

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
Ю.В. Грищенко
«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: «Оцінка ризиків небезпечного зближення літаків під час
ПОЛЬОТУ»

Виконавець: Солдатенко Сергій Юрійович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: ст. викл. Ситнянських Любов Михайлівна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: _____ Левківський В.В.
(підпис) (П.І.Б.)

Київ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Ю.В.Грищенко

«___»_____2024р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Солдатенко Сергій Юрійович

1. Тема роботи: «Оцінка ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту» затверджена наказом ректора від «14» 03 2024р. №385/ст

2. термін виконання роботи: з 13 травня 2024 по 16 червня 2024.

3. Вихідні дані роботи: Система попередження зіткнення літаків у повітрі, TCAS, режими роботи TCAS транспондер, літаковий радіолокаційний відповідач, система радіолокаційного розпізнавання («свій-чужий»)

4. Зміст пояснювальної записки:

Розділ 1. Теоретичні основи оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту;

Розділ 2. Система TCAS як засіб для оцінки потенційно небезпечного зближення літаків під час польоту;

Розділ 3. Оцінка та аналіз потенційного зближення літаків під час польоту

Розділ 4. практичні аспекти та заходи щодо запобігання ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту;

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми, графіки. Типи літакових відповідачів. Режими роботи літакових відповідачів.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Обґрунтування теми дипломної роботи	10.03.2024	
2.	Проведення огляду літератури	24.03.2024	
3.	Підготовка та написання 1 розділу	15.04.2024	
4.	Підготовка та написання 2 розділу	01.05.2024	
5.	Підготовка та написання 3 розділу	23.05.2024	
6.	Перевірка на анти плагіат та отримання рецензії на диплом	1.06.2024	
7.	Оформлення та друк пояснювальної записки	02.06.2024	
8.	Підготовка презентації та доповіді	05.06.2024	

7. Дата видачі завдання: _____

Керівник дипломної роботи _____ Ситнянських Л.М.

(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Солдатенко С.Ю.

(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оцінка ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту»: 54 сторінки, 13 рис., -- табл., 12 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: оцінка ризику небезпечного наближення літаків під час польоту.

Предмет дослідження: аспекти та заходи щодо запобігання ризиків небезпечного зближення літаків від час польоту; система попередження зіткнення літаків у повітрі TCAS.

Мета роботи: розглянути можливості покращення системи попередження зіткнення літаків у повітрі TCAS.

Методи дослідження: математичний метод оцінки характеристик системи попередження зіткнення літаків у повітрі, дослідження режимів роботи системи.

Ключові слова: Система попередження зіткнення літаків у повітрі, TCAS, транспондер, літаковий радіолокаційний відповідач, небезпечне наближення літаків під час польоту.

ЗМІСТ

Вступ.....	.....
Розділ 1. Теоретичні основи оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту.....	.....
1.1 Загальні поняття небезпечних зближень літаків в повітрі.....	.....
1.2 Потенційно небезпечні ситуації зближення літаків та їх вирішення. ....	.....
1.3 Розробка універсального алгоритму розв'язання та оцінки небезпечних зближень літаків.....	.....
Розділ 2. Система TCAS як засіб для оцінки потенційно небезпечного зближення літаків під час польоту.....	.....
2.1 Система для оцінки потенційно небезпечного зближення літаків під час польоту. ....	.....
2.2 Основні компоненти та режими роботи TCAS.....	.....
2.3. Транспондер та режими його роботи.....	.....
Розділ 3. Оцінка та аналіз потенційного зближення літаків під час польоту.....	.....
3.1. Статистична оцінка потенційно небезпечних зближень літаків.....	.....
3.2. Причини виникнення потенційно небезпечних зближень літаків під час польоту.....	.....
Розділ 4. практичні аспекти та заходи щодо запобігання ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту.....	.....
4.1. Технологічні рішення для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків.....	.....
4.2. Рекомендації щодо покращення системи моніторингу конфліктних ситуацій.....	.....
4.3. Перспективи розвитку та впровадження новітніх технологій у моніторинг конфліктних ситуацій.....	.....
Висновки.....	.....
Перелік використаних джерел.....	.....

ВСТУП

Актуальність теми. Оцінка ризиків небезпечного зіткнення літаків під час польоту займає одне з центральних місць у забезпеченні безпеки польотів та ефективності авіаційної діяльності на глобальному рівні. З розвитком авіаційного транспорту та збільшенням обсягів пасажирських та вантажних перевезень, питання зменшення та управління небезпечними зближеннями набуває особливої ваги. Значний ріст авіаційних операцій призводить до збільшення ризиків у повітряному просторі, що вимагає вдосконалення існуючих і розробки нових підходів до моніторингу та управління безпекою польотів. Науковий інтерес до даної теми обумовлений необхідністю зменшення небезпечних зближень, забезпечення безпеки пасажирів і персоналу, а також підтримки стабільної роботи авіаційних компаній.

Мета дослідження полягає в аналізі сучасних методів оцінки небезпечних зближень літаків та розробці рекомендацій щодо їх оптимізації та зменшення.

Завдання дослідження:

1. Вивчити теоретичні основи небезпечних зближень в польоті.
2. Аналізувати сучасні методи та технології оцінки небезпечних зближень.
3. Оцінити ефективність існуючих систем оцінки небезпечних зближень літаків під час польоту.
4. Розробити рекомендації щодо покращення систем моніторингу на основі аналізу отриманих даних.
5. Провести експертну оцінку запропонованих рекомендацій з метою їх подальшого впровадження.

Об'єкт дослідження — небезпечні зближення літаків під час польоту

Предмет дослідження — методи та технології, спрямовані на зменшення ризиків небезпечних зближень літаків.

Методи дослідження. Для досягнення поставлених завдань у дослідженні застосовуються такі методи:

- Аналіз літературних джерел для вивчення теоретичних основ при небезпечному зближенні літаків
- Статистичний аналіз для обробки даних про інциденти та аварії, що стосуються небезпечних зближень.
- Експертні оцінки для визначення ефективності існуючих систем оцінки ризиків небезпечного зближення літаків.
- Моделювання та прогнозування для аналізу потенційних наслідків запровадження нових технологій у системи аналізу.

Ці методи дозволяють провести всебічний аналіз небезпечних зближень, виявити ключові проблеми та запропонувати ефективні рішення їх розв'язання. Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації процесів аналізу та підвищення безпеки польотів у цивільній авіації.

У зв'язку зі зростанням глобального авіаційного трафіку та посиленням вимог до безпеки польотів, вивчення та впровадження сучасних технологічних рішень у аналіз небезпечних зближень стає особливо актуальним. Це дозволить не тільки ефективно управляти ризиками, але й сприяти підвищенню довіри пасажирів до авіаційних перевізників.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ РИЗИКІВ НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗБЛИЖЕННЯ ЛІТАКІВ ПІД ЧАС ПОЛЬОТУ

1.1 Загальні поняття небезпечних зближень літаків в повітрі

Моніторинг небезпечних зближень літаків в повітрі є важливим аспектом забезпечення безпеки польотів та ефективної роботи авіакомпаній. Небезпечні зближення можуть виникати на різних етапах польотного процесу і мати різний ступінь складності та серйозності наслідків. У цій роботі розглядаються поняття небезпечних зближень, їх класифікація та основні види, які можуть мати місце в цивільній авіації.

