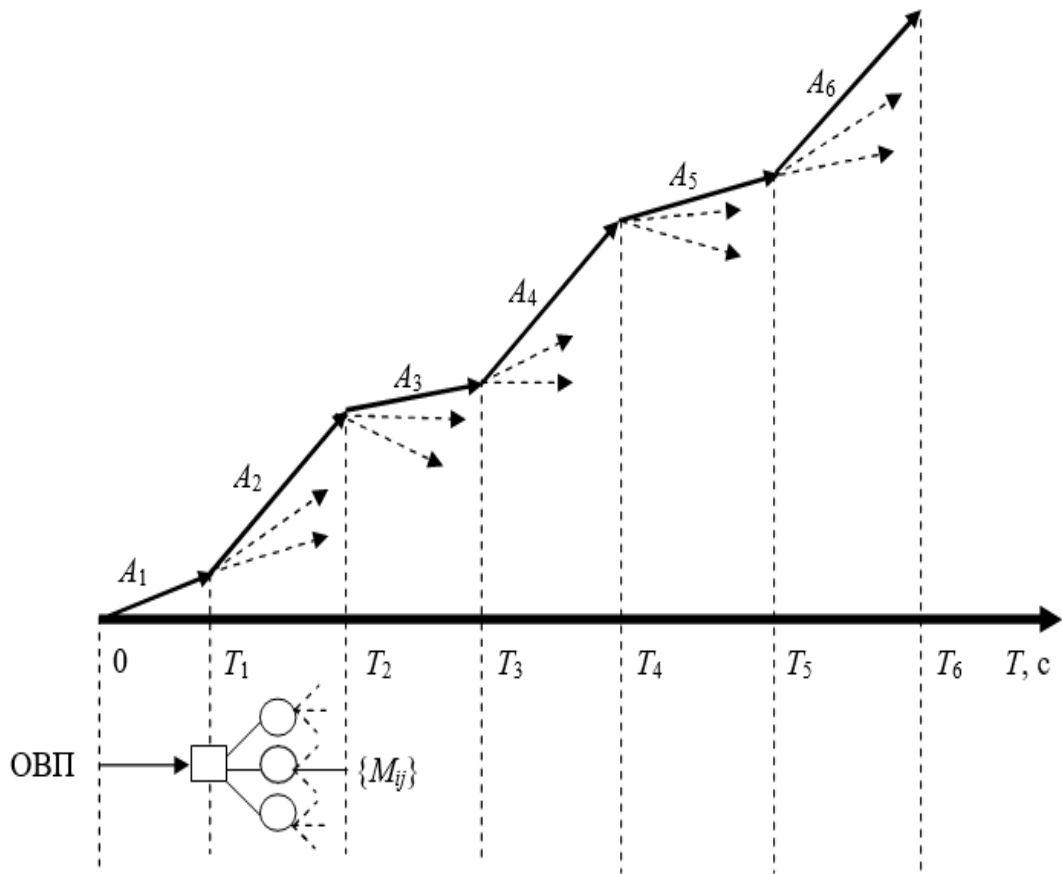


Рисунок 2.1 - Мережевий графік виконання дій авіадиспетчером в аварійній ситуації: A_1 – A_6 – роботи, які виконуються авіадиспетчером згідно з затвердженою технологією; $\{M_{ij}\}$ – множина сценаріїв розвитку польотних ситуацій відповідно до стохастичної моделі

Алгоритм побудови детермінованої моделі прийняття рішення у разі виникнення аварійної ситуації

1. Розбиття технології роботи оператора на окремі операційні процедури:
 $a_i, i = \overline{1, n}$.

2. Розробка блок-схеми для виконання технології робіт окремо визначеного оператора.

3. Час $t_i, i = \overline{1, n}$ виконання операційних процедур визначається на основі експертних оцінок, яке може бути здійснено експериментально або на основі статистичних даних:

Визначення середнього часу для кожної операційної процедури здійснюється шляхом розрахунку середнього значення часу виконання, що може бути обчислене за формулою арифметичного середнього для набору часових значень (формула(2.20)):

$$t_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}, \quad (2.20)$$

де m – кількість експертів.

5. Узгодженість експертів: дисперсія (формула(2.21)), середньоквадратичне відхилення (формула(2.22)), коефіцієнт варіації (формула(2.23)).

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (t_{grj} - t_i)^2}{m-1}, \quad (2.21)$$

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}, \quad (2.22)$$

$$v_j = \frac{\sigma_j}{t_{grj}} \cdot 100 \quad (2.23)$$

6. Структурно-часова таблиця переліку операційних процедур і відведеного часу для їх виконання ($t_i, i = \overline{1, n}$).

7. Мережевий графік порядку дій.

8. Визначення критичного часу $T_{\text{кр}}$ для виконання розроблювального проекту.

9. Визначення критичного шляху виконання проекту [1].

2.3. Прийняття рішень авіадиспетчером в умовах невизначеності

В сучасному світі авіаційної техніки та технологій, ефективність та безпека польотів значною мірою залежать від якості прийняття рішень операторами аеронавігаційних систем. Особливо актуальним стає цей процес в умовах нестохастичної невизначеності, коли стандартні алгоритми та протоколи можуть не давати очікуваних результатів, а оператору потрібно діяти швидко, враховуючи численні фактори та обмеження[1].

Нестохастична невизначеність в аеронавігаційних системах може виникати через ряд причин: від технічних збоїв обладнання до непередбачуваних метеорологічних умов. У таких обставинах, прийняття правильного рішення вимагає глибокого розуміння ситуації, а також здатності швидко адаптуватися до змінюваних умов[1].

При спробі розробити оптимальний план дій для людини-оператора, ми стикаємося з взаємодією "людина та природа", де під "природою" маються на увазі явища або фактори, які мають вплив на результати дій людини. У такому контексті рішення приймається в умовах невизначеності. Множина $\{A\}$ представляє собою альтернативні варіанти рішень людини-оператора, тоді як $\{B\}$ - це фактори, які мають вплив на процес прийняття рішення. Існує відмінність у створенні матриць рішень та підходах до різних типів завдань. Якщо група експертів вважає, що кращі альтернативи мають більші числові значення, то матриця переваг має вигляд матриці виграшів з прибутками (табл. 2.3) [1].

Таблиця 2.3 - Критерії знаходження оптимальної стратегії

№ з/п	Критерій	Матриця виграшів
1	Вальда (Minmax)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
2	Лапласа (Laplace)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
3	Гурвіца (Hurwicz)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \alpha \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) + (1 - \alpha) \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
4	Севіджа (Savage)	$A^* = \min_{B_j} \max_{A_i} r_{ij}(A_i, B_j),$ $r_{ij}(A_i, B_j) = \Delta = \max_{A_i} u_{ij}(A_i, B_j) - u_{ij}(A_i, B_j)$

Критерій Вальда базується на консервативному підході і застосовується, коли потрібно знайти гарантоване рішення. З іншого боку, критерій Лапласа виходить з принципу недостатнього обґрунтування. За критерієм Гурвіца рішення приймається відповідно до співвідношення песимізму та оптимізму, використовуючи коефіцієнт a , де $0 \leq a \leq 1$ [1].

За критерієм Севіджа оптимальне рішення визначається через матрицю "жаль", яка показує, наскільки суб'єкт прийняття рішень шкодує, що не обрав кращий варіант. Елемент матриці "жаль" визначається різницею між найкращим значенням у стовпці та значенням при даному стані. Таким чином, суб'єкт виражає своє невдоволення вибором, який не виявився найкращим у певному стані. Після цього у кожному рядку нової матриці вибирається мінімальний "жаль", і визначається стратегія з найбільшим значенням. Обравши це рішення, суб'єкт має впевненість, що навіть у найгірших умовах результат буде не гірший за знайдений. У випадку, коли матриця виграшів вказує на витрати, суб'єкт діє за принципом мінімаксу, передбачаючи найгірший можливий сценарій [1].

Припустимо що спрацював індикатор відмови генератора, тож зробимо загальний опис цієї ситуації.

При такому розвитку подій можливі два варіанти:

P_1 – індикатор спрацював хибно;

P_2 – індикатор спрацював і показує правду [1].

З декількох альтернативних рішень екіпаж має обрати оптимальне:

a_1 – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити виконувати політ;

a_2 – перейти на резервне джерело енергії і продовжити виконувати політ;

a_3 – відключити генератор та якнайшвидше закінчити політ [1].

Вибравши один з цих варіантів, екіпаж ПК «втрачає» деяку корисність $u_{ij}(a_i, P_j)$, що зумовлено суб'єктивною оцінкою цих рішень, таким чином збільшуючи ризик. Оцінка можливих результатів прийняття рішення визначається відповідною матрицею. (табл. 2.4) [1].

Таблиця 2.4 - Матриця можливих результатів прийняття рішень екіпажем у разі спрацьовування індикатора відмови генератора

Альтернативні рішення	Фактори	
	П ₁ – хибне спрацьовування табло	П ₂ – дійсне спрацьовування табло
a ₁ – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ	0	5
a ₂ – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	3	1
a ₃ – вимкнути генератор і завершити політ	4	2

Значення u_{ij} відображають втрати екіпажу (табл. 2.4) і встановлені за допомогою експертної оцінки на п'ятибальній шкалі в умовних одиницях. Нульові втрати позначають найсприятливіші комбінації a_i і $П_j$. Так, мінімальні втрати ($u_{11} = 0$) корелюють з найменшими збитками для екіпажу, тоді як максимальні втрати ($u_{32} = 5$) вказують на найбільші збитки [1].

Для визначення найкращого рішення для екіпажу ми використовуємо традиційні критерії теорії прийняття рішень в умовах невизначеності, такі як критерії Вальда, Лапласа, Севіджа та Гурвіца [1].

2.3.1. Критерій Вальда

Критерій Вальда, також відомий як мінімаксний критерій, базується на обережному та консервативному підході до прийняття рішень [1]. Його суть полягає в виборі найкращого варіанту з урахуванням найгірших можливих сценаріїв. Для визначення оптимального рішення за критерієм Вальда слідуємо наступному правилу (формула (2.24)):

$$P_{mm} = \min_{a_i} \left\{ \max_{П_j} u(a_i, П_j) \right\}, \quad (2.24)$$

де P_{mm} – функція оцінки матриці втрат за мінімаксною умовою; $u(a_i, П_j)$ – це міра збитків, які можуть виникнути внаслідок реалізації альтернативи a_i в умовах зовнішнього середовища $П_j$ [1].

$$P_m = \min \{ \max (0; 5); \max (3; 1); \max (4; 2) \} = \min \{ 5; 3; 4 \} = 3.$$

За критерієм Вальда, найкращим рішенням є альтернатива a_2 , яка має мінімальну оціночну функцію. [1].

2.3.2. Критерій Лапласа

Критерій Лапласа – це метод прийняття рішень в умовах невизначеності, який базується на тому, що всі можливі стани природи мають однакову ймовірність[1]. Оптимальне рішення за цим критерієм встановлюється за наступним правилом (формула (2.25)):

$$P_l = \min_{a_i} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u(a_i, P_j) \right\}, \quad (2.25)$$

де P_l – функція оцінки за критерієм Лапласа; n – кількість можливих станів природи [1].

$$P_l = \min \left\{ \frac{0 + 5}{2}; \frac{3 + 1}{2}; \frac{4 + 2}{2} \right\} = \min \{2; 5; 2; 3\} = 2$$

Тобто a_2 – перейти на резервне живлення і продовжити виконувати політ, де P_l – оціночна функція за критерієм Лапласа; n – загальна кількість усіх можливих станів природи[1].

2.3.3. Критерій Севіджа

Критерій Севіджа має на меті зменшити консервативність мінімаксного критерію, замінюючи матрицю втрат на матрицю ризиків (табл. 2.5) [1]. Елементи цієї матриці обчислюються за наступною формулою (2.26):

$$r(a_i, P_j) = u(a_i, P_j) - \min_{a_i} \{u(a_i, P_j)\} \quad (2.26)$$

Для розрахунку найкращого рішення за Критерієм Севіджа використовується умова (формула (2.27)):

$$P_s = \min_{a_i} \left\{ \max_{P_j} r(a_i, P_j) \right\}, \quad (2.27)$$

де P_s – функція оцінки за критерієм Севіджа; $r(a_i, P_j)$ – це елементи матриці ризиків, які визначають ступінь ризику реалізації альтернативи a_i в умовах зовнішнього середовища M_j [1].

$$P_s = \min \{ \max (0;5); \max (2;0); \max (2;0) \} = \min \{ 5; 2; 2 \} = 2.$$

Згідно з критерієм Севіджа, найкращим рішенням є альтернативи a_2 і a_3 , які мінімізують ризик [1].

Таблиця 2.5 – Матриця ризиків для вибору найкращого рішення за критерієм Севіджа

Альтернативні рішення	Критерії	
	П ₁ – випадкове спрацьовування табло	П ₂ – дійсне спрацьовування табло
a_1	0	5
a_2	2	0
a_3	2	0

2.3.4. Критерій Гурвіца

Критерій Гурвіца об'єднує декілька підходів до прийняття рішень – що включає як найбільш оптимістичних так і найбільш обережні (консервативні) [1]. Для визначення оптимального рішення за цим критерієм слідує наступному правилу (формула (2.28)):

$$P_g = \min_{a_i} \left\{ \alpha \min_{P_j} u(a_i, P_j) + (1 - \alpha) \max_{P_j} u(a_i, P_j) \right\}, \quad (2.28)$$

де P_g – оцінна функція за критерієм Гурвіца; α – показник оптимізму ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Коли $\alpha = 0$, критерій Гурвіца перетворюється на консервативний, так як його використання дорівнює використанню стандартного мінімаксного критерію. З іншого боку, при $\alpha = 1$, отриманий критерій стає вкрай оптимістичним, орієнтуючись на найкращі можливі сценарії. Ступінь оптимістичності чи песимістичності визначається шляхом встановлення значення α в межах від 0 до 1. При відсутності вподобання оптимізму чи песимізму, найбільш раціональним буде вибір $\alpha = 0,5$ [1].

$$P_g = \min \{ 0,5 \min (0;5) + (1-0,5) \max (0;5); 0,5 \min (3;1) + (1-0,5) \max (3;1); 0,5 \min (4;2) + (1-0,5) \max (4;2) \} = \min \{ 2,5; 2; 3 \} = 2.$$

Критерій Гурвіца також рекомендує альтернативу a_2 як оптимальне рішення.

За всіма розрахованими критеріями, найкращим рішенням для екіпажу є переключення на додаткові генератори та продовження польоту[1].

Отже, на підставі порівняльного аналізу критеріїв, найкращим варіантом для екіпажу (капітана літака) в умовах невизначеності є відключення генератора і завершення польоту, при цьому посадка має відбутися протягом 20-30 хвилин[1].

2.4. Загальний алгоритм спільного прийняття рішень операторами в аварійній ситуації в польоті

Загальний алгоритм спільного прийняття рішень операторами в аварійній ситуації в польоті показаний на рисунку 2.2 [6].



Рисунок 2.2 - Загальний алгоритм спільного прийняття рішень операторами в аварійній ситуації в польоті

Складниками алгоритму спільного прийняття рішення операторами АНС в аварійній ситуації є:

1. **Характеристики польотної ситуації $\{G\}$:**

- а) G_1 – стандартна ситуація;
- б) G_2 – ускладнена ситуація;
- в) G_3 – важка ситуація;
- г) G_4 – аварійна ситуація;
- д) G_5 – ситуація, що може призвести до катастрофи [6].

2. **Фактори $\{\lambda\}$** , що впливають на прийняття рішення кожним оператором. Для приклада зробимо опис декількох загально визначених факторів:

- а) Запас палива на борту (завжди контролюється; паливні системи відрізняються в повітряних суднах через їх відносний розмір і складність. Кожен бак може бути обладнаний внутрішніми паливними насосами та мати відповідні клапани та трубопроводи для живлення двигунів, подачі палива, ізоляції окремих баків та, у окремих випадках, зливу палива або оптимізування центру ваги повітряного судна);
- б) Віддаленість аеродрому для аварійної посадки;
- в) Метеорологічні умови (під час вильоту, у пункті призначення, на запасних аеродромах, по маршруту тощо);
- г) Можливості ПС (наявне обладнання на борту, існуючі експлуатаційні обмеження тощо);
- д) Можливості аеродрому (наявні системи заходження на посадку, технічні характеристики злітно-посадкових смуг і руліжних доріжок, система освітлення, наявні навігаційні засоби, обмеження щодо годин обслуговування, категорія аеродрому, протипожежна, пошуково-рятувальна, аварійна служба);
- е) Повітряна обстановка (завантаженність сектору управління повітряним рухом, радіочастотне перевантаження, наявність радіозв'язку,

інтенсивність повітряного руху на маршруті та на аеродромі призначення тощо) [6].

3. **Альтернативні рішення $\{A\}$** – список запасних аеродромів:

- а) Запасний аеродром – аеродром вильоту та його параметри;
- б) Запасний аеродром – аеродром призначення та його параметри;
- в) Інші запасні аеродроми та їх параметри згідно виконуваного маршруту польоту [6].

4. **Оператори задіяні в сумісному прийнятті рішення (CDM team) $\{O\}$** . Забезпеченням безпеки польотів повітряних суден займається багато фахівців під час планування польотів, виконання польотів і реалізації експлуатаційних процесів, особливо під час ускладненого польоту. Це екіпажі повітряних суден, авіадиспетчери, персонал наземного обслуговування, аварійні служби та інші. Кожен з них відіграє важливу роль на різних етапах польоту. Ці оператори дотримуються інструкцій та нормативних документів, затверджених у сфері їх професійної діяльності [6].