Класифікація небезпечних зближень є важливим елементом для їх розуміння та ефективного управління. В загальному вигляді небезпечні зближення можна поділити на декілька категорій: технічні, організаційні, операційні та людські.

Технічні небезпечні зближення включають в себе всі види несправностей авіаційної техніки, які можуть виникнути під час польоту. Це можуть бути проблеми з двигунами, системами управління, навігаційним обладнанням, гідравлічними системами та іншими важливими компонентами літальних апаратів. Моніторинг технічних несправностей включає регулярні перевірки та обслуговування техніки, а також використання сучасних систем діагностики, які дозволяють виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях.

Організаційні небезпечні зближення пов'язані з недоліками в управлінні авіаційною діяльністю. Це можуть бути проблеми з плануванням польотів, неправильне розподілення ресурсів, відсутність координації між різними службами аеропорту або авіакомпанії. Організаційні конфлікти можуть також виникати через неправильне управління персоналом, що може призводити до перевтоми пілотів, диспетчерів та інших працівників, що безпосередньо впливає на безпеку польотів. Для ефективного оцінки небезпечного зближення літаків під час польоту необхідно впроваджувати системи управління якістю, які дозволяють своєчасно виявляти та усувати організаційні недоліки.

Операційні небезпечні зближення стосуються безпосередньо виконання польотів та можуть включати проблеми, що виникають під час польоту. До таких ситуацій належать, наприклад, випадки відмови одного з двигунів, втрати зв'язку з диспетчером, відхилення від маршруту через несприятливі погодні умови, зіткнення з птахами або іншими об'єктами, а також інші події, що можуть впливати на безпеку польотів. Оцінка небезпечних зближень включає використання систем спостереження за польотами, таких як радіолокаційні системи, автоматизовані системи контролю польотів, а також обробка даних з бортових самописців.

Людські фактори є однією з головних причин виникнення небезпечних зближень в цивільній авіації. Помилки пілотів, диспетчерів, технічного персоналу та інших учасників авіаційного процесу можуть мати серйозні наслідки для безпеки польотів. Людські помилки можуть бути спричинені різними факторами, включаючи стрес, втому, недостатню підготовку, недоліки в комунікації та інші психологічні аспекти. Зменшення людських факторів включає в себе проведення регулярних тренувань та підвищення кваліфікації персоналу, впровадження систем контролю за станом здоров'я та працездатністю працівників, а також аналіз інцидентів з метою виявлення та усунення причин людських помилок.

Аналіз таких подій дозволяє виявити причини їх виникнення, оцінити ефективність існуючих заходів безпеки та розробити рекомендації для запобігання подібних ситуацій у майбутньому. Зазвичай аналіз інцидентів та аварій включає дослідження даних з бортових самописців, свідчень екіпажу та пасажирів, технічного стану літального апарату, а також інших факторів, що могли вплинути на розвиток подій.

1.2 Потенційно небезпечні ситуації зближення літаків та їх вирішення.

Однією з найважливіших причин небезпечних зіткнень повітряних суден є те, що диспетчери приймають рішення щодо прогнозування та ідентифікації зіткнення на основі неповної інформації в умовах обмеженого часу.

Узагальнена форма цієї класифікації має дуже розгалужену і розподілену структуру, і з неї можна зробити кілька важливих висновків:

- Більшість методів і алгоритмів розроблені для конфліктних ситуацій за участю лише двох повітряних суден, а в більш складних випадках використовується попарний перебір без урахування можливого впливу вирішення одного конфлікту на інші, відносно близькі за часом і відстанню конфлікту;
- Найвища ефективність вирішення конфліктів досягається за рахунок використання наземних розподілених бортових систем, які ще не впроваджені в повному обсязі.



Рис.1.1 класифікація зіткнень ПС у повітрі

Перетинання рівня на попутних траекторіях.

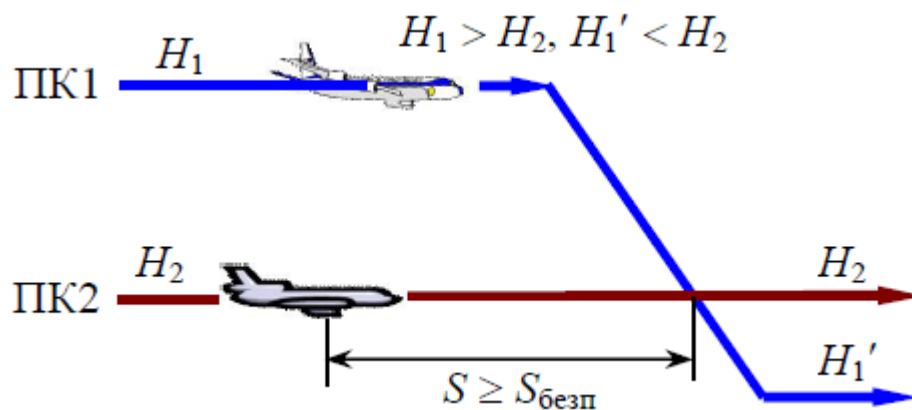


Рис 1.2 Перетинання рівня на попутних траекторіях.

На Рис 1.2 Один ПС прямує горизонтально, а інший зі змінним профілем. Для вирішення цього потенційно небезпечного зіткнення потрібно дати команду на зниження або набирання висоти до найближчого суміжного рівня в попутному напрямку. Таким чином забезпечується безпечний поперечний інтервал для перетинання зайнятого рівня. Коли загрози небезпечного зіткнення немає, можна дозволити подальше зниження або набирання висоти.

Два ПС прямують в одному напрямку в режимі набирання висоти.

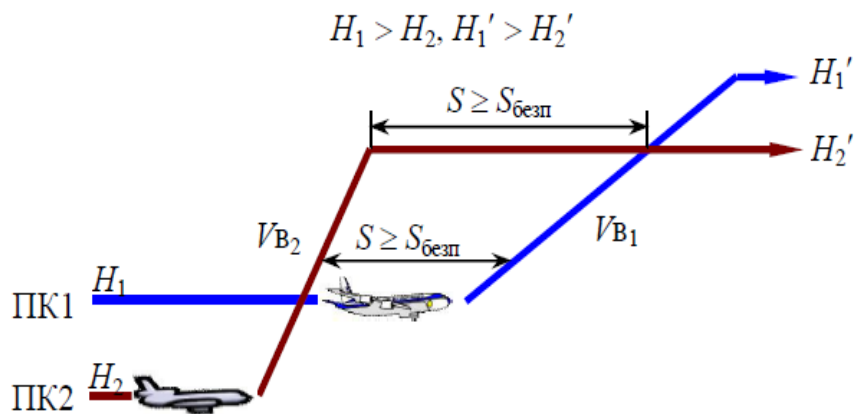


Рис.1.3 слідування двох ПС у одному напрямку з набором висоти

На Рис 1.3 крейсерський рівень ПС1 вищий, але вертикальна швидкість менша, ніж в ПС2. В такому випадку ПС2 може догнати ПС1 за вистою, якщо поперечний інтервал у момент перетинання зайнятого рівня забезпечується.

Два ПС прямують в одному напрямку і знижуються.