5. **Можливі наслідки $\{U\}$** визначені за допомогою Методу експертного оцінювання; Нечіткою логікою; Блоком штучного інтелекту системи підтримки прийняття рішення згідно з даними нормативної документації та висновками операторів O_l (пілотів, диспетчерів, наземних(аварійних служб) та інших авіаційних спеціалістів) [6].

6. **Час спільного прийняття рішення T :**

- а) T_{min} – мінімальний час;
- б) T_{max} – максимальний час;
- в) T_{cr} – критичний час [6].

На рисунку 2.3 наведена блок-схема алгоритму спільного прийняття рішення в аварійній ситуації, що керує розвитком ситуації за допомогою інтеграції моделей прийняття рішення: нестохастичної, стохастичної та детермінованої [6].

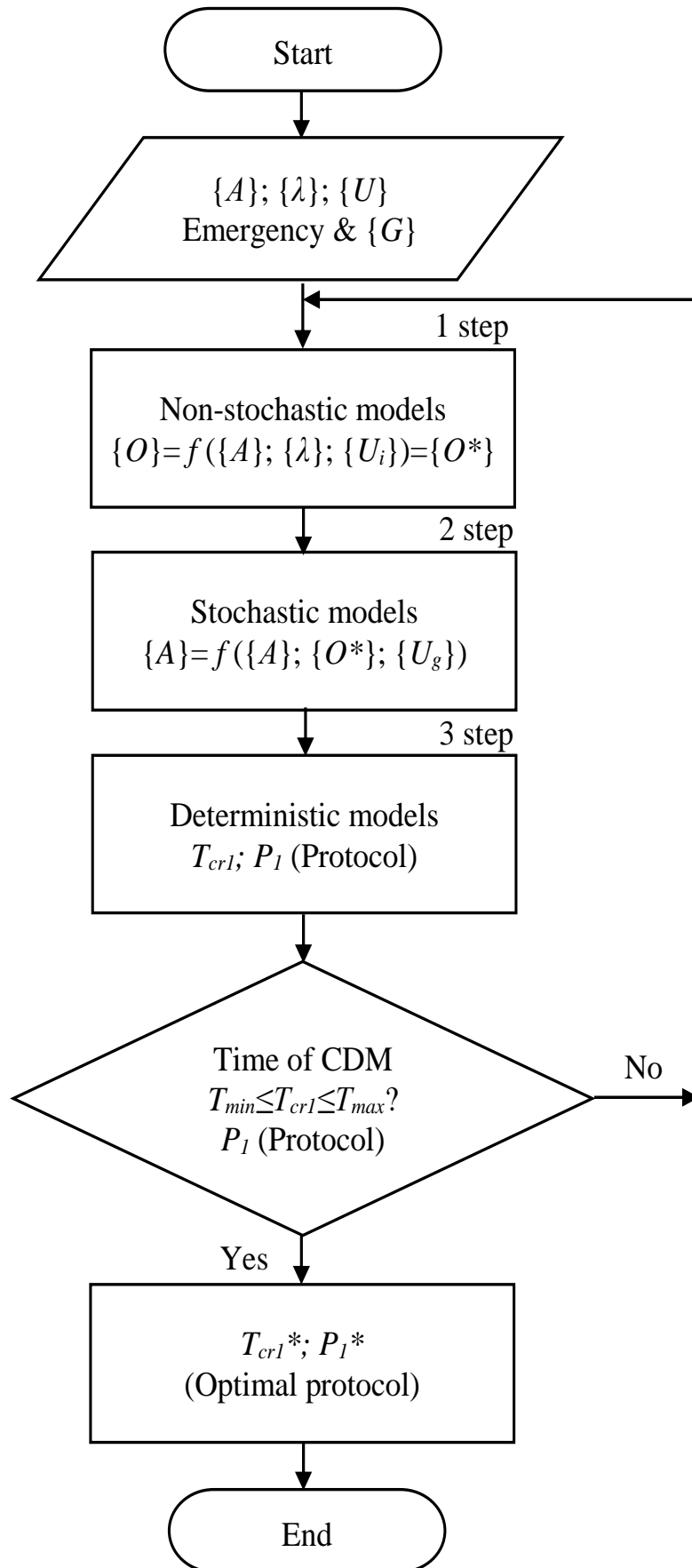


Рисунок 2.3 - Блок-схема алгоритму СПР в аварійній ситуації

Також мають бути заповнені індивідуальні матриці прийняття рішень (табл. 2.6) та матриця спільного прийняття рішення (табл. 2.7).

Таблиця 2.6 – Матриця прийняття рішення в аварійній ситуації

Альтернативні рішення	Критерії, що впливають на СПР в аварійній ситуації				
	λ_1	λ_{\dots}	λ_{\dots}	λ_n	Оптимальне рішення, D
A ₁	u ₁₁	u _{...}	u _{...}	u _{mn}	D ₁
A ₂	u ₂₁	u _{...}	u _{...}	u _{mn}	D ₂
A ₃	u ₃₁	u _{...}	u _{...}	u _{mn}	D ₃

Таблиця 2.7 – Матриця спільного прийняття рішення для всіх операторів

Альтернативні рішення	Критерії, що впливають на СПР в аварійній ситуації						
	O* ₁	O* ₂	...	O* ₁	...	O* _L	Оптимальне рішення, D
A ₁	u ₁₁	u ₁₂		u ₁₁	...	u _{1L}	D ₁
A ₂	u ₂₁	u ₂₂		u ₂₁	...	u _{2L}	D ₂
A ₃	u ₃₁	u ₃₂		u ₃₁	...	u _{3L}	D ₃

Висновок до розділу 2

У випадку виникнення надзвичайних ситуацій під час польоту, різні методи використовуються для аналізу процесу, який займається прийняттям рішень диспетчером ОПР.

У вирішенні багатьох практичних завдань часто використовується метод експертних оцінок. Для обробки інформації, яку надають фахівці, застосовуються певні методи та прийоми, а також математичні моделі. Авіаційні експерти різних вікових груп та з різним досвідом заповнюють анкети та визначають свої індивідуальні переваги щодо різних факторів розвитку події у разі виникнення аварійної ситуації.

Мережеве планування сприяє визначенню оптимальної послідовності дій для виконання операцій, що забезпечує найкращий підхід до управління надзвичайними ситуаціями. Цей метод допомагає фахівцям в галузі авіації оперативно та результативно реагувати на різноманітні виклики, знижуючи ризики і забезпечуючи безпеку польотів.

Для визначення оптимальної стратегії прийняття рішень у умовах невизначеності розглядалися критерії Вальда, Лапласа, Севіджа та Гурвіца.

РОЗДІЛ 3. СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРА ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АВАРІЙНІЙ СИТУАЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СПІЛЬНИХ РІШЕНЬ

3.1. Визначення поняття СППР

Не існує єдиного визначення для СППР. Система підтримки прийняття рішень (СППР) у комп'ютерній області представляє собою інтерактивну платформу, яка використовує бази даних та математичні моделі для аналізу та вирішення завдань, що мають слабку структуру або навіть є неструктурованими. Ця система дозволяє особам, відповідальним за прийняття рішень, виявляти відповідні дані, що створені системами оброблення транзакцій та іншими внутрішніми джерелами інформації, а також надають доступ до зовнішньої інформації, що стосується організації. Системи підтримки прийняття рішень дозволяють користувачам моделювати та аналізувати інформацію у спосіб, який є найбільш ефективним для прийняття конкретного рішення та забезпечують можливість взаємодії в режимі реального часу[13].

Вибір оптимального рішення для завершення польоту в позаштатних ситуаціях, які вимагають високого рівня професійної компетентності, вимагає від оператора аналізу значних обсягів різноманітної інформації.

Для повного врахування факторів, що впливають на формування авіадиспетчером ключових рішень, необхідно розробити адаптивну систему підтримки прийняття рішень, яка дозволить враховувати динамічні характеристики стану ПК та зовнішнього середовища (характеристики зони УПР)[1].

Основними завданнями системи підтримки прийняття рішень (СППР) авіадиспетчера у випадку виникнення непередбаченої польотної ситуації, яка потребує високого рівня професійної компетентності, є наступні:

а) Збір інформації про стан повітряного судна та зовнішнього середовища, зокрема зони управління повітряним рухом.

б) Розроблення стратегії дій у такій критичній ситуації, включаючи можливість продовження польоту до аеродрому призначення (основного або запасного) або здійснення вимушеної посадки.

в) Прогнозування розвитку ситуації на борту та визначення зони досяжності повітряного судна, в разі виконання аварійної посадки на запасному аеродромі.

г) Визначення характеристик альтернативних варіантів і формування набору припустимих альтернатив для завершення польоту.

д) Оцінка ефективності припустимих альтернатив та розроблення рекомендацій для визначення оптимального варіанту завершення польоту, з урахуванням безпеки та ефективності процесу.

Розглянемо ключові складові системи підтримки прийняття рішень (СППР) для авіадиспетчера, такі як база даних і база моделей. Дані можуть бути різними для наповнення бази даних, але зазвичай вони включають в себе широкий спектр інформації, що охоплює тактико-технічні характеристики повітряних суден, плановану динаміку їх руху та особливості аеродромів[1].

У цій базі даних необхідно враховувати параметри, що стосуються характеристик повітряних суден, такі як швидкість, висота, максимальна маса, тип двигуна тощо. Також важливо включити інформацію про планові маршрути руху повітряних суден, їхні пункти призначення та етапи польоту[1].

Крім того, база даних повинна вміщувати дані, які стосуються аеродромів, з яких здійснюється обслуговування. Це може включати в себе технічні параметри аеродромів, інформацію про погодні умови та особливості взаємодії з повітряним судном під час посадки і зльоту[1].

Неможливо недооцінити важливість включення в базу даних інформації про критичні часові параметри, необхідні для вирішення екстрених ситуацій в повітрі, відповідно до технологічних карт та положення ASSIST[1].

База математичних моделей містить в собі детерміновані моделі для прийняття рішень з використанням як детермінованого, так і стохастичного часу для виконання операційних процедур. Також в цю базу входять моделі розвитку

особливих ситуацій в польоті (від звичайних умов до кризових ситуацій) та моделі для їх вирішення[1].

Загальна схема інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення авіадиспетчером в аварійній ситуації зображена на рис. 3.1 [1].

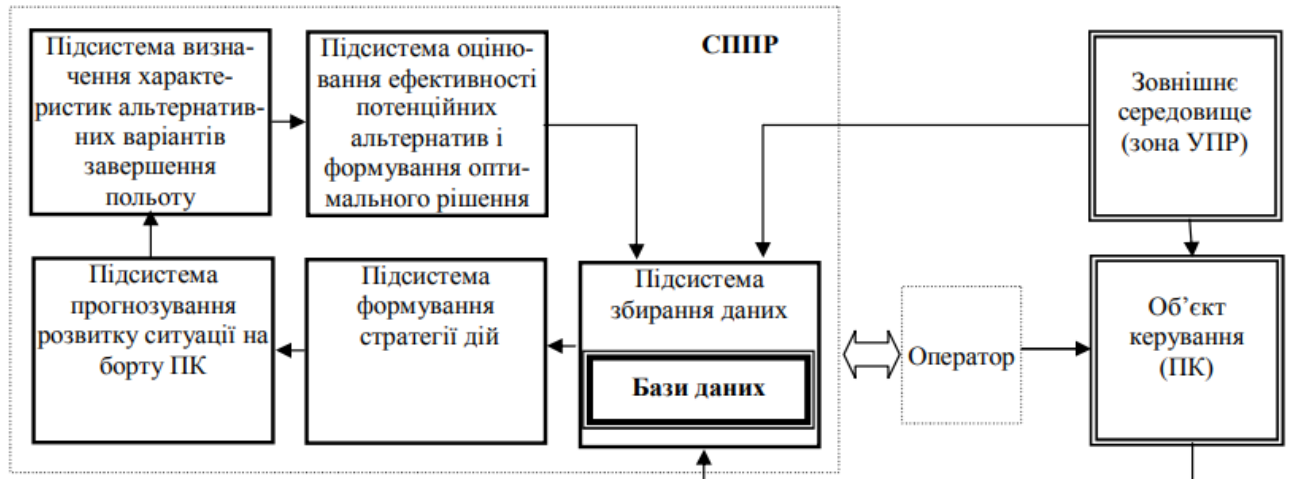


Рисунок 3.1 – Модель СППР авіадиспетчера

Функції кожної підсистеми відокремлюються визначаються певним колом завдань вимірювання. Зробивши аналіз цих підсистем доцільно казати про створення баз даних й необхідність їх відокремлення в дві основні групи. В першу групу входять БД у вигляді стаціонарного джерела даних, до іншої – динамічне джерело даних. З огляду на це визначимо, які саме БД стануть основою обох груп [1].

Перша група баз даних містить інформацію про повітряні судна, їх технічні характеристики, плани польотів, а також умови в зоні управління повітряним рухом. Крім того, в цю групу входять дані про оператора, його досвід, особисті якості та взаємодію з іншими операторами[1].

Друга група баз даних містить інформацію про поточний стан повітряних суден, умови на аеродромах і в місцевості, а також про психофізіологічний стан оператора[1].

Узагальнюючи, систему підтримки прийняття рішення авіадиспетчера в аварійній ситуації доцільно представити у вигляді такої структури (рис. 3.2) [1].

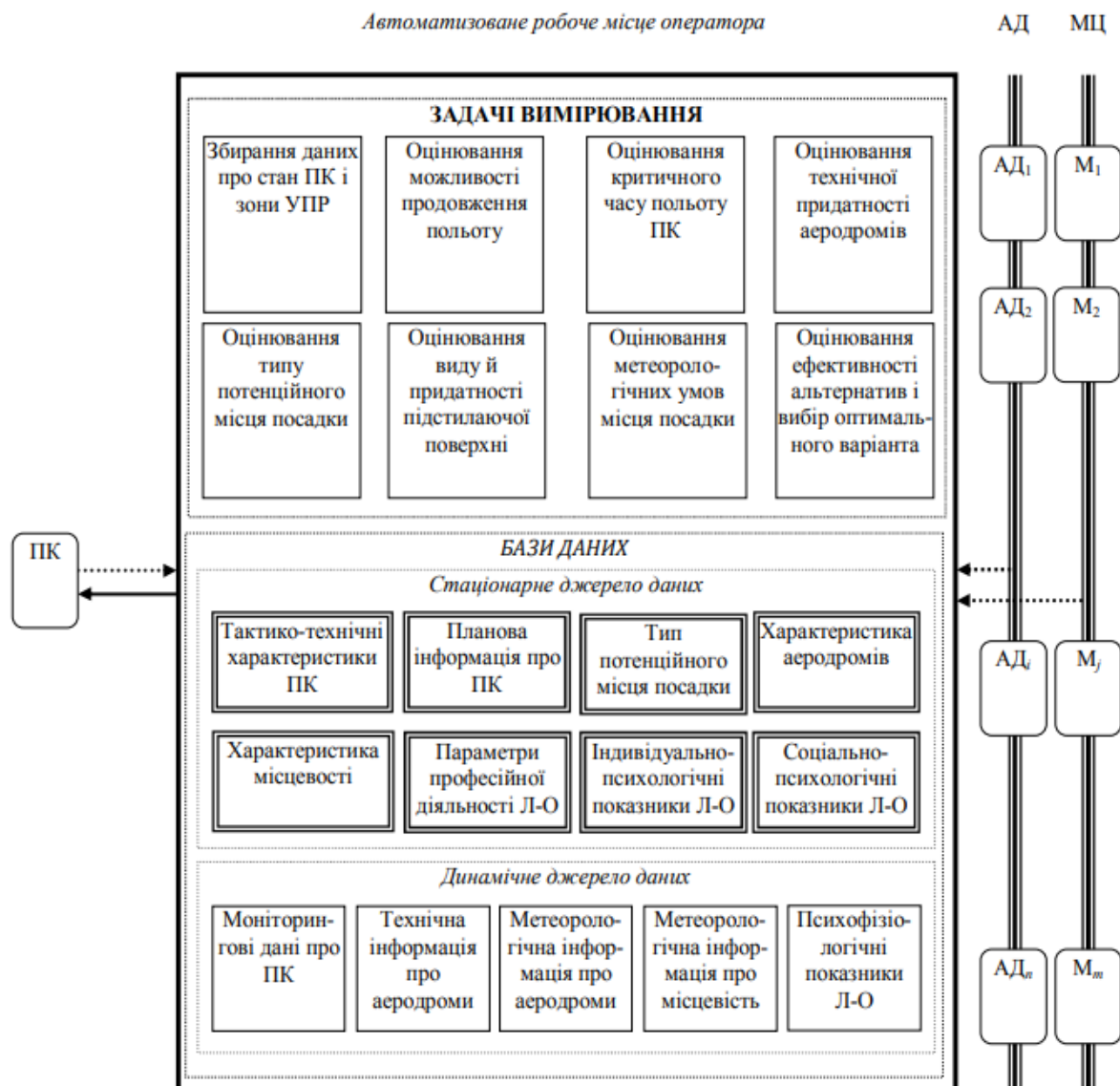


Рисунок 3.2 - Структура СППР авіадиспетчера в аварійній ситуації: АД – аеродроми; МЦ – місцевість; М – майданчики; → – сигнали управління; – потоки інформації

3.2. Формування бази моделей в СППР для прийняття рішень в умовах визначеності, ризику і невизначеності

Як було зазначено, під час розробки системи підтримки прийняття рішень однією з задач є створення бази моделей.