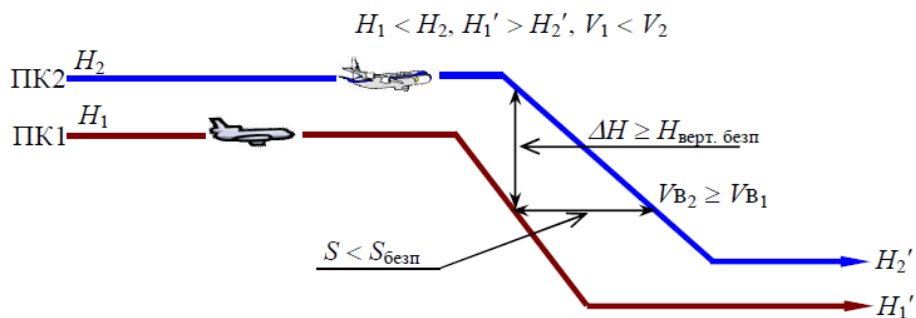


Рис 1.4 слідування двох ПС одним напрямком з наступним зниженням

На Рис 1.4 безпечний поперечний інтервал між ПС у момент перетинання зайнятого рівня. В такому випадку необхідно дати команду зниження ПС, який рухається нижче, а інший ПС буде знижуватися на рівень польоту в попутному напрямку вище. При необхідності можна обмежити вертикальну швидкість другого ПС.

Перетин траєкторій

Якщо інтервал моменту перетину траси становить більше половини від мінімально безпечного, а змінити швидкість неможливо, або їх зміни недостатньо, то потрібно повернути повільний ПС на 30 градусів в сторону швидкого ПС і підвести його до межі траси. Через 1-2 хвилини відвернути менш швидкий ПС на 30 градусів у напрямку до осі маршруту (Рис 1.5)

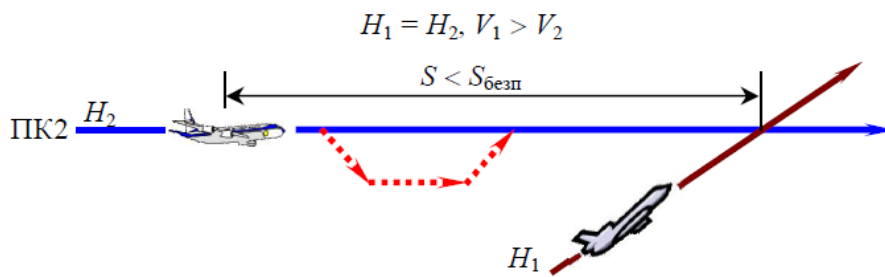


Рис 1.5 перетин траєкторій

Політ на одному рівні

Поперечний інтервал не забезпечується, тоді потрібно негайно змінити рівень польоту одному з ПС (Рис 1.6)

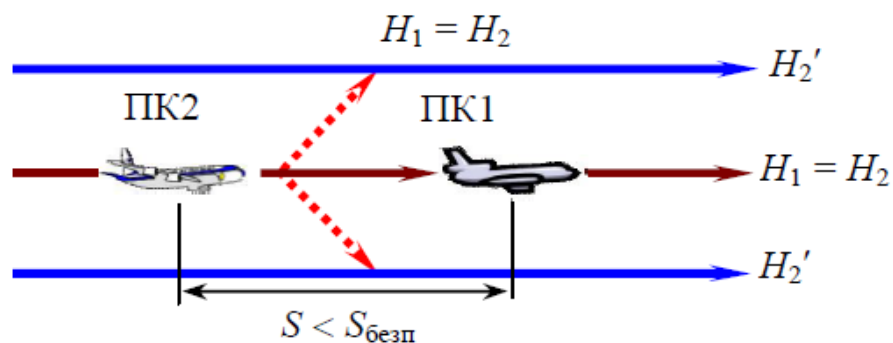


Рис 1.6 політ ПС на одному рівні

1.3 Розробка універсального алгоритму розв'язання та оцінки небезпечних зближень літаків.

У цій статті ми застосовуємо запропонований в роботі уніфікований підхід до формування траєкторій польоту як в стаціонарних, так і в рухомих небезпечних зонах. В останньому випадку це можуть бути зони переміщення в нельотну погоду або зони небезпечної близькості від інших повітряних суден.

По-перше, конфлікти потрібно чітко визначити. Конфлікти - це ситуації, коли порушується мінімальна відстань між двома або більше віцепрезидентами. Іншими словами, відстань між літаками порушує певні критерії, які вважаються небажаними. Прикладами таких критеріїв є мінімальна відстань по горизонталі 10км або мінімальна відстань по вертикалі 300м. Як наслідок, кожне повітряне судно буде знаходитися в захищеній зоні або повітряному просторі, де інші літаки не можуть літати. Захисна зона також може бути визначена як менша територія (наприклад, сфера діаметром 100 м).

У будь-якому випадку, основна функція системи попередження про зіткнення схожа, але модель і обсяг попередження відрізняються.

Існують також способи автоматизації виявлення і вирішення проблем зіткнень у повітрі:

- Інформація про місцезнаходження літака;
- Динамічні моделі розподілу;
- Обмеження виявлення конфлікту;
- Вирішення конфлікту;
- можливості маневрування та управління множинними конфліктами (подвійними та глобальними).

Автоматизовані системи використовуються як в кабіні літака, так і на землі для підтримки прийняття рішень і як системи аварійного попередження про зіткнення в повітрі. Ці системи можуть використовувати конфіденційну інформацію для запобігання зіткненням між літаками або для попередження пілотів про потенційні зіткнення, а також надавати команди та інструкції для

вирішення проблеми зіткнення. Відносно просте прогнозування зіткнень вже багато років є частиною автоматизації УПР, а системи попередження зіткнень на борту літаків попереджають екіпаж про потенційні зіткнення

Однак виявлення траєкторії польоту здійснюється в декартовій системі. У цьому випадку для бортової реалізації необхідно перенести всі дані про навколишнє середовище з географічної в декартову систему, визначити в ній безпечну траєкторію і перевести останню в географічну. Окрім значного збільшення обчислювальних операцій, такі переклади можуть призвести до помітних помилок у результатах, особливо на далеких маршрутах. Особливість підходу, що розглядається в даній статті, полягає в тому, що можна безпосередньо знайти траєкторію в географічній системі координат, тобто в тій же системі координат, де заданий об'єкт потенційної небезпеки.

Метою систем виявлення та запобігання конфліктів є прогнозування ймовірності майбутніх конфліктів, попередження операторів про потенційні конфлікти та, в деяких випадках, допомога у вирішенні конфліктів. Ці три основні процеси можна розбити на кілька етапів або елементів, як показано на рис. 1.7. До них відносяться системи попередження про наближення до землі.