Один із варіантів математичної моделі для дій авіаційного диспетчера в аварійних ситуаціях в польоті - це варіант виникнення проблем з шасі під час

зльоту. Для побудови цієї моделі можна використовувати мережевий графік, який відображає послідовність подій.

3.2.1. Моделювання прийняття рішень в умовах визначеності за методом мережевого планування

Виходячи з порад які зазначені в картках ASSIST і використовуючи відповідні адаптації та перетворення, був створений набір дій, які авіадиспетчер повинен виконати для вирішення аварійної ситуації в польоті (проблеми з шасі).

Технологія роботи авіадиспетчера надається у табл. 3.1:

Таблиця 3.1 – Декомпозиція технології операційних процедур

№	Опис
1.	Отримати повідомлення від екіпажу про проблеми з шасі
2.	Підтвердити проблему з шасі
3.	Запитати про наміри екіпажу, коли ситуація буде дозволяти
4.	Встановити, чи може екіпаж поставити шасі в заблоковане положення
5.	Визначити кількість людей на борту, визначити паливо на борту літака та його кількість у хвиликах
6.	Відокремити повітряне судно від іншого трафіку
7.	Встановити режим тиші при необхідності
8.	Інформувати екстренні служби аеропорту та всі зацікавлені сторони відповідно до встановлених процедур
9.	Підтримувати політ, який має проблеми з шасі, за допомогою будь-якої інформації, яка запитується та визнається необхідною (наприклад, тип заходу на посадку, довжина злітно-посадкової смуги та деталі щодо аеродрому)
10.	Дати час екіпажу для оцінки ситуації

Блок-схема алгоритму дій авіадиспетчера в аварійній ситуації «Проблема з шасі» відповідно до ASSIST зображена на рис. 3.3.

Далі, потрібно визначити час, необхідний для виконання кожної дії авіадиспетчера. У нашому випадку, ми визначили цей час за допомогою метода експертних оцінок. Відповідно до значень, які ми отримали, визначимо думку групи експертів щодо кожної операційної процедури (табл. 3.2):

Таблиця 3.2 - Визначення думки групи експертів

Операція	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
tсер	9,6	9,4	19,8	15,4	38,8	62,4	15,2	20	27	13,4
Дисп	1,3	2,3	2,2	1,3	6,7	31,3	3,7	2,5	8,5	4,3
Середньокв.в ідх	1,14	1,52	1,48	1,14	2,59	5,59	1,92	1,58	2,92	2,07
Коеф.вар.,%	11,88	16,13	7,49	7,40	6,67	8,97	12,66	7,91	10,8	15,48

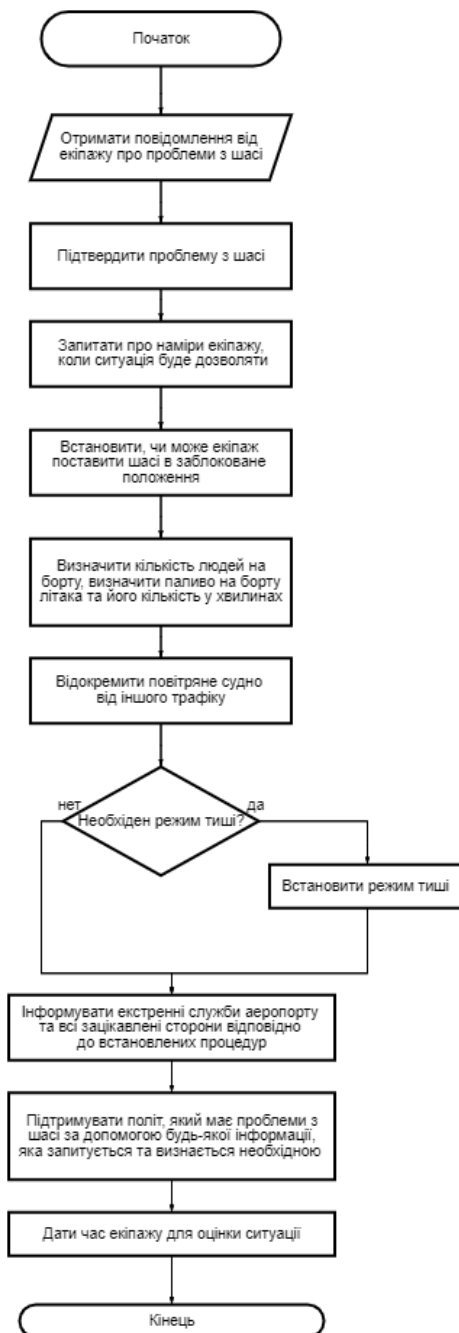


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму прийняття рішення диспетчера ОПР

В результаті отримуємо наступну структурно-часову таблицю (табл. 3.3):

Таблиця 3.3 – Структурно-часова таблиця технології роботи диспетчера

№	Операція	Опис		Час операції, t, сек
1.	a ₁	Отримати повідомлення від екіпажу про проблеми з шасі	-	9.6
2.	a ₂	Підтвердити проблему з шасі	a ₁	9.4
3.	a ₃	Запитати про наміри екіпажу, коли ситуація буде дозволяти	a ₁ , a ₂	19.8
4.	a ₄	Встановити, чи може екіпаж поставити шасі в заблоковане положення	a ₃	15.4
5.	a ₅	Визначити кількість людей на борту, визначити паливо на борту літака та його кількість у хвиликах	a ₄	38.8
6.	a ₆	Відокремити повітряне судно від іншого трафіку	a ₅	62.4
7.	a ₇	Встановити режим тиші при необхідності	a ₃	15.2
8.	a ₈	Інформувати екстренні служби аеропорту та всі зацікавлені сторони відповідно до встановлених процедур	a ₆	20
9.	a ₉	Підтримувати політ, який має проблеми з шасі, за допомогою будь-якої інформації, яка запитується та визнається необхідною (наприклад, тип заходу на посадку, довжина злітно-посадкової смуги та деталі щодо аеродрому)	a ₃	27
10.	a ₁₀	Дати час екіпажу для оцінки ситуації	a ₃	13.4

За отриманими даними був створений мережевий графік (рис. 3.4), який відображає середні часові показники для виконання необхідних дій авіадиспетчером.

В результаті можемо визначити:

- Критичний шлях:

$$S_{кр} = a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_8.$$

- Критичний час:

$$T_{кр} = 9,6 + 9,4 + 19,8 + 15,4 + 38,8 + 62,4 + 20 = 175,4 \text{ сек.}$$

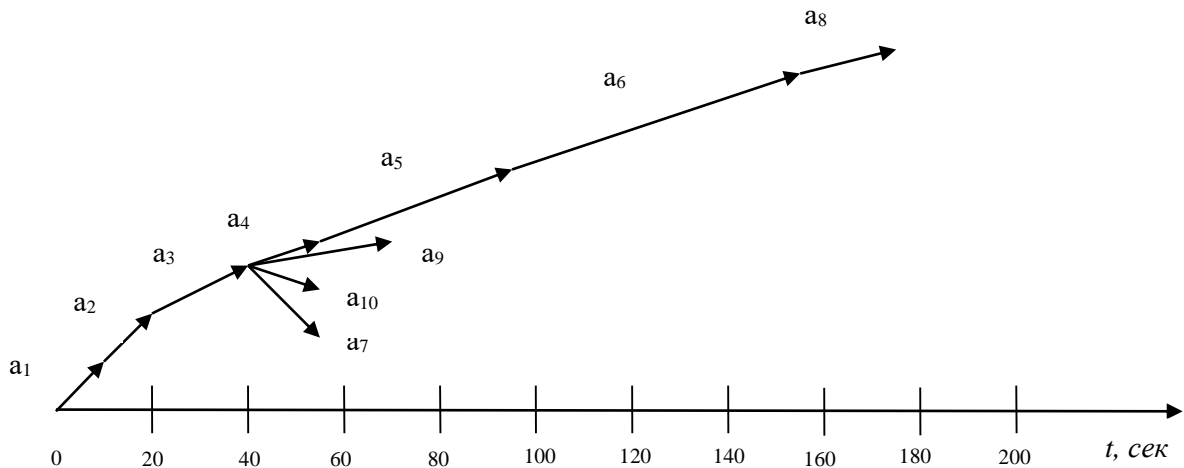


Рисунок 3.4 – Мережевий графік виконання комплексу дій авіадиспетчера

3.2.2. Сумісне прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності

Визначення найкращого способу завершення польоту вимагає швидкого та всебічного аналізу різноманітних факторів при прийнятті рішення. Цей аналіз може бути виконаний з використанням системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в аварійних ситуаціях. Крім того, вибір найкращого варіанту може бути представлений за допомогою дерева рішень при прийнятті рішення оператором в особливому випадку у польоті та в умовах підвищеного ризику.

Алгоритм ПР в умовах ризику

В умовах стохастичної невизначеності (ризик) алгоритм прийняття рішення людини-оператора (АТСО) в аварійній ситуації у польоті виглядає таким чином:

- 1) Детальний аналіз розвитку подій - окреслення етапів рішення k , час етапу t , додатковий ризик на етапі $R_{add}: \{t\}, \{C\}$;
- 2) Визначення на кожному етапі альтернативних рішень $\{A\}$;
- 3) Розрахунок ймовірностей для кожного альтернативного рішення $\{P\}$ – ЕМ;
- 4) Визначення результатів $\{u\}$ – ЕМ;
- 5) Розробка дерева рішень;
- 6) Визначення з багатьох варіантів найоптимальнішого рішення за допомогою критерію очікуваного значення;

7) Результат: R_{min} / R_{max} (формули (3.1), (3.2)):

$$R_{ij} = \min \left\{ t_i \left(\sum_{j=1}^n p_j u_j \right) + C_i \right\} + \min R_{i-1}, \quad (3.1)$$

$$R_{ij} = \max \left\{ t_i \left(\sum_{j=1}^n p_j u_j \right) - C_i \right\} + \max R_{i-1} \quad (3.2)$$

В умовах ризику для прийняття рішення з приводу розвитку подальшої ситуації послідовність дій людини-оператора (АТСО) доцільно відобразити у вигляді дерева рішень, що надає нам можливість провести структурний аналіз даної проблеми. Для цього сформуємо деякі вхідні дані для подальшого розв'язку нашого завдання:

p_1 – ймовірність того, що посадка пройде успішно;

p_2 – ймовірність аварійної посадки;

u – втрати, яких зазнає пілот у результаті певних дій;

R – ризики;

A – оптимальне альтернативне рішення для пілота в даній особливій ситуації такі[1].

Прийняття рішення авіадиспетчером в аварійній ситуації у польоті «Проблема з шасі» містить наступне:

1) Множину альтернативних рішень:

- A_1 – продовження польоту до найближчого запасного аеродрому;
- A_2 – посадка на аеродромі вильоту;
- A_3 – злив пального;
- A_4 – без зливу пального;
- A_5 – політ до зони очікування зі зливом пального;
- A_6 – негайна аварійна посадка.

2) Етапи прийняття рішення:

1 - вибір між запасним або аеродромом вильоту;

4 - вибір між зливанням або не зливанням пального;

7 - вибір між польотом до зони очікування зі зливом пального або негайною аварійною посадкою.

Були визначені ймовірності p_j для кожного результату u_{ij} : $p_1=0,4$ – нормальна посадка; $p_2=0,6$ – складна посадка.

Оптимальне рішення ґрунтується на критерії очікуваного значення (формула (3.2)) і буде відповідати умові (формула (3.3)):

$$R_m = F_m(t_m; \{A, \alpha, p, u\}) = t_m(\sum_{k=1}^n p_k u_k + \alpha_k); \quad (3.2)$$

$$A_{opt} = \min\{R_m\}, \quad (3.3)$$

де $R_m < R_{m-1}$;

α_k – це додатковий ризик, у нашому прикладі $\alpha_k = 0$;

t_m – це час етапу прийняття рішення, у нашому прикладі $t_m = 1$;

$$A_{ij} = \sum_{j=1}^m p_j u_{ij}, \quad .i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m} .$$

Дерево рішень в разі проблеми з шасі під час зльоту представлено на рисунку 3.5.

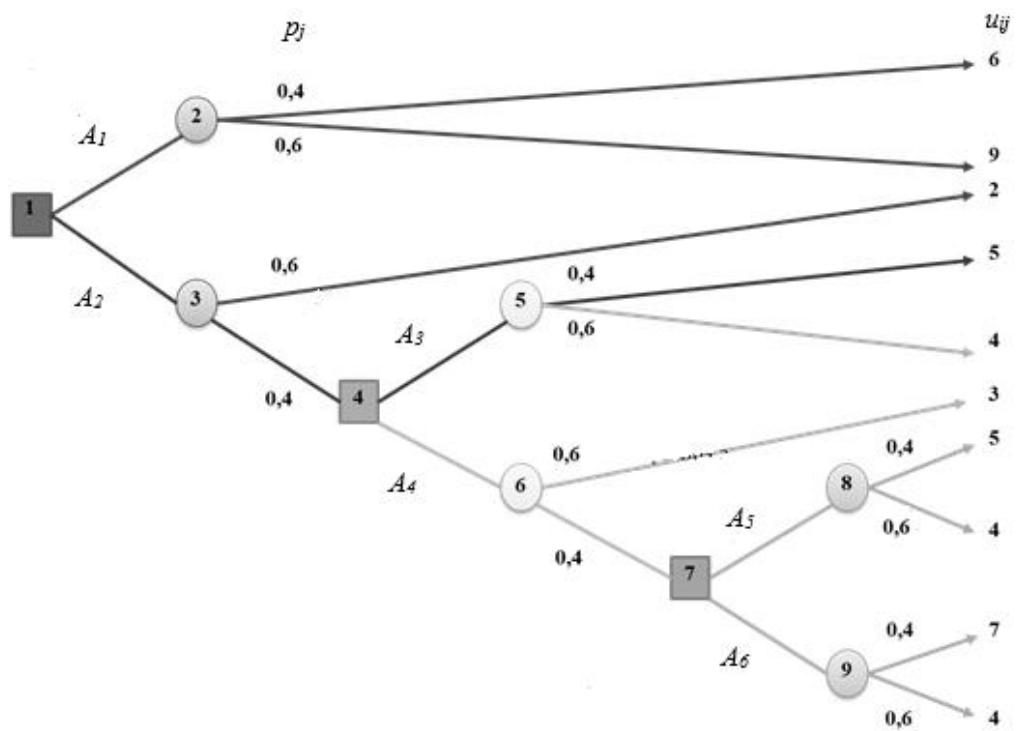


Рисунок 3.5 - Дерево рішень аварійної ситуації «Проблема з шасі»

Розрахунок ризиків для дерева рішень(умовних одиниць, у.о.):

$$R_{78}=p_1*U_{81}+p_2*U_{82}=0.4*5+0.6*4=2+2.4=4.4$$

$$R_{79}=p_1*U_{91}+p_2*U_{92}=0.4*7+0.6*4=2.8+2.4=5.2$$

$$R_{78}<R_{79}, \text{ тому } A_5=R_{78}=4.4$$

$$R_{45}=p_1*U_{51}+p_2*U_{52}=0.4*5+0.6*4=2+2.4=4.4$$

$$R_{46}=A_{78}+p_1*U_{61}+p_2*U_{62}=4.4+0.4*4+0.6*3=4.4+2+1.6+1.6+1.8=11.4$$

$$R_{45}<R_{46}, \text{ тому } A_3=R_{45}=4.4$$

$$R_{12}=p_1*U_{21}+p_2*U_{22}=0.4*6+0.6*9=2.4+5.4=7.8$$

$$R_{13}=A_{46}+p_1*U_{31}+p_2*U_{32}=4.4+0.4*4+0.6*2=4.4+1.6+1.2=7.2$$

$$R_{12}>R_{13}, \text{ тому } A_2=R_{13}=7.2$$

Оптимальним рішенням в аварійній ситуації «Проблема з шасі» є посадка на аеродромі вильоту зі зливом пального[6].

3.2.3. Моделювання сумісного прийняття рішення операторами аеронавігаційної системи в умовах нестохастичної невизначеності

Послідовність дій під час СПР операторами АНС в аварійній ситуації «Проблеми з шасі»[6]:

- 1) Вибір головних факторів , що впливають на ПР $\{\lambda\}$:
 - a) λ_1 – відстань до аеродрому посадки, час в польоті;
 - b) λ_2 – технічні характеристики ПС, кількість палива;
 - c) λ_3 – технічні характеристики аеродрому посадки;
 - d) λ_4 – наземні (аварійні) служби [6].
- 2) Альтернативні рішення $\{A\}$ та аналіз альтернативних рішень
 - a) A_1 – повернутися на аеродром вильоту;
 - b) A_2 – продовжити політ до аеродрому призначення;
 - c) A_3 – здійснити посадку на запасному аеродромі [6].
- 3) Оператори, що задіяні в ПР $\{O\}$ (CDM team):
 - a) O_1 – пілот ПС;
 - b) O_2 – авіадиспетчер;

- c) O_3 – наземні (аварійні) служби;
 - d) O_4 – блок штучного інтелекту (СППР) [6].
- 4) Можливі наслідки $\{U\}$ (Таблиця 3.4)[6].

Таблиця 3.4 – Матриця прийняття рішення в аварійній ситуації «Проблеми з шасі»

Альтернативні рішення	Фактори, що впливають на СППР в АС				
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	Оптимальне рішення, D
A ₁ – аеродром вильоту	u ₁₁	u ₁₂	u ₁₃	u ₁₄	D ₁
A ₂ – аеродром призначення	u ₂₁	u ₂₂	u ₂₃	u ₂₄	D ₂
A ₃ – запасний аеродром	u ₃₁	u ₃₂	u ₃₃	u ₃₄	D ₃

Матриця рішень одного з операторів – пілота – в аварійній ситуації «Проблема з шасі» представлена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Матриця рішень пілота (O_1) в аварійній ситуації «Проблема з шасі»

Альтернативні рішення	Фактори, що впливають на СППР в АС						
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	Критерій Вальда, W	Критерій Лапласа, L	Критерій Гурвіца, H, $\alpha=0.5$
A ₁ – аеродром вильоту	0.80	0.40	0.80	0.80	0.40	0.70	0.60
A ₂ – аеродром призначення	0.30	0.70	0.80	0.80	0.30	0.65	0.55
A ₃ – запасний аеродром	0.50	0.50	0.70	0.80	0.50	0.63	0.65

Оптимальним рішенням для пілота (O_1) в аварійній ситуації за критеріями Вальда і Гурвіца є посадка на запасний аеродром, за критерієм Лапласа – повернення на аеродром вильоту [6].

Таким же чином мають бути побудовані індивідуальні матриці рішень для всіх інших операторів, що задіяні в ПР. Результат отриманий в цих матрицях вноситься в загальну матрицю СППР (табл. 3.6), що дозволить знайти оптимальне вирішення аварійної ситуації [6].

Таблиця 3.6 – Матриця спільного прийняття рішення для всіх операторів

Альтернативні рішення	Фактори, що впливають на СПР в АС						Оптимальне рішення, D
	O^*_1	O^*_2	...	O^*_1	...	O^*_L	
A_1 – аеродром вильоту	u_{11}	u_{12}		u_{11}	...	u_{1L}	D_1
A_2 – аеродром призначення	u_{21}	u_{22}		u_{21}	...	u_{2L}	D_2
A_3 – запасний аеродром	u_{31}	u_{32}		u_{31}	...	u_{3L}	D_3

3.3. Програмна реалізація системи підтримки прийняття рішення

Розробка системи підтримки прийняття рішень для авіадиспетчера входить у склад програмних і апаратних компонентів автоматизованої системи керування в реальному часі, відомої як "система планування та забезпечення польотів".

Структуру системи підтримки прийняття рішень можна побачити на рисунку 3.6, де бази знань відповідають такі параметри: плани маршрутів, дії тощо. Ситуаційна база даних містить оперативні дані про умови виконання польоту та додаткову інформацію (погодні умови на маршруті, зони відповідальності, дані про повітряні простори, аеродроми тощо). Система керування забезпечує швидкість обробки прийняття рішень, акцентуючи увагу користувача на найважливіших аспектах загальної ситуації та завданнях. Аеронавігаційна інформація обробляється з врахуванням пріоритетів запитів[1].

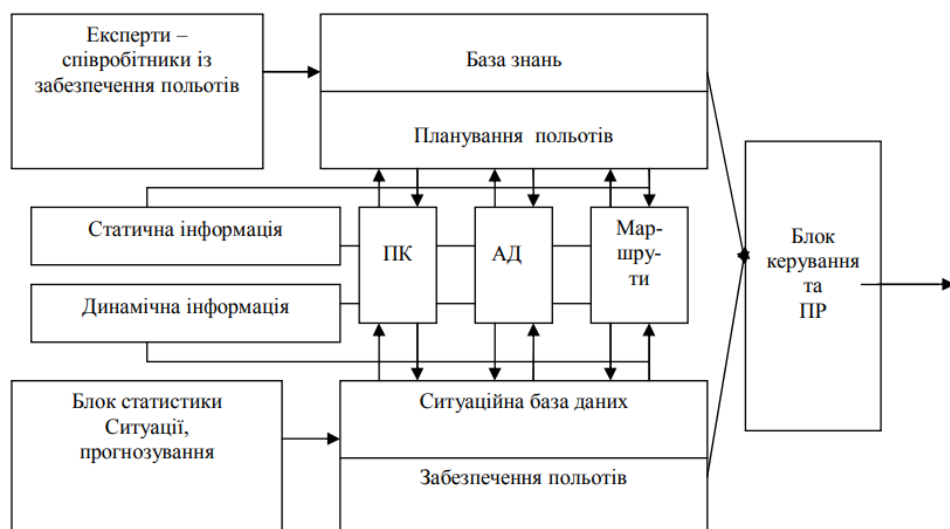


Рисунок 3.6 - Структурна схема СППР

Змоделюємо виникнення аварійної ситуації на прикладі регулярного рейсу: при вильоті з аеродрому Львів виникла проблема з шасі. Ми маємо зробити вибір оптимального рішення за допомогою критеріїв Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа, застосовуючи модель СППР для вибору оптимального аеродрому посадки в умовах невизначеності.

Отже, визначимо альтернативні стратегії $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$:

A_1 – приземлитися на аеродромі вильоту;

A_2 – приземлитися на аеродромі призначення;

A_3 – приземлитися на запасному аеродромі.

Далі визначимо фактори $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$, які впливають на прийняття рішення, а саме:

λ_1 – можливість управляти літаком;

λ_2 – наявність палива;

λ_3 – метеоумови;

λ_4 – наявність зв'язку з диспетчером;

λ_5 – критичність ситуації;

λ_6 – наявність можливості слідувати вказівкам;

λ_7 – оснащення аеродрому.

Складаємо матрицю рішень (табл. 3.7), усі значення якої визначаються методом експертних оцінок.

Таблиця 3.7 – Матриця рішень

	A	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	Vald	Laplace	Hurwicz	Savage
A_1	Приземлитися на аеродромі вильоту	9	3	9	3	8	9	8	3	7	6	6
A_2	Приземлитися на аеродромі призначення	8	5	5	6	9	2	2	2	5,28571	5,5	7
A_3	Приземлитися на запасному аеродромі	5	8	4	3	1	3	1	1	3,57143	4,5	7

Критерій Вальда

Оптимальне рішення по критерію Вальда визначаємо за правилом (формула (3.5)):

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\} \quad (3.5)$$

$$A_1 = \min \{9,3,9,3,8,9,8\} = 3$$

$$A_2 = \min \{8,5,5,6,9,2,2\} = 2$$

$$A_3 = \min \{5,8,4,3,1,3,1\} = 1$$

Визначаємо оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{3,2,1\} = 3 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Вальда маємо оптимальне рішення **приземлитися на аеродромі вильоту.**

Критерій Лапласа

Оптимальне рішення по критерію Лапласа визначаємо за правилом (формула (3.6)):

$$A^*_i = \max a_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N u(a, \lambda) \right\} \quad (3.6)$$

Число факторів $n = 7$.

$$A_1 = 1/7 * (9+3+9+3+8+9+8) = 7$$

$$A_2 = 1/7 * (8+5+5+6+9+2+2) = 5,28571$$

$$A_3 = 1/7 * (5+8+4+3+1+3+1) = 3,57143$$

Визначаємо оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{7; 5,28571; 3,57143\} = 7 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Лапласа маємо оптимальне рішення **приземлитися на аеродромі вильоту.**

Критерій Гурвіца

Оптимальне рішення по критерію Гурвіца визначаємо за правилом (формула (3.7)):

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \alpha \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) + (1 - \alpha) \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\} \quad (3.7)$$

Коефіцієнт оптимізму-песимізму α виберемо таким, що дорівнює 0.5

Оптимальні стратегії:

$$A_1 = \{0,5 \max\{9,3,9,3,8,9,8\} + (1-0,5) \min\{9,3,9,3,8,9,8\}\} = \{0,5*9 + 0,5*3\} = 6$$

$$A_2 = \{0,5 \max\{8,5,5,6,9,2,2\} + (1-0,5) \min\{8,5,5,6,9,2,2\}\} = \{0,5*9 + 0,5*2\} = 5.5$$

$$A_3 = \{0,5 \max\{5,8,4,3,1,3,1\} + (1-0,5) \min\{5,8,4,3,1,3,1\}\} = \{0,5*8 + 0,5*1\} = 4.5$$

Оптимальне рішення:

$$A^* = \max\{6; 4.5\} = 6 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Гурвіца маємо оптимальне рішення **приземлитися на аеродромі вильоту.**

Критерій Севіджа

Оптимальне рішення по критерію Севіджа визначаємо за правилом (формули (3.8), (3.9)):

$$A^* = \min_{B_j} \max_{A_i} r_{ij}(A_i, B_j), \quad (3.8)$$

$$r_{ij}(A_i, B_j) = \Delta_{A_i} = \max_{B_k} u_{ij}(A_i, B_j) - u_{ij}(A_i, B_j) \quad (3.9)$$

Необхідно сформулювати проміжну матрицю втрат r_{ij} . Для отримання цієї матриці потрібно знайти максимальний елемент в кожному рядку вихідної матриці. Потім, віднявши цей елемент від всіх інших елементів в кожному рядку, ми отримаємо нову матрицю втрат.

Побудуємо матрицю втрат r_{ij} (табл. 3.8):

1-а колонка матриці втрат:

$$r_{11} = 9 - 9 = 0; r_{21} = 9 - 8 = 1; r_{31} = 8 - 8 = 3.$$

2-а колонка матриці втрат:

$$r_{12} = 9 - 3 = 6; r_{22} = 9 - 5 = 4; r_{32} = 8 - 8 = 0.$$

3-а колонка матриці втрат:

$$r_{13} = 9 - 9 = 0; r_{23} = 9 - 5 = 4; r_{33} = 8 - 4 = 4.$$

4-а колонка матриці втрат:

$$r_{14} = 9 - 3 = 6; r_{24} = 9 - 6 = 3; r_{34} = 8 - 3 = 5.$$

5-а колонка матриці втрат:

$$r_{15} = 9 - 8 = 1; r_{25} = 9 - 9 = 0; r_{35} = 8 - 1 = 7.$$

6-а колонка матриці втрат:

$$r_{16} = 9 - 9 = 0; r_{26} = 9 - 2 = 7; r_{36} = 8 - 3 = 5.$$

7-а колонка матриці втрат:

$$r_{17} = 9 - 8 = 1; r_{27} = 9 - 2 = 7; r_{37} = 8 - 1 = 7.$$

Таблиця 3.8 – Матриця втрат

		Фактори, що впливають на прийняття рішення							Критерій Севіджа
		λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	
Стратегії	A ₁	0	6	0	6	1	0	1	6
	A ₂	1	4	4	3	0	7	7	7
	A ₃	3	0	4	5	7	5	7	7

$$A^* = \min \max r_{ij} = \min\{6;7;7\} = 6 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Севіджа маємо оптимальне рішення **приземлитися на аеродромі вильоту.**

3.4. Реалізація розрахунків за допомогою мови програмування Python (Jupyter Notebook)

Нижче поданий код написаний мовою програмування Python для вибору оптимального рішення за допомогою критеріїв Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа, застосовуючи модель СППР для вибору оптимального аеродрому посадки в умовах невизначеності.

```
import pandas as pd
```

```
data = {
    'Альтернативні рішення' : ['Приземлитися на аеродромі вильоту', 'Приземлитися на аеродромі призначення', 'Приземлитися на запасному аеродромі'],
    'l1' : [9, 8, 5],
```

```

    '12' : [3,5,8],
    '13' : [9,5,4],
    '14' : [3,6,3],
    '15' : [8,9,1],
    '16' : [9,2,3],
    '17' : [8,2,1]
}
df = pd.DataFrame.from_dict(data)
df

```

Out[1]:

	Альтернативні рішення	11	12	13	14	15	16	17
0	Приземлитися на аеродромі вильоту	9	3	9	3	8	9	8
1	Приземлитися на аеродромі призначення	8	5	5	6	9	2	2
2	Приземлитися на запасному аеродромі	5	8	4	3	1	3	1

In [2]:

```

df_process = df.drop(columns = 'Альтернативні рішення')
wald = []
for i in range(3):
    wald.append(min(df_process.iloc[i]))
df['Wald'] = wald

```

In [3]:

```

laplace = []
for i in range(3):
    laplace.append(sum(df_process.iloc[i])/len(df_process.iloc[i]))
df['Laplace'] = laplace

```

In [4]:

```

hurwicz = []
coef_ = 0.5
for i in range(3):
    hurwicz.append(0.5*max(df_process.iloc[i])+(1-0.5)*min(df_process.iloc[i]))
df['Hurwicz'] = hurwicz

```

In [5]:

```

savage = []

```

```

max_i = 0
df_savage = df_process
for i in range(3):
    df_savage.iloc[i] = max(df_process.iloc[i]) -
df_process.iloc[i]

for i in range(3):
    savage.append(max(df_savage.iloc[i]))
df_savage['Savage'] = savage
df_savage

```

Out[5]:

	11	12	13	14	15	16	17	Savage
0	0	6	0	6	1	0	1	6
1	1	4	4	3	0	7	7	7
2	3	0	4	5	7	5	7	7

In [6]:

```

df['Savage'] = savage
df

```

Out[6]:

	Альтернативні рішення	1	1	1	1	1	1	1	Wald	Laplace	Hurwicz	Savage
		1	2	3	4	5	6	7				
0	Приземлитися на аеродромі вильоту	9	3	9	3	8	9	8	3	7.00000 0	6.0	6
1	Приземлитися на аеродромі призначення	8	5	5	6	9	2	2	2	5.28571 4	5.5	7
2	Приземлитися на запасному аеродромі	5	8	4	3	1	3	1	1	3.57142 9	4.5	7

В Jupiter Notebook цей код виглядає наступним чином (рис. 3.7).

```
In [1]: 1 import pandas as pd
2
3 data = {
4     'Альтернативні рішення' : ['Приземлитися на аеродромі вильоту', 'Приземлитися на аеродромі призначення',
5     'Приземлитися на запасному аеродромі'],
6     'I1' : [9,8,5],
7     'I2' : [3,5,8],
8     'I3' : [9,5,4],
9     'I4' : [3,6,3],
10    'I5' : [8,9,1],
11    'I6' : [9,2,3],
12    'I7' : [8,2,1]
13 }
14 df = pd.DataFrame.from_dict(data)
15 df
```

```
Out[1]:
```

	Альтернативні рішення	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
0	Приземлитися на аеродромі вильоту	9	3	9	3	8	9	8
1	Приземлитися на аеродромі призначення	8	5	5	6	9	2	2
2	Приземлитися на запасному аеродромі	5	8	4	3	1	3	1

```
In [2]: 1 df_process = df.drop(columns = 'Альтернативні рішення')
2 wald = []
3 for i in range(3):
4     wald.append(min(df_process.iloc[i]))
5 df['Wald'] = wald
6
```

```
In [3]: 1 laplace = []
2 for i in range(3):
3     laplace.append(sum(df_process.iloc[i])/len(df_process.iloc[i]))
4 df['Laplace'] = laplace
```

```
In [4]: 1 hurwicz = []
2 coef_ = 0.5
3 for i in range(3):
4     hurwicz.append(0.5*max(df_process.iloc[i])+(1-0.5)*min(df_process.iloc[i]))
5 df['Hurwicz'] = hurwicz
```

```
In [5]: 1 savage = []
2 max_i = 0
3 df_savage = df_process
4 for i in range(3):
5     df_savage.iloc[i] = max(df_process.iloc[i]) - df_process.iloc[i]
6
7 for i in range(3):
8     savage.append(max(df_savage.iloc[i]))
9 df_savage['Savage'] = savage
10 df_savage
```

```
Out[5]:
```

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	Savage
0	0	6	0	6	1	0	1	6
1	1	4	4	3	0	7	7	7
2	3	0	4	5	7	5	7	7

```
In [6]: 1 df['Savage'] = savage
2 df
```

```
Out[6]:
```

	Альтернативні рішення	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	Wald	Laplace	Hurwicz	Savage
0	Приземлитися на аеродромі вильоту	9	3	9	3	8	9	8	3	7.000000	6.0	6
1	Приземлитися на аеродромі призначення	8	5	5	6	9	2	2	2	5.285714	5.5	7
2	Приземлитися на запасному аеродромі	5	8	4	3	1	3	1	1	3.571429	4.5	7

Рисунок 3.7 – Реалізація вибору оптимального рішення в Jupiter Notebook

3.5. Методичні рекомендації для розробки тренінгу Collaborative Decision Making - Education

Концепція управління глобальним повітряним рухом, яку розробило Міжнародна організація з цивільної авіації (ICAO), націлена на реалізацію спільного прийняття рішень (Collaborative Decision Making - CDM) між всіма учасниками авіаційних операцій. Для успішної імплементації CDM використовується інформаційне середовище, засноване на сучасних підходах SWIM (System Wide Information Management - системне управління інформацією) та FF-ICE (Flight & Flow Information for a Collaborative Environment - інформація про польоти та потоки для спільного середовища) [20; 26; 28; 31].

Концепція Аеропорт CDM (A-CDM) націлена на підвищення ефективності операцій у аеропортах шляхом покращення передбачуваності подій під час польоту та оптимізації використання ресурсів та інфраструктури. Впровадження A-CDM дозволяє кожному учаснику аеропортових процесів оптимізувати свої рішення у співпраці з іншими партнерами, враховуючи їх переваги та обмеження, а також фактичну та прогнозовану ситуацію. Зараз концепція A-CDM успішно впроваджена в численних аеропортах світу [26].