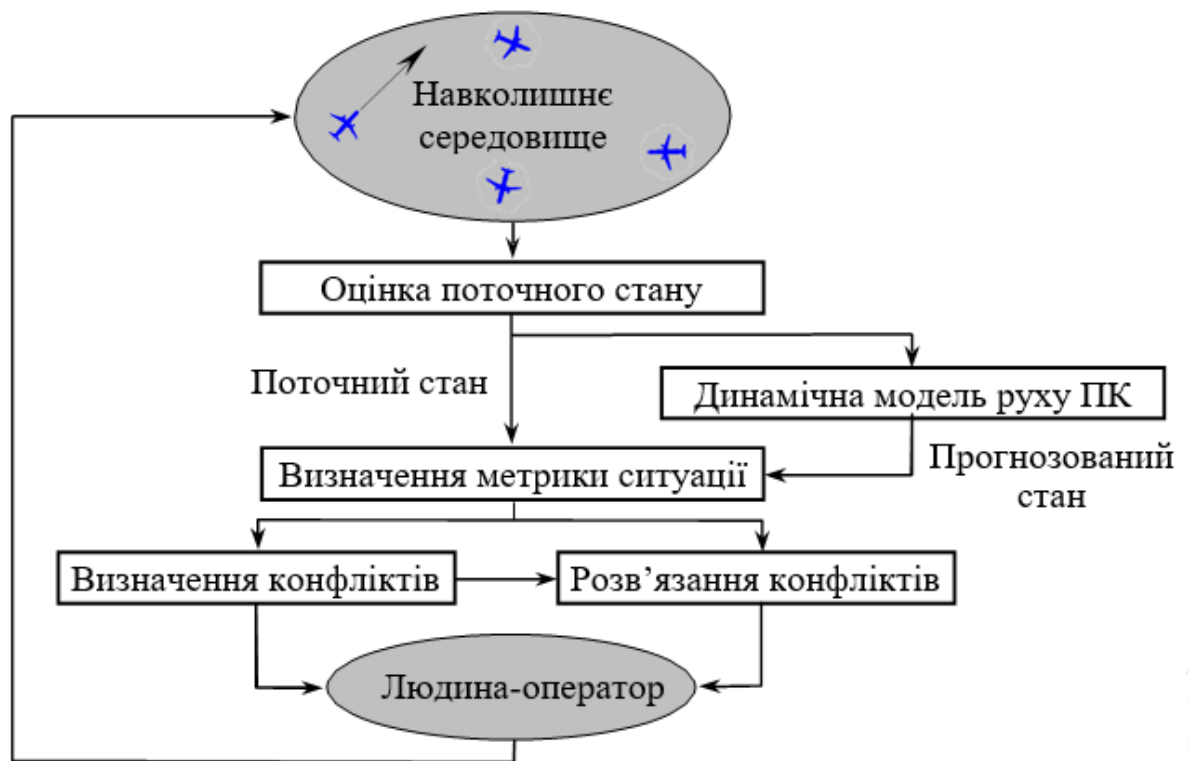


Рис. 1.7. Процеси виявлення та розв'язання конфлікту

Кожен етап виявлення та врегулювання зіткнень може бути автоматизованим або виконуватися за допомогою певних процедур. Наприклад, згідно з візуальними правилами польотів, відповідальність за уникнення зіткнення лежить на пілоті, який повинен проаналізувати навколишнє середовище (виявити зіткнення) і вжити заходів для вирішення зіткнення, якщо існує загроза. Відповідно до правил польотів за приладами, авіадиспетчери використовують радіолокаційне управління (РЛУ) для забезпечення розмежування між повітряними суднами.

Якщо зіткнення не може бути вирішене безпосередньо диспетчерами або пілотом, інформація про вирішення зіткнення автоматично надається системою попередження про уникнення зіткнення (TCAS).

Рішення УПР можна розглядати як процес, за допомогою якого УПР вирішує, коли і як виконати ту чи іншу дію. Однак не завжди зрозуміло, як відокремити рішення УПР від його виконання.

РОЗДІЛ 2.

СИСТЕМА TCAS ЯК ЗАСІБ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗБЛИЖЕННЯ ЛІТАКІВ ПІД ЧАС ПОЛЬОТУ.

2.1 Система для оцінки потенційно небезпечного зближення літаків під час польоту.

Після багатьох років поглибленого аналізу, розробки та оцінки польотів Федеральним управлінням цивільної авіації – FAA, національними органами цивільної авіації – CAA та авіаційною промисловістю були розроблені системи попередження та запобігання зіткненням, або TCAS, для зниження ризику зіткнень повітряних суден у повітрі. На міжнародній арені ця система відома як система запобігання зіткненням у повітрі або ACAS.

TCAS (Traffic Collision Avoidance System) – система оцінки та запобігання потенційно небезпечних зближень літаків у повітрі. TCAS є бортовою системою, яка аналізує сигнали від транспондерів інших літаків та автоматично попереджає екіпаж про можливість зіткнення. У разі виникнення небезпеки TCAS пропонує пілотам відповідні маневри для уникнення зіткнення. Використання TCAS значно знижує ризик зіткнень у повітрі та підвищує загальний рівень безпеки польотів.

TCAS є обов'язковою для встановлення на комерційних літаках у багатьох країнах, що підкреслює її важливість для забезпечення безпеки польотів.

TCAS I надає консультації щодо повітряного руху (ATA) для допомоги пілотам у візуальному виявленні літаків-порушників TCAS I використовується в США на пасажирських літаках з турбінним двигуном, що мають від 10 до 31 місця. TCAS I також встановлюється на літаках і гелікоптерах загальної авіації.

TCAS II надає повідомлення про аварійну ситуацію та рекомендації щодо евакуації (RA), тобто рекомендовані дії з евакуації.

Вертикальне розділення між літаками TCAS II є обов'язковим у США для комерційних літаків, включаючи регіональні авіалінії, що мають більше 30 місць або максимальну злітну вагу 33 000 фунтів. Хоча вона не є обов'язковою для

пасажирських літаків, багато пасажирських літаків з турбінним двигуном і деякі гелікоптери також обладнані системою TCAS II.

Концепція TCAS використовує ті ж транспондери, що і радіолокаційний маяк літака, і пов'язує їх з наземним радаром УІР Рівень захисту, що забезпечується обладнанням TCAS, залежить від типу транспондера, встановленого на відповідному літаку TCAS, Слід зазначити, що TCAS не забезпечує захист повітряних суден без активних транспондерів.

2.2 Основні компоненти та режими роботи TCAS

Розраховує сценарій і визначає варіанти розвитку подій комп'ютерний блок. Приймально-передавальні антени, які встановлені зверху і знизу фюзеляжу. Окрема антена для S-транспондера і індикаторий дисплей в кабіні пілота. Дисплей-індикатор відображає інформацію про літальні апарати, що пролітають поблизу, а також візуальні команди для запобігання зіткнень (RA).

Існує кілька типів індикаторів (рис.2.1 – 2.2) і варіантів їх установки. Якщо кабіна раніше була обладнана механічним стрілочним покажчиком, то його можна об'єднати з наявним дисплеєм (наприклад, бортовим локатором, покажчиком вертикальної швидкості) або встановити окремо.



Рис 2.1 Об'єднаний дисплей TCAS



Рис 2.2 Дисплей TCAS об'єднаний з локатором

Дисплей системи TCAS II - це, по суті, комбінація трьох приладів. Це індикатор вертикальної швидкості, індикатор аеронавігаційного статусу (маркування літаків, що відслідковуються) і командний прилад, який видає рекомендаційні команди для дій.

Однак TCAS не мають власних приймачів, а використовують так звані приймачі управління повітряним рухом (УПР) або транспондери.

Транспондер - це приймально-передавальний пристрій, який передає власний радіосигнал у відповідь на прийнятий радіосигнал. Англійське слово transponder (від transmitter-responder - передавач-відповідач). Іншими словами, ці пристрої використовують принцип вторинного радара.