Таблиця 3.9 відображає схожість ознак освітнього професійного середовища для авіадиспетчерів та пілотів у ряді професійно-орієнтованих дисциплін під час їхньої початкової підготовки. Важливо зауважити, що, незважаючи на цю схожість, підготовка фахівців, які займаються найважливішими видами операторської діяльності для авіатранспортної системи, проводиться окремо. Це може впливати на відсутність професійних взаємозв'язків під час процесів спільного вироблення та прийняття рішень, що представляє собою потенційний критичний фактор ризику для безпеки польотів [22 - 24].

Для поглибленої міжпрофесійної інтеграції в авіаційній сфері, запропоновано розглядати впровадження концепції спільної підготовки майбутніх диспетчерів УПР та пілотів протягом певного періоду.

Таблиця 3.9 - Схожості ознак освітнього професійного середовища пілотів та диспетчерів УПР

№ з/п	Пілоти	Диспетчери УПР
1.	Знання регуляторних вимог щодо ОНР	Знання регуляторних вимог щодо ОНР
2.	Прийняття рішення в умовах дефіциту часу та стресового навантаження	Прийняття рішення в умовах дефіциту часу та стресового навантаження
3.	Застосування правил та фразеології радіообміну не нижче 4-го за шкалою ICAO	Застосування правил та фразеології радіообміну не нижче 4-го за шкалою ICAO
4.	Знання аеродинаміки польоту та льотно-технічних характеристик ПС	Знання аеродинаміки польоту та льотно-технічних характеристик ПС
5.	Знання повітряної навігації	Знання повітряної навігації
6.	Знання авіаційної метеорології та впливу погодних явищ на виконання польотів	Знання авіаційної метеорології та впливу погодних явищ на виконання польотів
7.	Взаємодія з органами ОНР та зі службами забезпечення польотів	Взаємодія з екіпажами ПС та зі службами забезпечення польотів
8.	Вміння працювати у команді з іншими членами екіпажу ПС	Вміння працювати у команді з іншими членами зміни ОНР
9.	Вміння застосовувати бортові автоматизовані системи керування польотом	Вміння застосовувати автоматизовані системи керування повітряним рухом

В рамках цієї концепції формуватимуться базові компетенції спільного прийняття рішень в умовах єдиного освітнього середовища (CDM-ET). Додатково, пропонується проводити льотну підготовку для майбутніх диспетчерів УПР та авіадиспетчерську підготовку для майбутніх пілотів на тренажерних засобах навчання, обсяг якої становитиме не менше 45 годин [22-24].

Обрані кількості годин (45) стали мінімально припустимими значеннями, які дозволяють особі претендувати на ліцензію пілота-аматора. Цей підхід також застосовується до майбутніх диспетчерів УПР, де обсяг годин на диспетчерському тренажері на етапі базової підготовки приблизно такий же [22-24; 32].

Імітація операційного середовища диспетчера УПР та умов польоту відповідає всім вимогам державного органу з питань цивільної авіації. Структура концепції формування базових компетенцій спільного прийняття рішень в умовах єдиного освітнього середовища (CDM-ET) для майбутніх пілотів,

диспетчерів УПР та диспетчерів по забезпеченню польотів (льотні диспетчери) подана на рисунку 3.8 [22-24].

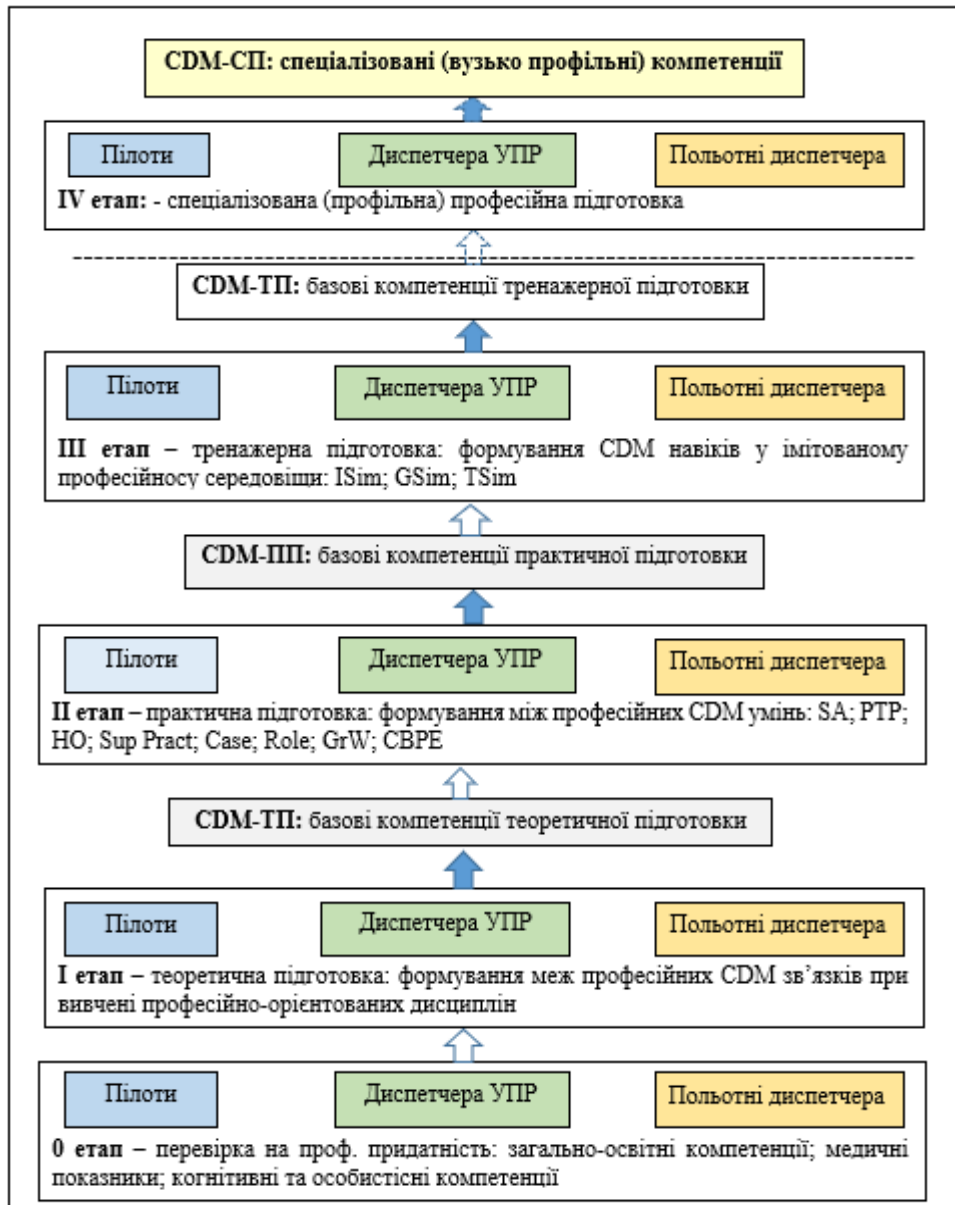


Рисунок 3.8 - Створення основних навичок сумісного прийняття рішень в рамках уніфікованого освітнього середовища (CDM-ET) для майбутніх пілотів, диспетчерів УПР та диспетчерів по забезпеченню польотів.

Таким чином, переваги впровадження етапу єдиного освітнього середовища в підготовці майбутніх пілотів, диспетчерів УПР та диспетчерів по забезпеченню польотів включають:

1. Покращена комунікація: спільна підготовка сприятиме кращому взаєморозумінню майбутніх пілотів, диспетчерів УПР та льотних диспетчерів щодо їхніх експлуатаційних процедур, що підтримає більш ефективну реалізацію процесів спільного прийняття рішень.
2. Підвищення рівня безпеки польотів: спільна підготовка сприятиме кращому розумінню ролі та відповідальності кожного учасника, сприяючи мінімізації помилок та підвищенню ситуаційної обізнаності, що в свою чергу підвищить рівень безпеки польотів.
3. Розширена взаємодія: етап спільної підготовки сприятиме міжпрофесійному співробітництву між пілотами, диспетчерами УПР та льотними диспетчерами, що сприятиме більш ефективному застосуванню експлуатаційних процедур та прийняттю операційних рішень.
4. Збільшення економічної ефективності підготовки: впровадження етапу спільної підготовки дозволить знизити витрати на навчання цих категорій фахівців у випадку окремого проведення навчання. Об'єднуючи ресурси, матеріали та навчальні приміщення, навчальна організація економить кошти та одночасно підвищує якість професійно-орієнтованої підготовки, сприяючи безпеці, економіці, організації та навчанню [22-24].

Висновок до розділу 3

У цьому розділі було створено алгоритм системи підтримки прийняття рішень для авіаційних працівників, який сприяє швидкому і однозначному прийняттю обґрунтованих рішень у випадках надзвичайних ситуацій. Програмну реалізацію системи підтримки прийняття рішень було виконано шляхом моделювання аварійної ситуації, зокрема проблеми з шасі під час зльоту. Найбільш поширеними критеріями прийняття рішень в умовах невизначеності є:

- Критерій Лапласа;
- Критерій Вальда;
- Критерій Севіджа;
- Критерій Гурвіца.

Вибір оптимального варіанту завершення польоту вимагає оперативного комплексного аналізу перерахованих груп чинників при прийнятті рішення, що є можливим у використанні СППР авіадиспетчера ОПР в аварійних ситуаціях. Процес вибору оптимального варіанту був представлений за допомогою структурно-часової таблиці та мережевого графіку в умовах визначеності, а також дерева рішень для прийняття рішень оператором в умовах ризику.

Аналіз критичного часу виконання процедур та визначення ризиків був використаний для створення структурної схеми СППР, її основних компонентів та підсистем.

РОЗДІЛ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

4.1. Багатокритеріальна оцінка системи підтримки прийняття рішення

Визначено критерії, за якими буде надано оцінку системі підтримки прийняття рішення:

- а) **покращення прийняття рішень** - визначення того, наскільки система сприяє покращенню якості та швидкості прийняття рішень в організації. Цей критерій вимірюється за допомогою порівняння рішень, прийнятих з використанням системи, із тими, які були б прийняті без її впровадження.
- б) **збільшення продуктивності** - визначення впливу системи на підвищення продуктивності роботи співробітників і оптимізацію бізнес-процесів. Цей критерій оцінюється через аналіз зменшення часу, витрат та ресурсів, необхідних для прийняття рішень.
- в) **підвищення якості рішень** - визначення того, наскільки система сприяє підвищенню точності, надійності та релевантності прийнятих рішень. Цей критерій вимірюється через аналіз правильності рішень та їх відповідність метам і завданням.
- г) **вартість впровадження та ефективність витрат** - оцінка витрат на впровадження системи та порівняння цих витрат з отриманими покращеннями. Ефективність витрат може бути виміряна в залежності від покращень, які система приносить у бізнес-процесах та прийнятті рішень.
- д) **вплив на стратегічний розвиток** - аналіз того, наскільки система підтримки прийняття рішень сприяє досягненню стратегічних цілей та планів компанії. Цей критерій дозволяє визначити, наскільки система сприяє створенню конкурентних переваг та підвищенню ринкової позиції організації.

Кожному критерію буде відповідати відповідний G:

- Покращення прийняття рішень – G_1
- Збільшення продуктивності – G_2

- Підвищення якості рішень – G_3
- Вартість впровадження та ефективність витрат – G_4
- Вплив на стратегічний розвиток – G_5

Отримано матриці індивідуальних переваг після того, як експерти заповнили свої анкети (таблиці 4.1-4.5):

Таблиця 4.1 - Матриця індивідуальних переваг 1 експерта

G	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	R	R
G_1		0	1	0,5	0,5	1	4
G_2	1		1	0,5	1	3,5	1
G_3	0	0		0,5	0	0,5	5
G_4	0,5	0,5	0,5		0	1,5	3
G_5	0,5	0	1	1		2,5	2

Таблиця 4.2 - Матриця індивідуальних переваг 2 експерта

G	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	R	R
G_1		0	1	0,5	0,5	1	4
G_2	1		1	0,5	1	3,5	1
G_3	0	0		0,5	0	0,5	5
G_4	0,5	0,5	0,5		0	1,5	3
G_5	0,5	0	1	1		2,5	2

Таблиця 4.3 - Матриця індивідуальних переваг 3 експерта

G	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	R	R
G_1		0	0	1	1	2	3
G_2	1		0	0,5	0	1,5	4;5
G_3	1	1		0	0	2,5	2
G_4	0	0,5	1		0	1,5	4;5
G_5	0	1	1	1		3	1

Таблиця 4.4 - Матриця індивідуальних переваг 4 експерта

G	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	R	R
G ₁		0	1	1	0,5	2,5	2
G ₂	1		0,5	0	0	1,5	4
G ₃	0	0,5		0	0	0,5	5
G ₄	0	1	1		0	2	3
G ₅	0,5	1	1	1		3,5	1

Таблиця 4.5 - Матриця індивідуальних переваг 5 експерта

G	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	R	R
G ₁		0	1	0	0,5	1,5	3;4
G ₂	1		1	1	1	4	1
G ₃	0	0		0,5	0	0,5	5
G ₄	1	0	0,5		1	2,5	2
G ₅	0,5	0	1	0		1,5	3;4

Матриця переваг групи

Підсумовано всі думки експертів у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Матриця переваг групи

Експерт, м/система, п	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
1	4	1	5	3	2
2	4	1	5	3	2
3	3	4,5	2	4,5	1
4	2	4	5	3	1
5	3,5	1	5	2	3,5

Визначення висновку експертної групи

Відповідно до наявних значень, визначено думку групи експертів по кожній умові за формулою (4.1):

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (4.1)$$

Наприклад, R_{grj} для покращення прийняття рішень буде наступним:

$$R_{grj} = \frac{4+4+3+2+3,5}{5} = 3,3$$

Розраховане значення R_{grj} для кожної системи відображено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Результати розрахунку R_{grj}

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
R _{grj}	3,3	2,3	4,4	3,1	1,9

Визначення узгодженості висновків експерта

Розраховано дисперсію для кожної системи за формулою (4.2):

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m-1} \quad (4.2)$$

Розрахуємо стандартне відхилення за формулою (4.3):

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (4.3)$$

Розрахуємо коефіцієнт варіації для кожної системи за формулою (4.4):

$$v_j = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} * 100\% \quad (4.4)$$

Після виконання розрахунків внесено їх в таблицю 4.8.

Якщо коефіцієнт варіації $v_j < 33\%$ - думка експертів узгоджується.

Якщо коефіцієнт варіації $v_j > 33\%$, думка експертів не узгоджується.

За нашими результатами:

$$var_1 = 25,35 < 33\%$$

$$var_2 = 77,77 > 33\%$$

$$var_3 = 30,49 < 33\%$$

$$var_4 = 28,85 < 33\%$$

$$var_5 = 53,93 > 33\%$$

Таблиця 4.8 – Узгодженність висновків експертів

Експерт	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
1	4	1	5	3	2
2	4	1	5	3	2
3	3	4,5	2	4,5	1
4	2	4	5	3	1
5	3,5	1	5	2	3,5
R _{grj}	3,3	2,3	4,4	3,1	1,9
D	0,7	3,2	1,8	0,8	1,05
S	0,8366600265	1,788854382	1,341640786	0,894427191	1,024695077
Коеф вар,%	25,35333414	77,77627748	30,49183606	28,85249003	53,93131982

Визначення коефіцієнта згоди Кендала

Якщо коефіцієнт варіації перевищує 33%, коефіцієнт відповідності Кендала необхідно визначити за такою формулою (4.5):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (4.5)$$

Де - S-узагальнена дисперсія і розраховується за формулою (4.6):

$$S = \sum (\sum_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R})^2 \quad (4.6)$$

$$\bar{R} = \sum \frac{\sum R_{ij}}{5} = \frac{16.5 + 11.5 + 22 + 15.5 + 9.5}{5} = 15$$

$$S = (16.5 - 15)^2 + (11.5 - 15)^2 + (22 - 15)^2 + (15.5 - 15)^2 + (9.5 - 15)^2 = \mathbf{94}$$

$$T_j = \sum (t_i^3 - t_i) = 3 * (3^3 - 3) + 2 * (4^3 - 4) = \mathbf{192}$$

Звідси W=0.5529411765

Коефіцієнт узгодженості Кендала змінюється в діапазоні $0 < W < 1$, де $W = 0$ повністю неузгоджений, $W = 1$ - повністю узгоджений, $W = 0,6... 0,8$ - погоджений. Наш результат $W = 0,55$ показує, що думки експертів не повністю узгоджуються.

Визначення коефіцієнта кореляції Спірмена

Порівняно думку групи всіх експертів і думку кожного окремого експерта, використовуючи коефіцієнт рейтингової кореляції R_s (коефіцієнт кореляції Спірмена) за формулою (4.7):

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.7)$$

Внесено отримані дані в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Визначення коефіцієнта кореляції Спірмена

Експерт, м/система, п	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
1	4	1	5	3	2
2	4	1	5	3	2
3	3	4,5	2	4,5	1
4	2	4	5	3	1
5	3,5	1	5	2	3,5
Рав	3,3	2,3	4,4	3,1	1,9
Сума(x-y) ²	2,56	2,56	13,46	5,76	5,86
R_s	0,872	0,872	0,327	0,712	0,707

Якщо $R_s = 1$ - узгодженість думок групи і експерта висока.