Суть цього принципу полягає в тому, що, на відміну від первинної радіолокації, де локатор визначає тільки курс і відстань до опромінюваного об'єкта, вторинний локатор отримує в сигналі-відповіді ще й ідентифікаційні дані і параметри положення об'єкта в просторі, а також деяку іншу додаткову інформацію.

Такими приймачами обладнані всі цивільні літаки. За допомогою цих приймачів авіадиспетчери можуть ідентифікувати повітряні судна і контролювати їх переміщення.

2.3. Транспондер та режими його роботи

У системі TCAS немає власного приймача і при роботі система використовує так звані приймачі системи управління повітряним рухом (УПР), в англ. варіанті ATC (Air Traffic Control) або транспондери.

Транспондер - це приймально-передавальний пристрій, який посиляє свій радіосигнал у відповідь на прийнятий. В англійському це буде transponder (від transmitter-responder - передавач-відповідач). Тобто ці пристрої використовують принцип вторинної радіолокації.

Суть цього принципу полягає в тому, що на відміну від первинного радара, де локатор визначає тільки азимут і дальність до опромінюваного об'єкта, вторинний локатор також отримує ідентифікаційні дані і параметри розташування об'єкта в просторі, а також іншу додаткову інформацію у відповідному сигналі.

Такі приймачі встановлені на всіх літаках цивільної авіації. З їх допомогою диспетчер може ідентифікувати повітряне судно і відстежувати його переміщення.

Кожному літаку присвоюється чотиризначний цифровий ідентифікаційний код (squawk-код) авіадиспетчерами (АТС). Якщо код не видається диспетчерами, використовується один з існуючих стандартних кодів. Наприклад, 1200 - це американський код польоту, а 7000 - європейський код польоту.

Пілот вводить цей код в систему через панель управління транспондером в кабіні літака. До речі, існують і так звані спеціальні коди. Наприклад, 7500 - викрадення літака, 7700 - аварійна ситуація в польоті тощо. Якщо такий код з'являється на екрані радара авіадиспетчера, автоматично вмикається оповіщення диспетчера.

Таким чином, у режимі А у відповідному сигналі транспондера кодуються лише квакання. Це означає, що літаки ідентифікуються і позначаються на екрані локатора, але ніяких інших даних (включаючи висоту) не відображається.

Режим С був розроблений для того, щоб виправити цю ситуацію. Тут, разом з кодом, сигнал містить інформацію про висоту польоту. Транспондери, що використовують режими А+С, називаються RBS або АТС RBS. У США, наприклад, використання таких приймачів є обов'язковим для польотів на висоті понад 3000 м (10 000 футів) і в радіусі 30 миль навколо великих авіаційних вузлів (аеропортів).

Наступний режим - найсучасніший (також відомий як інтелектуальний) режим S (Select). Транспондери, що працюють у цьому режимі, відповідають вибірково на запит, тоді як транспондери, що працюють у режимі А/С, реагують на будь-який сигнал, випромінюваний локатором. Це зменшує загальне глушіння радіосигналів відповідями транспондерів (у Всесвіті існує багато транспондерів, що добре видно на інтерактивній карті).

Крім того, відповіді в S-режимі можуть містити додаткову інформацію, таку як швидкість, висота, номер літака (позивний), а також можуть включати GPS-координати.

В Європі існує два типи транспондерів, що працюють в S-режимі: ELS (Elementary Surveillance) і EHS (Enhanced Surveillance). Вони відрізняються за обсягом інформації, яку надають; EHS є більш інформативним.

Таким чином, транспондери є своєрідним «вікном у світ» для систем TCAS. Однак це вікно має бути відкрите належним чином. Це означає, що TCAS повинна отримувати достатню кількість інформації про літак, що наближається, щоб правильно оцінити ситуацію і дати необхідні рекомендації. Це означає, що вони повинні бути обладнані щонайменше транспондером в режимі C (бажано в режимі S). Крім того, TCAS не робить запитів в режимі A і тому не бачить літаки, обладнані лише транспондерами режиму A.

TCAS може відстежувати літаки в режимах C і S транспондерів. Приймачі, що працюють в режимі S, щосекунди випромінюють самостійно згенерований сигнал, так званий сквіттер. Цей сигнал містить адресу відправника. На основі цих даних TCAS надсилає запит відправнику і, виходячи з отриманої відповіді, визначає дальність, курс (азимут) і висоту літака, за яким ведеться спостереження.

Отримані дані надсилаються на комп'ютерний блок, який об'єднує інформацію з усіх повітряних суден і розраховує рівень небезпеки кожного контрольованого повітряного судна по відношенню до повітряного судна, на якому встановлена система TCAS. Потім він створює віртуальну 3D-карту захищеної зони навколо свого повітряного судна.

Іноземні літаки, що входять в зону, яка охороняється, називаються порушниками або літаками зіткнення.

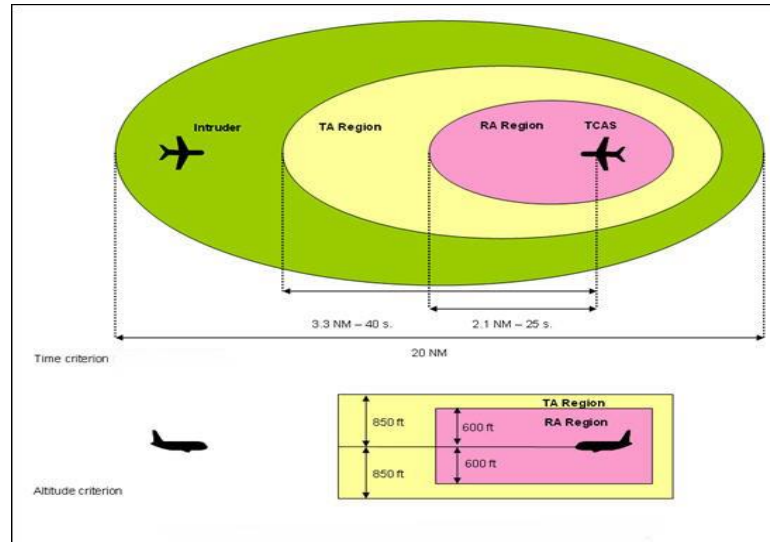


Рис.2.3 охороняємі зони за часом, відстанню та висотою

TCAS може виявляти літаки на відстані до 40 миль.

На відміну від TCAS I, TCAS II надає не лише пасивну інформацію про стан повітряного простору, а й прямі рекомендації щодо вирішення конфліктних ситуацій. Система може відстежувати до 30 літаків одночасно і видавати команди щодо вирішення конфліктних ситуацій трьом літкам одночасно. Інформація від системи TCAS II візуально відображається на дисплеї в кабіні пілота, а також передається через гучномовець внутрішнього зв'язку літака і навушники.

Команди, що видаються, поділяються на консультативні команди, які називаються TA (Traffic Advisory), і команди для безпосередніх негайних дій для запобігання зіткненням, які називаються RA (Resolution Advisory). TA є попереджувальним сигналом. Це означає, що літак-порушник увійшов в зону, що захищається, і що необхідно підвищити увагу і пильність, а також підготуватися до подачі команди RA. ніяких активних дій у відповідь на команду TA не очікується.

Якщо комп'ютер системи проаналізує ситуацію і виявить небезпечне зближення або потенційне зіткнення, він визначить необхідні маневри відповідно до програми, щоб забезпечити безпечне вертикальне вирівнювання літака. Простими словами, це означає безпечне розходження по висоті.