Якщо $R_s = 0$ або близько 0 - узгодженість думок групи і експерта низька.

У більшості випадків погляди окремих учасників і групи в цілому узгоджуються.

Визначення значущості розрахунків

Визначення статистичної значущості коефіцієнту конкордації W за критерієм χ^2 (формула (4.8)).

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2}m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m T_j} \quad (4.8)$$

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{94}{0.5 * 5(5 + 1) - \frac{1}{12(5 - 1)} * 192} = 8,545$$

Для розрахунку значущості розрахунку R_s (коефіцієнт Спірмена) необхідно визначити критерій Стюдента за формулою (4.9):

$$t_{\phi} = R_s \sqrt{\frac{n-2}{1-R_s^2}} \quad (4.9)$$

$$t_{\phi} = 0.872 * \sqrt{\frac{5-2}{1-0.872^2}} = 3,08$$

Визначення вагових коефіцієнтів

Остаточний розрахунок полягав у визначенні вагових коефіцієнтів w_i за формулою (4.10):

$$\omega_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^n c_j} \quad (4.10)$$

Внесено дані в таблицю 4.10.

Таблиця 4.10 – Визначення вагових коефіцієнтів

N	Ранг	Там	W _i	Лямбда	Загальне навантаження
G ₁	4	0,4	0,13	10	1,33
G ₂	2	0,8	0,26	10	2,66
G ₃	5	0,2	0,06	10	0,66
G ₄	3	0,6	0,2	10	2
G ₅	1	1	0,33	10	3,33
R		3	1	50	10

Створення візуалізації

На основі отриманих даних побудован графік (рис.4.1).

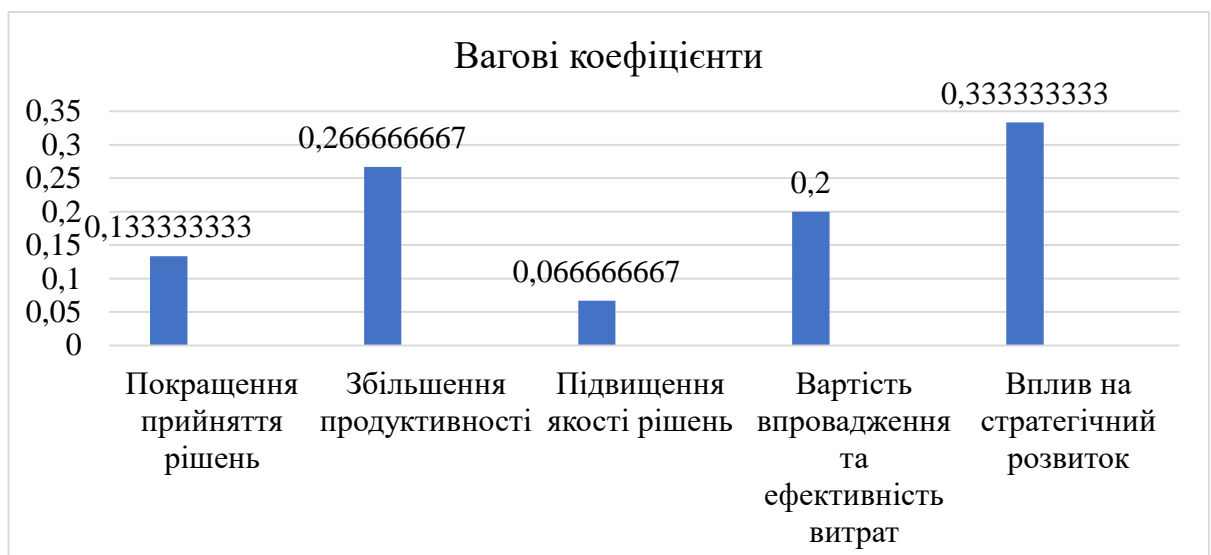


Рисунок 4.1 – Вагові коефіцієнти

Згідно отриманих вагових коефіцієнтів видно, що доцільно впроваджувати систему підтримки прийняття рішень через її вплив на стратегічний розвиток.

4.2. Кореляційно-регресивний аналіз

Зроблено форму у вигляді таблиці та внесено вхідні дані (табл. 4.11):

Таблиця 4.11 Статистичні дані про прибуток за 12 місяців

Місяць	Прибуток, тис.грн
1	340
2	390
3	470
4	500
5	750
6	870
7	960
8	1010
9	980
10	800
11	510
12	420

Визначено коефіцієнт кореляції r :

$$r = 0,751870959$$

Визначено коефіцієнти регресії:

$$b_0 = 495,3030303$$

$$b_1 = 26,36364$$

Побудовано таблицю та заповнено її перший стовпець числами від 1 до 24 (табл. 4.12):

Визначено рівняння регресії $Y = 495,3 + 26,4X$, за його допомогою обчислено точки графіка регресії:

Таблиця 4.12 – Прогнозовані місяці прибутку

X	Y
1	521,6666667
2	548,030303
3	574,3939394
4	600,7575758
5	627,1212121
6	653,4848485
7	679,8484848
8	706,2121212
9	732,5757576
10	758,9393939
11	785,3030303
12	811,6666667

Продовження таблиці 4.12

X	Y
13	838,030303
14	864,3939394
15	890,7575758
16	917,1212121
17	943,4848485
18	969,8484848
19	996,2121212
20	1022,5757578
21	1048,939394
21	1048,939394
23	1101,666667
24	1128,030303

Побудувано графік регресії (рис. 4.2):

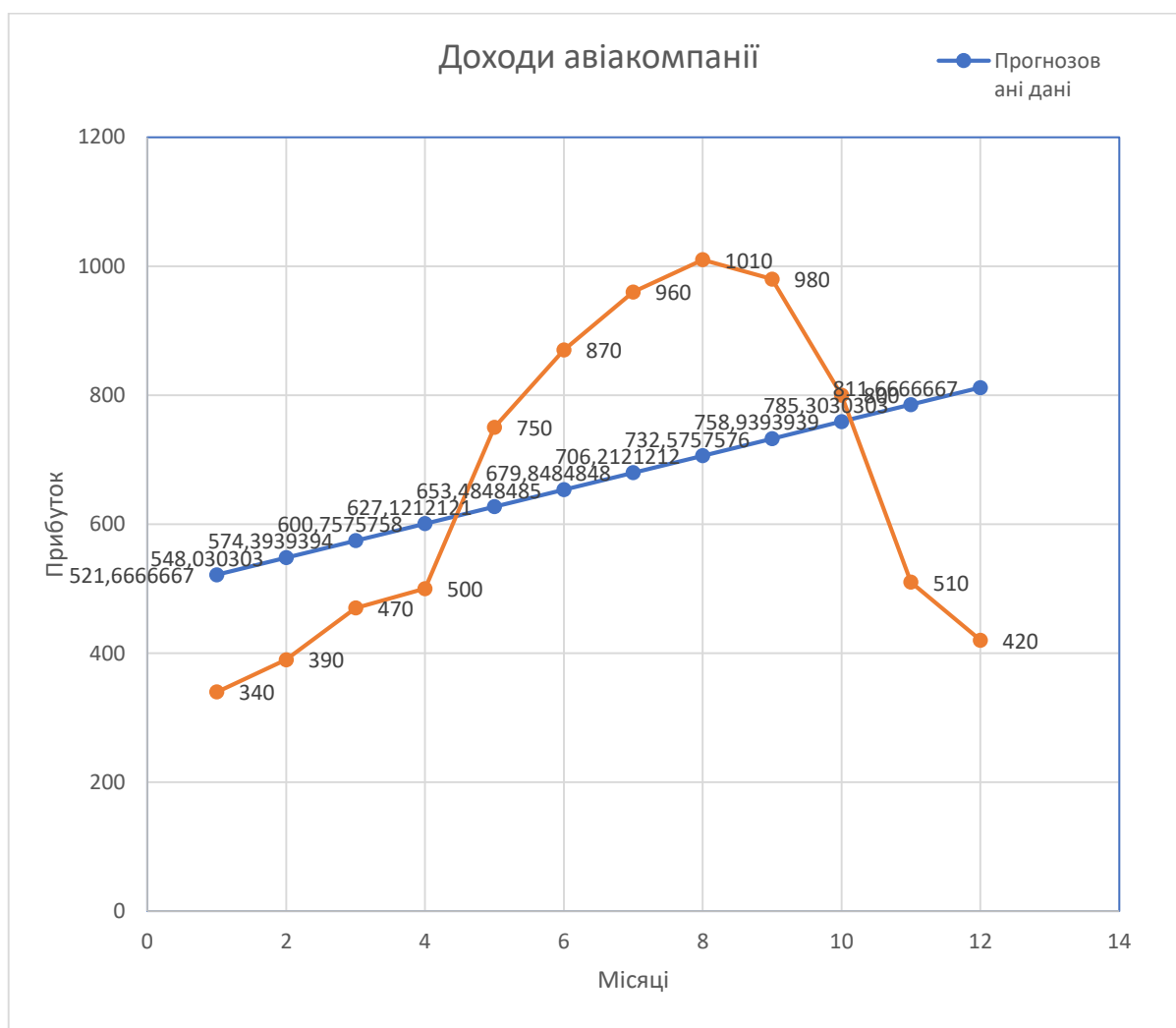


Рисунок 4.2 - Лінія регресії

4.3. Прийняття рішення про інвестування в умовах невизначеності

Визначимо альтернативні стратегії $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$:

A_1 – інвестувати;

A_2 – не інвестувати.

Далі визначимо фактори $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$, які впливають на прийняття рішення, а саме:

λ_1 - **фінансові обмеження** - доступність бюджету та фінансові можливості організації грають важливу роль. Якщо компанія не має достатніх фінансових ресурсів для інвестування у СППР, це може вплинути на рішення;

λ_2 - **оцінка вигідності інвестицій** - аналіз вигідності інвестицій у впровадження СППР, включаючи прогнозовану віддачу від інвестицій і терміни окупності, може вплинути на рішення про інвестування;

λ_3 - **стратегічні цілі** - відповідність впровадження СППР стратегічним цілям організації може бути фактором рішення. Якщо СППР допомагає досягти стратегічних цілей, інвестиції можуть бути більш привабливими;

λ_4 - **потреби користувачів** - розуміння потреб користувачів і те, наскільки СППР відповідає їхнім потребам і очікуванням, також може вплинути на рішення;

λ_5 - **технологічна готовність** - наявність відповідної інфраструктури і технологічної готовності може бути важливим чинником. Якщо існують обмеження щодо технічної інтеграції або сумісності з існуючими системами, це може вплинути на рішення;

λ_6 – **конкурентність** - аналіз того, як впровадження СППР може покращити конкурентоспроможність організації на ринку, може бути важливим фактором;

λ_7 - **непередбачувані обставини** - оцінка ризиків, пов'язаних з впровадженням СППР, і розуміння ступеня невизначеності може вплинути на рішення. Якщо існують значні ризики або невизначеність щодо результатів, це може стримати від інвестицій.

Складаємо матрицю рішень, усі значення якої визначаються методом експертних оцінок (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Матриця рішень

	A	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	Vald	Laplace	Hurwicz	Savage
A ₁	Інвестувати	8	2	8	2	7	8	7	2	6,43	5	6
A ₂	Не інвестувати	4	5	4	3	2	2	6	1	3,86	3,5	4

Критерій Вальда

Оптимальне рішення по критерію Вальда визначаємо за правилом (формула (4.11)):

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\} \quad (4.11)$$

$$A_1 = \min \{8, 2, 8, 2, 7, 8, 7, 3\} = 2$$

$$A_2 = \min \{4, 5, 4, 3, 2, 2, 6, 1\} = 1$$

Визначаємо оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{2, 1\} = 2 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Вальда маємо оптимальне рішення **інвестувати**.

Критерій Лапласа

Оптимальне рішення по критерію Лапласа визначаємо за правилом (формула (4.12)):

$$A^*_i = \max a_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N u(a, \lambda) \right\} \quad (4.12)$$

Число факторів $n = 7$.

$$A_1 = 1/7 * (8+2+8+2+7+8+7+3) = 6,43$$

$$A_2 = 1/7 * (4+5+4+3+2+2+6+1) = 3,86$$

Визначаємо оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{6,43; 3,86\} = 7 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Лапласа маємо оптимальне рішення **інвестувати**.

Критерій Гурвіца

Оптимальне рішення по критерію Гурвіца визначаємо за правилом (формула (4.13)):

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \alpha \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) + (1 - \alpha) \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\} \quad (4.13)$$

Коефіцієнт оптимізму-песимізму α виберемо таким, що дорівнює 0.5.

Оптимальні стратегії:

$$A_1 = \{0,5 \max \{8,2,8,2,7,8,7,3\} + (1-0,5) \min \{8,2,8,2,7,8,7,3\}\} = \{0,5*8 + 0,5*2\} = 5$$

$$A_2 = \{0,5 \max \{4,5,4,3,2,2,6,1\} + (1-0,5) \min \{4,5,4,3,2,2,6,1\}\} = \{0,5*6 + 0,5*1\} = 3,5$$

Оптимальне рішення:

$$A^* = \max \{5; 3,5\} = 5 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Гурвіца маємо оптимальне рішення **інвестувати**.

Критерій Севіджа

Оптимальне рішення по критерію Севіджа визначаємо за правилом (формули (4.14), (4.15)):

$$A^* = \min_{B_j} \max_{A_i} r_{ij}(A_i, B_j), \quad (4.14)$$

$$r_{ij}(A_i, B_j) = \Delta_{A_i} = \max_{B_k} u_{ij}(A_i, B_k) - u_{ij}(A_i, B_j) \quad (4.15)$$

Необхідно сформулювати проміжну матрицю втрат r_{ij} . Для отримання цієї матриці потрібно знайти максимальний елемент в кожному рядку вихідної матриці. Потім, віднявши цей елемент від всіх інших елементів в кожному рядку, ми отримаємо нову матрицю втрат.

Побудуємо матрицю втрат r_{ij} (табл. 4.13):

1-а колонка матриці втрат:

$$r_{11} = 8 - 8 = 0; \quad r_{21} = 6 - 4 = 2.$$

2-а колонка матриці втрат:

$$r_{12} = 8 - 2 = 6; r_{22} = 6 - 5 = 1.$$

3-а колонка матриці втрат:

$$r_{13} = 8 - 8 = 0; r_{23} = 6 - 4 = 2.$$

4-а колонка матриці втрат:

$$r_{14} = 8 - 2 = 6; r_{24} = 6 - 3 = 3.$$

5-а колонка матриці втрат:

$$r_{15} = 8 - 7 = 1; r_{25} = 6 - 2 = 4.$$

6-а колонка матриці втрат:

$$r_{16} = 8 - 8 = 0; r_{26} = 6 - 2 = 4.$$

7-а колонка матриці втрат:

$$r_{17} = 8 - 7 = 1; r_{27} = 6 - 6 = 0.$$

Таблиця 4.13 – Матриця втрат

		Фактори, що впливають на прийняття рішення							Критерій Севіджа
		λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	
Стратегії	A1	0	6	0	6	1	0	1	6
	A2	2	1	2	3	4	4	0	4

$$A^* = \min \max r_{ij} = \min\{6;4\} = 4 - A_1$$

Для задачі вибору за критерієм Севіджа маємо оптимальне рішення **не інвестувати**.

4.4. Розробка бізнес-плану для інвестування впровадження системи підтримки прийняття рішень

Зробивши в розділі 4.2 кореляційно-регресивний аналіз наших даних, щодо щомісячного прибутку в авіакомпанії, ми отримали початкові вхідні дані (табл. 4.14 та рис. 4.3), які ми використаємо для розробки бізнес-плану.

Таблиця 4.14 – Прогнозування прибутку

Місяць	CFt - прибуток, тис. грн	Y-прогнозоване значення, тис. грн
1	340	521,66
2	390	548,03
3	470	574,39
4	500	600,75
5	750	627,12
6	870	653,48
7	960	679,84
8	1010	706,21
9	980	732,57
10	800	758,93
11	510	785,30
12	420	811,66
r – коефіцієнт кореляції	0,4	

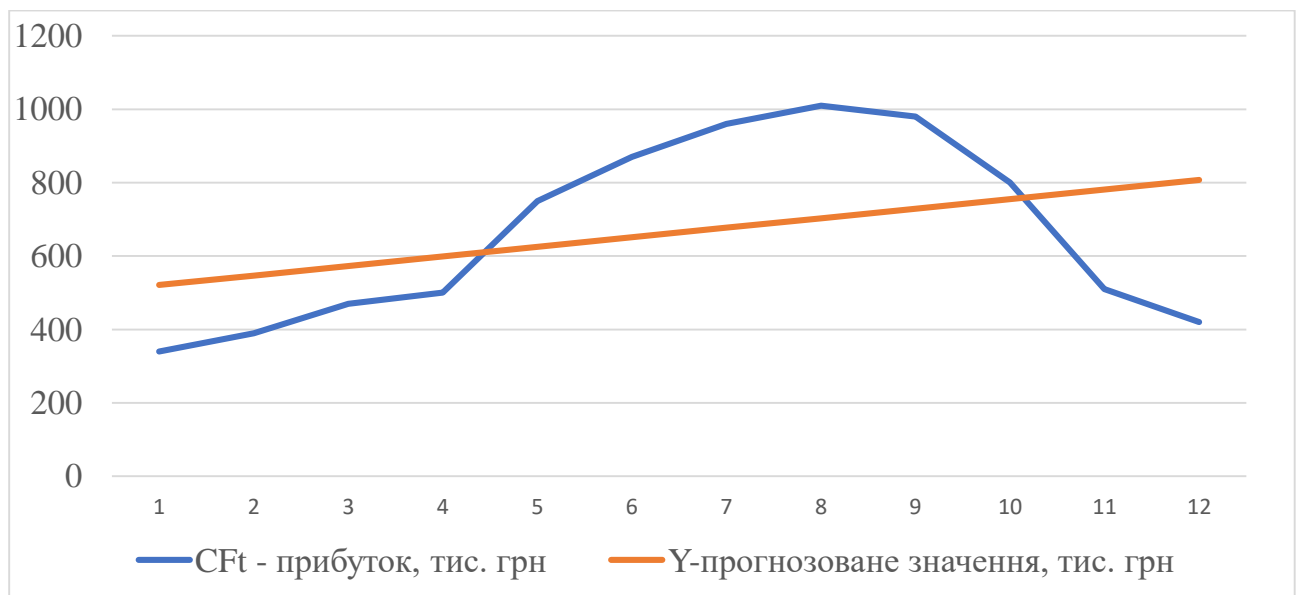


Рисунок 4.3 – Лінія регресії

Внесемо вхідні дані, які нам потрібні для розробки бізнес-плану в розширену таблицю 4.15.