Таким чином, найпоширенішою з розроблених в рамках цієї концепції є система TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System - система попередження та уникнення зіткнень). Дослівний переклад з англійської - система попередження зіткнень у повітрі (аббревіатура вимовляється як «тікас»).

Ця система (в її останній версії або вдосконаленій версії) оглядає повітряний простір навколо літака, виявляє інші літаки, аналізує отриману інформацію, надає її екіпажу, попереджає пілота в разі зіткнення і рекомендує негайні необхідні дії.

Наразі останньою версією цієї системи є TCAS II. Раніше існували так звані пасивні системи спостереження, які не проводили активного огляду повітряного простору, а використовували сигнали від інших літаків, що випромінювалися на вимогу з землі або інших систем літака.

Однак наразі лише TCAS II повністю відповідає стандарту ACAS. Наразі вона встановлена на більшості комерційних літаків. Її виробляють компанії Rockwell Collins, Honeywell та ACSS.

Сама система TCAS II наразі проходить три модифікації: перша - 6.0.4, друга - 7.0 і третя - 7.1. Перша модифікація стала незручною у використанні після введення скорочених мінімальних інтервалів вертикального зльоту і посадки (RVSM) для літаків у повітряному просторі Європи (з січня 2002 року і з листопада 2011 року в Росії).

РОЗДІЛ 3.

ОЦІНКА І АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНОГО ЗБЛИЖЕННЯ ЛІТАКІВ ПІД ЧАС ПОЛЬОТУ.

3.1. Статистична оцінка потенційно небезпечних зближень літаків.

Статистична оцінка потенційно небезпечних зближень літаків за останні роки є важливим етапом для розуміння тенденцій, причин та наслідків таких подій. Він дозволяє виявити ключові фактори ризику, оцінити ефективність існуючих заходів безпеки та розробити рекомендації для підвищення рівня безпеки польотів. У цьому розділі розглянемо статистичні дані, що стосуються статистичної оцінки потенційно небезпечних зближень літаків, а також проведемо аналіз основних тенденцій та причин цих подій.

За останні роки кількість авіаперевезень значно зросла, що, в свою чергу, призвело до збільшення навантаження на авіаційну інфраструктуру та підвищення ризиків виникнення небезпечних зближень. Згідно з даними Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), кількість комерційних рейсів у світі щорічно зростає на 4-5%, що створює додаткові виклики для забезпечення безпеки польотів.

Один з основних показників, що використовується для оцінки рівня безпеки в авіації, є кількість інцидентів та аварій на мільйон рейсів. За останні п'ять років цей показник значно варіювався залежно від регіону та типу авіакомпанії. Наприклад, згідно з даними IATA (Міжнародна асоціація повітряного транспорту), середній показник інцидентів на мільйон рейсів у комерційній авіації становить близько 1,5-2 випадків. Водночас, у розвинених країнах цей показник є нижчим завдяки впровадженню сучасних технологій та стандартів безпеки, тоді як у країнах, що розвиваються, він може бути значно вищим через недостатнє фінансування та слабку інфраструктуру.

Аналіз причин конфліктних ситуацій показує, що основними факторами, які призводять до інцидентів та аварій, є людські помилки, технічні несправності, погодні умови та організаційні проблеми. За даними NTSB (Національна рада з

безпеки на транспорті США), близько 60-70% авіаційних інцидентів є наслідком людських помилок. Це можуть бути помилки пілотів, диспетчерів, технічного персоналу або інших учасників авіаційного процесу. Наприклад, неправильне виконання посадкових маневрів, порушення процедур управління польотами або неадекватна комунікація між екіпажем та диспетчерами можуть призводити до серйозних інцидентів.

Технічні несправності також є значним фактором ризику. Вони включають в себе відмови двигунів, систем управління, навігаційних систем та інших критично важливих компонентів літаків. За даними EASA (Європейське агентство з авіаційної безпеки), близько 20-30% авіаційних інцидентів є наслідком технічних проблем. Для зниження цього ризику авіакомпанії активно впроваджують сучасні системи діагностики та моніторингу технічного стану літаків, що дозволяє своєчасно виявляти та усувати потенційні несправності.

Погодні умови також можуть суттєво впливати на безпеку польотів. Турбулентність, грози, сильний вітер та обледеніння є основними погодними факторами, що можуть призводити до конфліктних ситуацій. За даними метеорологічних служб, близько 10-15% авіаційних інцидентів пов'язані з несприятливими погодними умовами. Для зниження цього ризику авіакомпанії використовують сучасні системи моніторингу та прогнозування погодних умов, що дозволяє екіпажам завчасно отримувати інформацію про можливі небезпеки та коригувати маршрути польотів.

Інформація про повітряний рух і погоду може бути отримана від інших літаків та інших джерел за допомогою автоматичного залежного спостереження і бортових метеорологічних радарів.

Небезпечні/заборонені для польотів зони визначені на сітці 5550 x 3550 точок, що покриває всю Європу з кроком 0,01°. На відміну від опуклих багатокутників, форма небезпечних/заборонених для польотів зон не має обмежень. Сітка охоплює територію між паралелями 35° пн.ш. і 65° пн.ш. та меридіанами 15° зх.д. і 40° сх.д. Іншими словами, кожен вузол сітки визначається

двома індексами цього масиву. Вузлам сітки, що відповідають небезпечним/забороненим для польотів зонам, присвоюється значення 1, тоді як усім іншим вузлам присвоюється значення 0.

Після виявлення конфлікту визначаються варіанти його вирішення, а альтернативні маршрути польоту відображаються на горизонтальному навігаційному дисплеї літака (без зміни призначеного ешелону польоту).

Цей підхід характеризується універсальним підходом до вирішення проблеми. Алгоритми управління траєкторією, які надійно вирішують ситуації зіткнення, формуються незалежно від фізичної природи зіткнення, такої як погодні умови, адміністративні обмеження польотів або інші повітряні судна.

Зона небезпечного зближення з іншим літаком, назовемо його АС2, в горизонтальній площині задається колом радіусом 5 морських миль. У розрахунках межа зони небезпечного зближення апроксимується багатокутник. Розрахунки проводяться в геоцентричній сферичній системі координат з базисом $\{\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\}$ (рис. 3.1).