Таблиця 4.15 – Початкові дані

II (Initial Investment) - первісні інвестиції	II	600
CFt - грошові надходження в період часу t		
11, місяць	Cf1	510
12, місяць	Cf2	420
11 & 12, місяць	ΣCF_t	930
SV (Salvage Value) - залишкова вартість	SV	
Cal (вартість засобу)	Cal	500
Cd (амортизація засобу)	Cd	30
SV (Salvage Value) = Cal - Cd	SV	470
Life - строк програми	t	2
K – дисконтна ставка, 20%	K	0,2

Подальші розрахунки проведемо за допомогою Microsoft Excel (рис. 4.4)

1. Розрахунковий рівень доходу (Accounting Rate of Return – ARR)		
Depreciation = (II – SV)/Life		65
DACI = $CF_t / (1 + K)^t, t=1$	DACI ₁₁	425,00
	DACI ₁₂	350,00
	$\Sigma DACI$	775,00
ARR = ((DACI – Depreciation)/II) x 100%,	ARR ₁₁	60,00
	ARR ₁₂	47,50
	ARR _{ср} %,	53,75
2. Період окупності програми (Payback Period – PBP)		
PBP = II / DACI ₁₁	PBP, місяці	1,41
PBP = II / DACI ₁₂	PBP, місяці	1,71
3. Приведений дохід (Net Present Value – NPV)		
$NPV = \Sigma (CF_t / (1 + K)^t) - II = \Sigma DACI - II$	NPV	175,00
4. Індекс прибутковості (Profitability Index – PI)		
$PI = \Sigma (CF_t / (1 + K)^t) / II = \Sigma DACI / II$	PI	1,29
5. Внутрішня норма рентабельності (Internal Rate of Return – IRR)		
$\Sigma (CF_t / (1 + IRR)^t) = Invest$		
$\Sigma CF_t / (1 + IRR) = II$	IRR	0,55
$IRR = CF_t / II - 1$	IRR, %	55

Рисунок 4.4 – Розроблений бізнес-план за допомогою Microsoft Excel

Оскільки внутрішня норма рентабельності (IRR) перевищує стандартний рівень бажаної рентабельності (K), то можна припустити, що програма є прийнятною для інвестування. Згідно з розрахунками інтегрованих показників ефективності інвестицій видно, що обрана програма є економічно ефективною.

Висновок до розділу 4

Під час роботи був виконан детальний аналіз економічної ефективності системи підтримки прийняття рішення. Зроблен аналіз ймовірних ризиків, які можуть вплинути на прийняття рішення щодо впровадження цієї системи.

В першій частині розділу ми користувалися багатокритеріальною оцінкою СППР. Були взяті 5 основних критеріїв ефективності впровадження системи підтримки прийняття рішень. Згідно результату оцінювання видно, що доцільно впроваджувати систему підтримки прийняття рішень через її вплив на стратегічний розвиток.

В наступній частині розділу ми за допомогою кореляційно-регресивного аналізу та статистичних даних про прибуток за 12 місяців спрогнозували прибуток на наступний рік, щоб удостоверитися про можливість інвестування у впровадження СППР.

Далі наша робота була в оцінюванні ризиків та прийнятті рішення в умовах цих ризиків та невизначенності. Згідно отриманого результату за 3 критеріями є доцільно почати інвестування.

Також був розроблений бізнес-план щодо впровадження системи підтримки прийняття рішень

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В АВІАЦІЇ

5.1. Забруднення навколишнього середовища наземними джерелами авіаційного транспорту

Порівняно з іншими видами транспорту авіація має унікальні характеристики щодо впливу на навколишнє середовище. Цей вплив може бути як глобальним, так і локальним. Глобальні наслідки включають створення парникового ефекту та руйнування озонового шару. Локальні ж можна розглядати за двома категоріями: джерела забруднення в межах аеропорту та за його межами[14].

До наземних джерел, які розташовані всередині аеропорту, включають наступні:

- вентиляційні системи, що використовуються на окремих ділянках для обслуговування авіатехніки;
- підприємства авіапаливозабезпечення;
- спецавтотранспорт[14].

До наземних джерел забруднення, що розташовані за межами аеропорту, належать теплоенергетичні споруди, які використовують різні види місцевого палива. Характер забруднень визначається видами палива, методами його використання та системами очищення викидів[14].

З виробничих приміщень аеропорту та окремих об'єктів надходять до атмосферного повітря наступні шкідливі речовини:

- пари нафтопродуктів, кислот, розчинників, фарб, лугів;
- аерозолі, які утворюються при випаровуванні водних розчинів різних речовин. До таких речовин відносяться їдкий натр, вуглекислий натр, фосфорнокислий натр, сірчистий ангідрид, оксиди азоту, окису вуглецю і пил [14].

Кількість небезпечних речовин, що забруднюють атмосферне повітря та, які потрапляють з технічних будівель аеропорту, може перевищувати допустимі норми. Це особливо можливо в зоні групового розташування вентиляційних шахт, де може відбуватися сумація шкідливих викидів, а також може створюватися нові, більш токсичні речовини. У зв'язку з цим важливо вжити заходів для контролю та мінімізації викидів, а також для забезпечення ефективної вентиляції приміщень, щоб знизити вплив на якість атмосферного повітря[14].

5.2. Забруднення навколишнього середовища повітряними джерелами авіаційного транспорту

Літаки спричиняють забруднення атмосфери через викид шкідливих речовин, які виходять з авіаційних двигунів у вигляді відпрацьованих газів. Цей вплив проявляється під час польоту і може бути особливо значущим в районах аеропортів та маршрутах польотів[14].

Хоча на великій висоті та при великих швидкостях забруднення атмосфери може не мати великого глобального впливу, біля аеропорту це забруднення виявляється значно більшим, вимагаючи спеціальних заходів для його контролю[14].

Гази, що утворюються під час роботи авіаційних двигунів, становлять велику частку від загальних викидів ЦА. Найбільш вразливими для навколишнього середовища є режими роботи двигуна на малій швидкості та "тихий хід" двигуна, під час яких в атмосферу викидаються шкідливі речовини в значних кількостях[14].

5.3. Особливості забруднення ґрунтового покриву

Забруднення ґрунтового покриву авіаційним транспортом і пов'язаною з ним технікою включає різні механічні, фізичні і хімічні домішки. Це забруднення виникає через осідання забруднювальних речовин з повітряного басейну на

поверхню ґрунту, які надходять в атмосферу з відпрацьованими газами літаків, наземної авіаційної техніки і котельних топків[14].

Ґрунтовий покрив відрізняється від атмосферного повітря і водою тим, що він менше динамічний і діє як буфер. Однією з особливостей ґрунту є його здатність нагромаджувати інформацію про минулі процеси і зміни, які відбуваються в середовищі. Важко переоцінити велику роль ґрунтів в захисті природних вод, рослинності та атмосфери, проте в цей же час вони легко стають джерелом небезпечних та шкідливих речовин й можуть нанести великі втрати тому, що вони захищають[14].

Важкі метали перерозподіляються в ґрунті та прилеглих середовищах, таких як рослин, вода і повітря, через їх переміщення вздовж ґрунтового профілю. Відмінно від органічних забруднювачів, які можуть розкладатися з часом, важкі метали лише перерозподіляються між різними компонентами природного середовища, і цей процес може тривати тисячі років. Це створює стійке навантаження на екосистеми та може впливати на здоров'я людей через контаміновану воду та продукти харчування. Для зменшення впливу важких металів важливо вдосконалювати методи їх очищення та впроваджувати ефективні стратегії управління відходами та забрудненням[14].

Проведене обстеження ґрунтів в зоні навколо аеропортів виявило значне перевищення вмісту важких металів порівняно з нормальними показниками. Виявлені підвищені рівні забруднення перевищували стандартні норми більше ніж в 20 разів. Найвищі концентрації забруднюючих речовин були виявлені навколо місць зберігання паливо-мастильних матеріалів, місць проведення ремонтних робіт, на пероні аеропорту і особливо вздовж злітно-посадкових смуг, зокрема на ділянках, де здійснюються зльоти і посадки літаків[14].

Дослідження, які проводяться як в Україні, так і за її межами, підтверджують високий ступінь забруднення ґрунтів в районі аеропортів та підприємств, що обслуговують авіаційну техніку. За підсумками аналізу було виявлено, що на кожний квадратний метр ґрунту в середньому припадає від 200

до 250 грамів хімічних речовин штучного походження, як органічних, так і неорганічних. Це вказує на значущий внесок авіаційної діяльності у забруднення довкілля та підкреслює необхідність прийняття заходів для зменшення негативного впливу авіаційного сектору на екосистему ґрунтів та забезпечення їхньої екологічної стабільності[14].

В деяких місцях аеропортів ґрунти забруднені паливо-мастильними матеріалами та вихлопними газами, що призводить до вітрової ерозії. Найвищий рівень забруднення спостерігається в областях, де здійснюється заправка транспортних засобів паливом, й найбільше небезпеку несуть аварійні розливи палива та інших матеріалів[14].

Ця проблема створює серйозні наслідки для якості ґрунту та навколишнього середовища. Зокрема, велика кількість ПММ та газів може негативно впливати на розвиток рослин, а також викликати інші екологічні проблеми. Для вирішення цих проблем, важливо вжити заходів з мінімізації впливу вітрової ерозії, контролю забруднення та впровадження технологій для вдосконалення процесів обслуговування транспорту в аеропортах[14].

Забруднення рослин може виникати зовні, коли шкідливі речовини осідають на поверхні листя і стебел, або внутрішньо, коли ці речовини потрапляють в клітини через коріння. Рослини володіють захисними механізмами, які обмежують проникнення забруднюючих речовин у їх наземні органи та регулюють їхню участь у клітинних метаболічних процесах[14].

Ці захисні механізми відіграють важливу роль у збереженні здоров'я рослин та забезпеченні нормального функціонування їхніх клітин. Однак в деяких випадках, особливо при високому рівні забруднення, ці механізми можуть бути перевантажені, що може призвести до серйозних негативних наслідків для росту та розвитку рослин, а також може впливати на їхню взаємодію з оточуючим середовищем. [14].

5.4. Організація праці на робочому місці

Організація праці на робочому місці – це сукупність дій, спрямованих на те, щоб працівник міг виконувати свої завдання з максимальною ефективністю, використовуючи мінімум ресурсів. Робоче місце, у свою чергу, визначається як технічно обладнана зона, де працівник чи група працівників виконують свою трудову діяльність. Це означає, що потрібно визначити, як найкраще розташувати робочого, щоб він міг виконувати свої завдання з максимальною ефективністю і з мінімальними витратами сил і енергії. Також потрібно визначити, як найкраще розмістити на робочому місці всі необхідні інструменти, матеріали та обладнання, щоб вони були завжди під рукою і не заважали роботі. Велике значення має правильний розподіл робочого часу та часу відпочинку, щоб забезпечити максимально комфортні умови праці. Важливо враховувати, як кожен елемент робочого простору взаємодіє з іншими, щоб створити ергономічне середовище, яке підтримує ефективність та комфорт працівника. Оптимізація цих параметрів сприяє покращенню продуктивності та підвищенню якості виконаної роботи[15].

Правильно обрана робоча поза є ключовою для зменшення втоми та збереження працездатності працівника. Поза в яких може працювати робочий розділяються на вільні та задані. Вільна поза дозволяє працювати то сидячи, то стоячи, що сприяє чергуванню навантаження на м'язи та зниженню загальної втоми. Задана поза може бути сидячою або стоячою, і кожна з них має свої характеристики та вимоги. Наприклад, поза "сидячи" підходить для робіт, які потребують великої точності, але не великого фізичного зусилля, в той час як поза "стоячи" є вимогливою і може сприяти швидкій втомі[15].

Система робочих рухів має ґрунтуватися на принципі "економії рухів", який спрямований на збільшення продуктивності праці та зменшення стомлюваності та помилок. Цей принцип передбачає синхронізацію рухів обох рук, запобігання бездіяльності рук під час роботи, симетричність та взаємодію рухів рук у протилежних напрямках, мінімізацію елементарних рухів, звільнення рук від

зайвої роботи, яку можуть виконати інші частини тіла, та закріплення об'єкта праці за допомогою спеціальних пристроїв. При організації робочих операцій слід дотримуватися такого порядку, який мінімізує кількість елементарних рухів та забезпечує природний і чіткий ритм. Також важливо враховувати напрямок сили тяжіння та уникати різких коливань швидкості і перерв у русі[15].

5.5. Оснащення робочого місця

Устаткування та обладнання робочого місця залежать від характеру виконуваних робіт, їх технологічних процесів і умов праці. Робоче місце повинно бути обладнане інформаційними засобами та органами управління, а також технологічною оснасткою. На робочому місці також має бути присутнє додаткове обладнання, яке може знадобитися для виконання завдань. Це може включати в себе робочий стіл, сидіння для оператора, підставку для ніг, шафу для інструментів та інші необхідні предмети. Для забезпечення безпеки також слід враховувати наявність сигналізаційних засобів та засобів техніки безпеки[15].

Робоче місце працівника, зокрема оператора, розділяється на дві ключові зони: інформаційне поле та моторне поле. У межах інформаційного поля (рис. 5.1) зазначаються три різні зони[15].

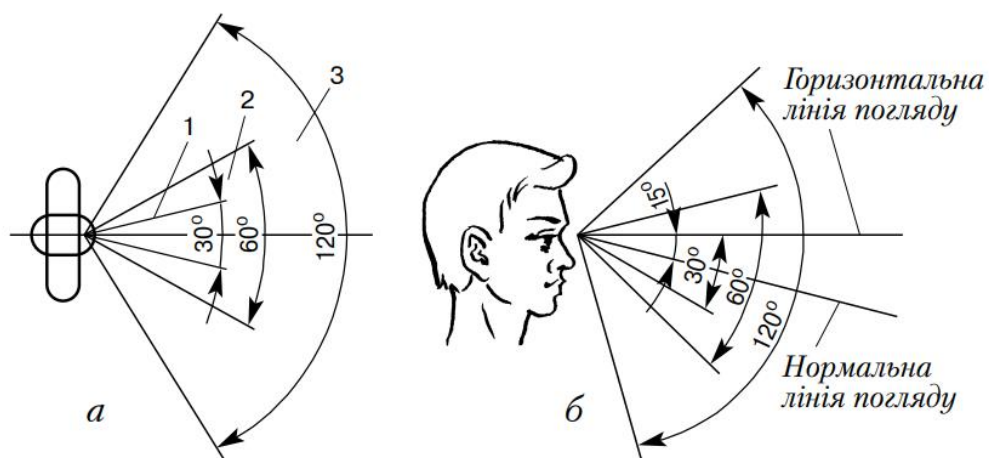


Рисунок 5.1 - Площини в зоні зорового спостереження включають горизонтальну (а) та вертикальну (б)

Перша зона призначена для розміщення засобів відображення інформації, які часто застосовуються і вимагають точного та швидкого зчитування. Друга зона призначена для засобів, які також використовуються часто, але не вимагають швидкого зчитування інформації. Третя зона призначена для засобів відображення інформації, які мають властивість нечастого використання й не потребують швидкого реагування[15].

Така організація робочого місця допомагає підвищити продуктивність праці та забезпечити комфортні умови праці працівників.

В моторному полі (згідно з рисунком 5.2), також можна виділити три області. Перша область - це область оптичної досяжності, де розташовані найчастіше використовувані органи управління (більше 2 рази за хвилину). Друга область - область легкої досяжності, в якій розташовані органи управління, які використовуються часто (2 рази за хвилину). Третя область - область досяжності, де розташовані рідко використовувані органи управління (менше 2 рази за хвилину)[15].

Стандарти виробничої санітарії для робочого місця включають у себе наступні елементи:

- а) наявність необхідних засобів колективного захисту;
- б) обладнання робочого місця необхідними засобами індивідуального захисту;
- в) повне забезпечення природним та штучним освітленням на відповідному рівні;
- г) збереження параметрів мікроклімату відповідно до зазначених санітарних норм;
- д) наявність системи вентиляції;
- е) дотримання параметрів інших санітарно-гігієнічних факторів в межах гранично допустимих значень відповідно до відповідних нормативних документів[15].