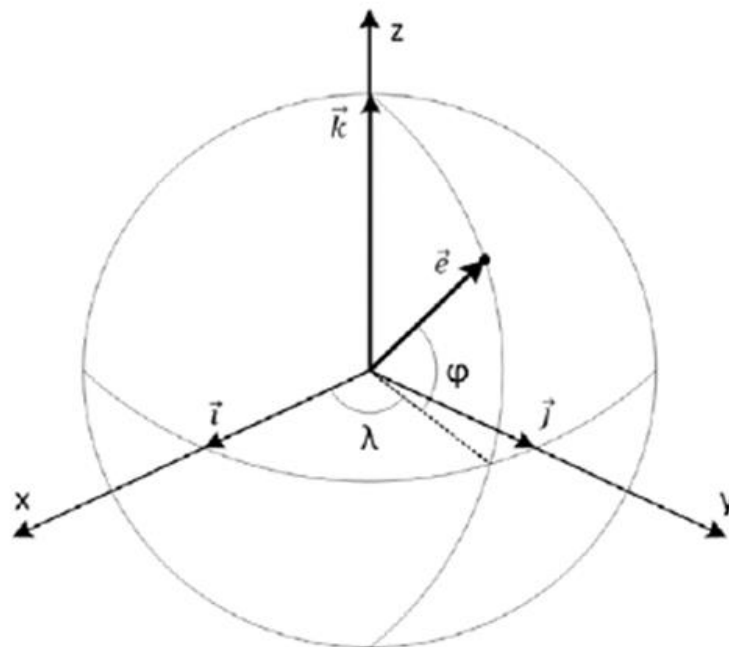


Рис.3.1 обрахування одиничного вектора \vec{e}

Положення будь-якої точки в системі координат можна визначити вектором $(R_3 + H) \vec{e}$, де R_3 - радіус Землі; H - висота польоту; \vec{e} - одиничний вектор, який при відомих значеннях широти φ і довготи λ розраховується відповідно до формули

$$\vec{e} = \{\cos \varphi \cos \lambda ; \cos \varphi \sin \lambda ; \sin \varphi\}. \quad (1)$$

Географічні координати для даної галузі повітряного простору визначаються за компонентами вектора \vec{e} наступним чином:

$$\begin{aligned} \lambda &= \tan^{-1} \left(\frac{e_y}{e_x} \right); \\ \varphi &= \sin^{-1} e_z. \end{aligned} \quad (2)$$

Організаційні проблеми також можуть призводити до небезпечних зближень. Недоліки в управлінні авіаційною діяльністю, неправильне планування польотів, відсутність координації між різними службами та перевантаженість повітряного простору є основними організаційними факторами ризику. За даними ІКАО, близько 5-10% авіаційних інцидентів пов'язані з організаційними проблемами. Впровадження систем управління безпекою (SMS) та автоматизованих систем управління повітряним рухом сприяє зниженню цього ризику та підвищенню загального рівня безпеки.

У цій роботі небезпечна зона близькості до інших літаків апроксимується багатокутником з 16 вершинами. Прогнозоване положення кожної вершини визначається за умови, що ця вершина і літак АС1 одночасно знаходяться в цьому положенні при прогнозованому русі літака.

Переміщення кожної вершини многокутника строго пов'язане з переміщенням літака АС2. Якщо літак АС2 рухається прямолінійно, то вершини також рухаються прямолінійно, а якщо літак АС2 повертає, то весь многокутник, тобто кожна вершина, також повертається.

Координати вершин многокутника, які апроксимують зону небезпечного зближення, в поточному стані літака АС2 можна визначити за формулою:

$$\varphi_i = \sin^{-1} \left(\sin \varphi_{AC2} \cos \left(\frac{R_{оп}}{R_3 + H} \right) + \cos \varphi_{AC2} \sin \left(\frac{R_{оп}}{R_3 + H} \right) \cos \theta_i \right);$$

$$\lambda_i = \lambda_{AC2} + \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta_i \sin \left(\frac{R_{оп}}{R_3 + H} \right) \cos \varphi_{AC2}}{\cos \left(\frac{R_{оп}}{R_3 + H} \right) - \sin \varphi_{AC2} \sin \varphi_2} \right),$$
(3)

де θ_i - кут між напрямком на північ і напрямком на i -ю вершину; φ_{AC2} і λ_{AC2} - широта і довгота літака АС2 відповідно; $R_{оп}$ - радіус області небезпечного зближення.

Тут формування зони небезпечного зближення проводиться в припущенні, що літак АС2 виконує прямолінійний політ з постійною швидкістю, величина швидкості літака АС1 також постійна (рис. 3.31).

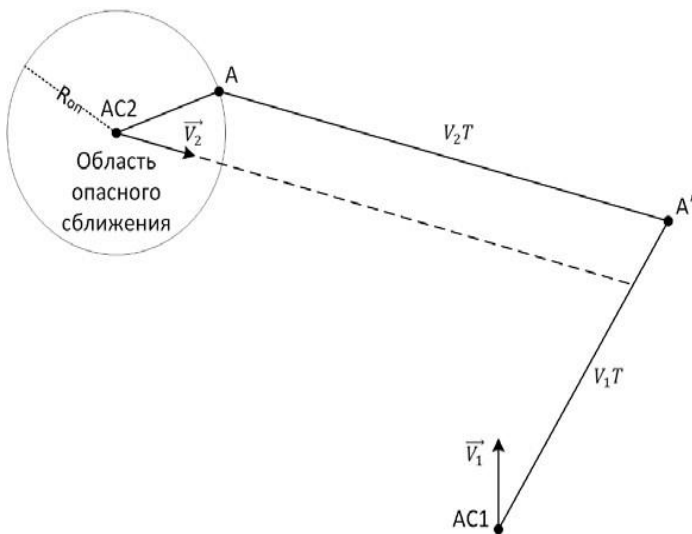


Рис. 3.2. Схема можливого зближення літаків в горизонтальній площині

Отримано координати всіх 16 вершин багатогранника, з'єднання яких прямою лінією дає прогнозоване положення багатогранника, внутрішня частина якого є прогнозованою зоною небезпечного зближення.

Наведено результати побудови прогнозованої області небезпечного зближення для різних швидкостей літака АС2 та за однакових інших початкових

умов. На рисунку 3.34 показано ситуацію зіткнення, коли запланована траєкторія літака AC1 перетинає область прогнозування небезпечного зближення з літаком AC2. Ця ситуація вимагає вирішення конфлікту шляхом зміни плану польоту літака AC1.

Для ідентифікації прогнозованої області небезпечного зближення вузли сітки, що входять в цю область, пронумеровані 1, так само як і інші заборонені зони.

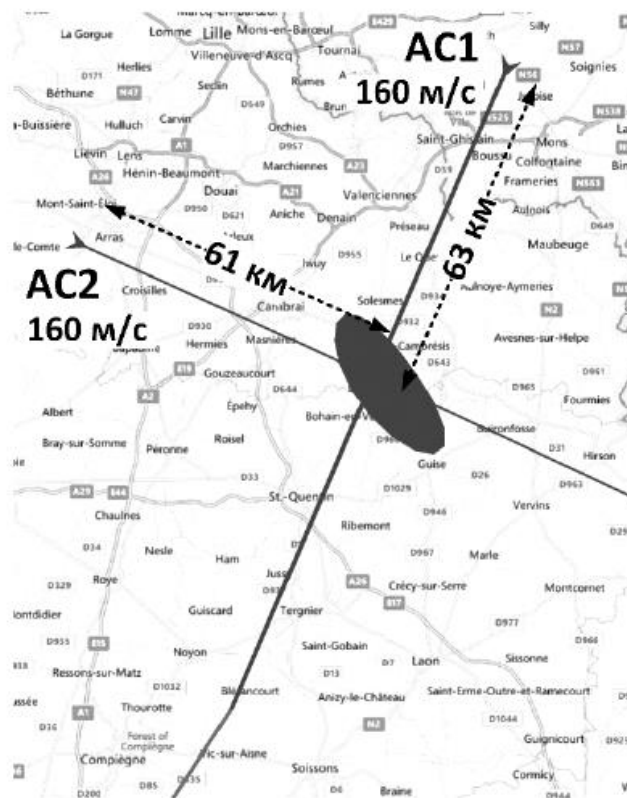


Рис. 3.3. Прогнозована область небезпечного зближення при $V_2 = V_1$

Особливу увагу варто приділити аналізу інцидентів та аварій, пов'язаних з людськими помилками. За останні роки дослідники відзначають збільшення кількості інцидентів, пов'язаних з людським фактором. Це може бути пов'язано з підвищеним рівнем стресу, втоми, недостатньою підготовкою або іншими психологічними факторами. Наприклад, дослідження показують, що перевтома пілотів є однією з основних причин помилок, що призводять до небезпечних зближень. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують програми

управління втому, які включають оптимізацію розкладів польотів, забезпечення достатнього часу для відпочинку та проведення регулярних медичних обстежень.