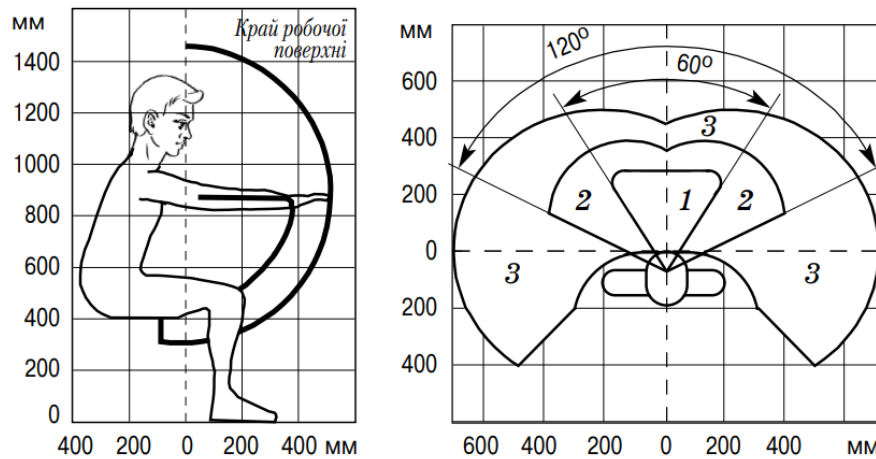


Рисунок 5.2 - Простір в моторному полі під час виконання ручних операцій та розташування керуючих органів у робочому положенні «сидячи» розподіляється так: 1 - область оптимальної досяжності; 2 - область легкої досяжності; 3 - область досяжності

5.6. Вибір оптимального режиму роботи і відпочинку

Вибір оптимального режиму праці та відпочинку є важливим для забезпечення ефективності трудової діяльності і підтримки здоров'я працівника. Під час виконання роботи, яка вимагає підвищеної уваги, швидкості та точності, може виникнути перевантаження та втома організму, що негативно впливає на працездатність. Така ж проблема може виникнути при монотонній роботі, яка включає повторювані одноманітні операції у примусовому режимі та заданій позі[15].

Для запобігання цим негативним наслідкам важливо встановити оптимальний режим роботи та відпочинку, що включає чергування періодів праці та відпочинку. Оптимальний режим полягає у розумному розподілі часу між працею і перервами, який досягає найвищої продуктивності працівника і сприяє збереженню його здоров'я[15].

Для досягнення оптимального режиму роботи і відпочинку використовують різні стратегії, такі як:

- Регулярні короткі перерви (5-10 хвилин) під час важкої фізичної праці.

- Довгі перерви для відпочинку та переключення на іншу форму роботи, особливо для розумової праці.
- Зміна умов праці, наприклад, робота при різних температурах.
- Зменшення монотонності в роботі.
- Відпочинок у спеціальних кімнатах для психологічного розвантаження та відпочинку[15].

Для підвищення ефективності відпочинку також можна використовувати психічний вплив музики. Чергування праці та відпочинку має враховувати зміни в працездатності людини протягом робочого дня (рисунок 5.3). Наприклад, на початку робочої зміни може бути стадія "впрацювання", коли необхідно відновити робочі навички. Потім настає стадія високої працездатності, і в кінці робочого дня може виникнути стадія зменшення працездатності або розвитку втоми[15].

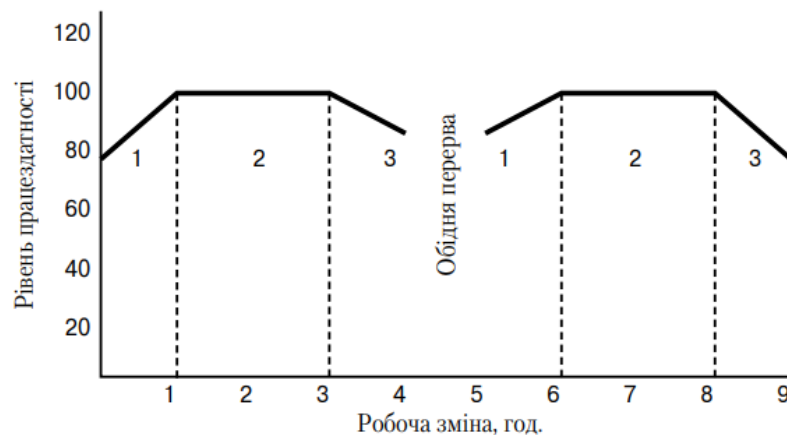


Рисунок 5.3 - Динаміка ефективності праці протягом робочого дня: 1 - етап "адаптації" (збільшення працездатності); 2 - етап високої та стабільної працездатності; 3 - етап зниження працездатності (розвиток втоми)

Для зменшення втоми та підтримки продуктивності робочого місця рекомендується встановлювати регулярні перерви в роботі, під час яких працівник може відпочивати і виконувати фізичні вправи для розслаблення м'язів. Такий активний відпочинок може сприяти збереженню ефективності та підвищенню здоров'я працівників[15].

Висновок до розділу 5

Вплив наземних джерел авіаційного транспорту на навколишнє природне середовище є значущим і може мати як глобальні, так і локальні наслідки. Глобальний вплив включає формування парникового ефекту та руйнування озонового шару, що мають серйозний вплив на клімат і навколишню екосистему.

Локальний вплив наземних джерел забруднення авіаційним транспортом може бути розділений на дві категорії: джерела забруднення всередині аеропорту і ті, що знаходяться за його межами.

У межах аеропорту джерелами забруднення є вентиляційні системи, підприємства авіапаливозабезпечення та спецавтотранспорт. Вони викидають в атмосферу різні шкідливі речовини, які можуть перевищувати граничнодопустимі норми.

Джерела забруднення, розташовані за межами аеропорту, включають установки теплоенергетики, які використовують місцеве паливо. Характер забруднення залежить від видів палива, методів його спалювання та систем очищення викидів.

Забруднення ґрунтового покриву внаслідок авіаційного транспорту також є серйозною проблемою. Ґрунти навколо аеропортів можуть містити велику кількість важких металів та інших забруднювачів. Викиди з двигунів літаків і наземних джерел можуть завдати шкоди рослинам і ґрунтовому покриву, а вітрова ерозія може спричинити подальше поширення забруднення.

Отже, авіаційний транспорт залишає важливий слід на навколишньому середовищі, і важливо вживати заходи для зменшення його негативного впливу, включаючи контроль за викидами та заходи з охорони природи в зоні аеропортів.

Правильне планування і облаштування робочого місця сприяє підвищенню продуктивності праці і збереженню здоров'я працівників. Це включає в себе оптимізацію робочих поз, системи робочих рухів та інші аспекти, які спрямовані на поліпшення умов праці.

Важливо правильно підібрати робочу позу та систему рухів, щоб зменшити втому та підвищити продуктивність праці. Вільна робоча поза дозволяє чергувати навантаження на м'язи, а задана поза залежить від характеру робіт.

Організація робочого місця включає в себе не лише технічне обладнання, але й належну систему освітлення, вентиляції, індивідуального захисту та інші аспекти, які впливають на безпеку та комфорт працівників.

Важливо встановити оптимальний режим праці та відпочинку, який враховує характер роботи і сприяє підтримці працездатності. Регулярні короткі перерви, зміна умов праці та інші стратегії можуть бути використані для досягнення цього.

Врахування змін у працездатності працівника протягом робочого дня і відповідне планування робочого процесу можуть допомогти підтримувати високу продуктивність та запобігати втомі.

Отже, правильна організація праці на робочому місці і дотримання оптимального режиму роботи та відпочинку сприяють підвищенню якості і продуктивності праці, а також збереженню здоров'я працівників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження та аналізу авіаційних інцидентів, пов'язаних з проблемами з шасі, а також розробки системи підтримки прийняття рішень для авіадиспетчерів, можна зробити наступний висновок:

В ході даної дипломної роботи було досліджено і систематизовано фактори, що впливають на прийняття рішень операторами авіадиспетчерської служби в авіаційних ситуаціях, де виникали проблеми з шасі. Розроблено систему підтримки прийняття рішень, яка допомагає операторам у прийнятті обґрунтованих рішень для керування процесом в аварійних ситуаціях.

Аналіз авіаційних інцидентів у першому розділі підтвердив, що проблеми з шасі є однією з основних причин аварій та інцидентів під час посадки літаків. Дослідження дозволило виокремити технічні, людські та фактори навколишнього середовища як основні причини виникнення таких проблем.

В другому розділі було досліджені методи, які використовуються для спільного прийняття рішення.

СППР, описана в третьому розділі, допомагає операторам приймати ефективні рішення в умовах невизначеності та ризику. Вона допомагає здійснювати аналіз ситуації, враховувати різні фактори та вибирати оптимальні варіанти завершення польоту при проблемах з шасі, забезпечуючи безпеку пасажирів і льотного екіпажу.

В дипломній роботі був проведений детальний аналіз економічної ефективності СППР в четвертому розділі. Аналіз включав оцінку ймовірних ризиків, які можуть вплинути на рішення щодо впровадження цієї системи.

На основі проведеного аналізу ефективності та оцінки ризиків, можна зробити висновок, що впровадження системи підтримки прийняття рішень є обґрунтованим та стратегічно важливим кроком.

Здійснений аналіз екологічного впливу авіаційного транспорту у п'ятому розділі вказує на серйозні проблеми, які стосуються як глобальних, так і

локальних аспектів. Це вимагає негайних заходів на рівні міжнародних угод та технологічних інновацій для зменшення впливу цих проблем.

Наземні джерела забруднення в аеропортах, такі як системи вентиляції та підприємства авіапаливозабезпечення, створюють ризик для якості повітря навколо аеропорту та для здоров'я працівників та мешканців регіону. Організація ефективного контролю за викидами і впровадження більш екологічних технологій може допомогти зменшити цей вплив.

Також в 5 розділі було розглянуто охорону праці. Організація робочого місця та режиму роботи має велике значення для ефективності та здоров'я працівників. Важливо забезпечити оптимальні умови праці, включаючи оптимізацію робочих поз, регулярні перерви, системи освітлення та вентиляції, а також врахування змін у працездатності працівника протягом робочого дня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2012. – 292 с.
2. Харченко В.П. Прийняття рішень в соціотехнічних системах: монографія / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда. – К. : НАУ, 2016. – 308 с.
3. IATA Safety report – 2022 / Link: <https://www.iata.org/en/publications/safety-report/interactive-safety-report/>
4. Causal Factors for General Aviation Accidents/Incidents Between January 1984 and October 2004 / Link: https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/small_airplanes/cos/media/causal%20factors%20-%20final%20report.pdf
5. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations | 1959 – 2018 50th Edition / Link: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2023-02/statsum_summary_2018.pdf
6. Shmelova, T. Collaborative Decision-Making Models in Flight Emergency “Landing Gear Failure on Takeoff” / Shmelova, T., Sikirda, Y., Yatsko, M., Marienkov, I., Sahun, Y. // CEUR Workshop Proceedings, 2023, 3373, pp. 15–33. Link: <https://ceur-ws.org/Vol-3373/keynote2.pdf>
7. Guidelines for Controller Training in the Handling of Unusual/Emergency Situations. – EUROCONTROL, 2003.
8. Aircraft Emergencies Considerations for air traffic controllers. - Civil Aviation Authority, 2005.
9. S. Hradecky, Incident: Wizz A320 at Katowice on Jun 15th 2021, gear doors remained open, The Aviation Herald, 2021. Link: <https://avherald.com/h?article=4e8f15a3&opt=0>.
10. S. Hradecky, Incident: THY A333 at Cape Town on Jan 2nd 2020, could not retract landing gear, 2020. Link: <https://avherald.com/h?article=4d17241f&opt=0>.

11. S. Hradecky, Incident: LATAM Cargo B763 at New York on Oct 29th 2022, gear problem, 2022. Link: <https://avherald.com/h?article=5005f056&opt=0>.

12. Бешелев С.Д. Экспертные оценки / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Наука, 1973. - 163 с.

13. Бідюк П.І. Системи і методи підтримки прийняття рішень / П.І. Бідюк, О.Л. Тимошук, А.Є. Коваленко, Л.О. Коршевніук. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 610 с.

14. Ісаєнко В.М. Захист навколишнього середовища в авіатранспортних процесах : підручник / В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк. – К.: НАУ, 2020. – 320 с.

15. Ткачук К.Н. Основи охорони праці: Підручник. 21ге видання, доповнене та перероблене / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006. — 448 с

16. Міністерство інфраструктури України, Наказ від 07.11.2011 №521 «Про затвердження Правил обслуговування повітряного руху з використанням систем спостереження».

17. Doc. 4444 ATM/501, Правила аэронавигационного обслуговування «Организация воздушного движения». – Международная организация гражданской авиации, 2007.

18. International Civil Aviation Organization (2002) Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual. 1st ed. Doc. ICAO 9806-AN/763, Canada, Montreal, ICAO Publ., 138 p.

19. Мар'єнков І.С. Детермінована модель прийняття рішень оператором-диспетчером в умовах визначеності в надзвичайній ситуації «Проблеми з шасі» під час зльоту / І.С. Мар'єнков, Т.Ф. Шмельова // Тези доповідей: XXIII Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки», Київ, 4-7 квітня 2023 р.: матеріали конф. – Київ.: НАУ, 2023. – 205 с.

20. Global Air Navigation Plan 2016-2030. Doc 9750-AN/963. Fifth Edition. – Canada, Montreal: ICAO, 2016.
21. Шмельова Т.Ф. Мережеве планування дій авіадиспетчера / Т. Ф. Шмельова, О. П. Бондар, І. Л. Якуніна // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - 2012. - № 1. - С. 63-66.
22. Шмельова Т. Спільні прийняття рішень в інтегрованій підготовці авіаційних фахівці / Т. Шмельова, В. Колотуша // АВІА-2023: XVI міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 18-20 квітня 2023 р.: тези доповідей. – К. : Національний авіаційний університет, 2023
23. Шмельова Т. Суб’єктивно-об’єктивний метод сумісного прийняття рішень операторами аеронавігаційної системи в особливому випадку в польоті / Ю. Сікірда, М. Яцко / АВІА-2023: XVI міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 18-20 квітня 2023 р.: тези доповідей. – К. : Національний авіаційний університет, 2023
24. Shmelova T., Sikirda Yu., Yatsko M., Kolotusha V. Intelligent Integrated Training System for the Aviation Specialists “Collaborative Decision-Making – Education” (CDM-E). International Symposium "Intelligent Solutions“, 27-28 September 2023, Uzhhorod, Ukraine, <https://ceur-ws.org/Vol-3538/>
25. Sikirda Y., Shmelova T., Kharchenko V., and Kasatkin M. Intelligent System for Supporting Collaborative Decision Making by the Pilot/Air Traffic Controller in Flight Emergencies In CEUR Workshop Proceedings Vol 2853, pp. 127–141, 2021 <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper12.pdf>
26. Airport CDM Implementation Manual Edition Number 5.0 Edition Validity Date 31 March 2017 EUROCONTROL Airport CDM Team
27. Shmelova, T., Sikirda, Y., Yatsko, M., Kasatkin, M. Collective Models of the Aviation Human-Operators in Emergency for Intelligent Decision Support System CEUR Workshop Proceedings this link is disabled, 2022, 3156, стр. 160–174 <https://ceur-ws.org/Vol-3156/paper10.pdf>
28. Manual on Flight and Flow Information for a Collaborative Environment (FF-ICE). Doc. 9965. First Edition. – Canada, Montreal: ICAO, 2012. – 140p.

29. Shmelova, T., Sikirda, Y., Scarponi, C., & Chialastri, A. (2018). Deterministic and stochastic models of decision making in air navigation socio-technical system. In CEUR Vol 2805 Workshop Proceedings (Vol. 2104, pp. 649–656). CEUR-WS.

30. Шмельова Т.Ф. Детерміновані та недетерміновані моделі сумісного прийняття рішень операторами аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, М.В. Касаткін. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. № 1(38). С. 91-99. <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.38.11>.

31. Global Air Traffic Management Operational Concept. Doc. 9854. First Edition. – Canada, Montreal: ICAO, 2005. – 82 p.

32. Курс базової підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. Державне підприємство ОПР. Видання 1.0. Електронний ресурс. – Режим доступу: https://tcc.ukosatse.ua/wp-content/uploads/2022/11/Catalog_2023.pdf

33. Мар'єнков І.С. Інтелектуальна СППР. Спільні прийняття рішень в аварійній ситуації «Відмова шасі» / І.С. Мар'єнков, Т.Ф. Шмельова // Тези доповідей: XIV Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сталий розвиток систем зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM - 2023», Київ, 29 листопада 2023 р.: матеріали конф. – Київ.: НАУ, 2023.

34. Мар'єнков І.С. Прийняття рішення в умовах невизначеності під час польоту на маршруті у разі виникнення проблем з шасі / І.С. Мар'єнков, Т.Ф. Шмельова // Тези доповідей: XXII Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки», Київ, 5-7 квітня 2022 р.: матеріали конф. – Київ: НАУ, 2022.

35. Мар'єнков І.С. Моделі спільного прийняття рішень у аварійних ситуаціях у польоті «Відмова шасі під час зльоту» / І.С. Мар'єнков, Т.Ф. Шмельова // Тези доповідей: XXIII Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки», Київ, 4-7 квітня 2023 р.: матеріали конф. – Київ.: НАУ, 2023. – 205 с.