Технічні несправності, що призводять до авіаційних інцидентів, також вимагають детального аналізу. Наприклад, відмови двигунів можуть мати катастрофічні наслідки, особливо під час зльоту або посадки. Аналіз даних показує, що регулярне технічне обслуговування та використання сучасних систем діагностики дозволяє значно знизити ризик технічних проблем. Впровадження автоматизованих систем моніторингу технічного стану літаків, які аналізують дані в режимі реального часу, дозволяє виявляти потенційні несправності на ранніх стадіях та вживати превентивних заходів.

Організаційні проблеми також є значним фактором ризику в цивільній авіації. Недоліки в плануванні польотів, відсутність координації між різними службами та перевантаженість повітряного простору можуть призводити до конфліктних ситуацій. Наприклад, перевантаженість повітряних маршрутів може призводити до затримок, що, у свою чергу, створює додатковий стрес для екіпажів та підвищує ризик помилок. Для зниження цього ризику авіакомпанії та аеропорти впроваджують системи управління повітряним рухом (ATC) та автоматизовані системи управління аеропортами (A-SMGCS), які дозволяють оптимізувати рух літаків та забезпечити координацію між різними службами.

Важливу роль у забезпеченні безпеки польотів відіграє також міжнародне співробітництво та обмін інформацією. Міжнародні організації, такі як ICAO та IATA, розробляють стандарти та рекомендації, спрямовані на підвищення рівня авіаційної безпеки. Впровадження цих стандартів на національному рівні сприяє гармонізації підходів до управління конфліктними ситуаціями та підвищенню загального рівня безпеки. Аналіз даних показує, що країни, які активно впроваджують міжнародні стандарти та рекомендації, демонструють нижчі показники інцидентів та аварій.

Окрему увагу варто приділити аналізу впливу новітніх технологій на безпеку польотів. Використання автоматизованих систем спостереження, таких як

ADS-B, дозволяє авіаційним службам отримувати точну інформацію про місцезнаходження літаків у режимі реального часу. Це сприяє підвищенню ефективності моніторингу повітряного простору та зниженню ризику зіткнень. Дослідження показують, що впровадження таких систем дозволяє знизити кількість конфліктних ситуацій на 20-30%.

Також важливо враховувати вплив штучного інтелекту (AI) та машинного навчання на моніторинг конфліктних ситуацій. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних про польоти дозволяє виявляти патерни та тенденції, які можуть свідчити про потенційні загрози. Це сприяє прогнозуванню можливих конфліктних ситуацій та розробці превентивних заходів. Наприклад, алгоритми можуть аналізувати дані про погодні умови, технічний стан літаків та дії екіпажу для виявлення потенційних ризиків та надання рекомендацій для їх уникнення.

Крім того, важливим аспектом є аналіз інцидентів та аварій, пов'язаних з людським фактором. Як вже зазначалося, людські помилки є однією з основних причин авіаційних інцидентів. Аналіз даних показує, що регулярні тренування, симуляції аварійних ситуацій та програми психологічної підтримки допомагають знизити ризик помилок та підвищити загальний рівень безпеки. Наприклад, впровадження тренажерів для відпрацювання аварійних ситуацій дозволяє екіпажам отримувати практичні навички та підвищувати свою готовність до дій у критичних ситуаціях.

У контексті аналізу конфліктних ситуацій важливо також враховувати питання кібербезпеки. З розвитком цифрових технологій зростають ризики кіберзагроз, які можуть впливати на безпеку польотів. Наприклад, несанкціонований доступ до систем управління польотами або злом навігаційних систем може мати серйозні наслідки. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують ефективні засоби захисту інформаційних систем, проводять регулярні аудити безпеки та тренування персоналу на випадок кіберінцидентів.

Втрати контролю над літаком (loss of control in-flight) є одними з найсерйозніших типів авіаційних інцидентів, які часто призводять до катастрофічних наслідків. Причинами таких інцидентів можуть бути помилки екіпажу, технічні несправності, погодні умови або непередбачені події, такі як зіткнення з птахами. За даними NTSB, втрати контролю над літаком є однією з головних причин авіаційних катастроф. Для запобігання таких інцидентів авіакомпанії впроваджують сучасні системи автоматичного управління польотом, проводять регулярні тренування екіпажів та використовують симулятори для відпрацювання дій у критичних ситуаціях.

Статистичний аналіз також показує, що впровадження систем управління ризиками є ефективним засобом для зниження кількості небезпечних зближень. Системи управління ризиками включають аналіз даних про інциденти, оцінку ризиків та розробку превентивних заходів. Наприклад, аналіз даних про технічні несправності може виявити слабкі місця в обслуговуванні літаків, що дозволяє авіакомпаніям розробляти стратегії для усунення цих проблем. Аналогічно, аналіз людських факторів може виявити необхідність додаткового навчання або змін у процедурах для підвищення безпеки.

Аналіз даних також показує, що впровадження нових технологій та автоматизації сприяє підвищенню ефективності моніторингу небезпечних зближень. Використання автоматизованих систем, таких як бортові системи попередження про зіткнення (TCAS) дозволяє знижувати ризики інцидентів. Такі системи автоматично виявляють потенційні загрози та надають екіпажу інформацію для вжиття необхідних заходів.

Застосування великих даних та аналітики також відіграє важливу роль у вдосконаленні процесів моніторингу. Аналіз великих обсягів даних дозволяє виявляти тенденції та закономірності, які можуть залишатися непомітними при традиційних методах аналізу. Наприклад, використання даних з бортових самописців, систем моніторингу технічного стану літаків та метеорологічних

систем дозволяє проводити комплексний аналіз факторів ризику та розробляти ефективні превентивні заходи.

Важливо також враховувати вплив регуляторних змін на безпеку польотів. Впровадження нових стандартів та правил, розроблених міжнародними та національними авіаційними організаціями, сприяє підвищенню рівня безпеки. Наприклад, введення нових вимог до технічного обслуговування літаків, підготовки екіпажів та управління аеропортами дозволяє знижувати ризики небезпечних зближень. Аналіз даних показує, що країни, які активно впроваджують такі регуляторні зміни, демонструють покращення показників безпеки.

Значну увагу в статистичній оцінці потенційно небезпечних зближень літаків приділяють також питанням співпраці та координації між різними учасниками авіаційної системи. Ефективна взаємодія між диспетчерами, екіпажами, технічним персоналом та іншими службами є ключовим фактором для забезпечення безпеки польотів. Дослідження показують, що покращення комунікації та координації між різними службами дозволяє значно знизити кількість інцидентів та аварій. Наприклад, впровадження системи CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications), яка забезпечує цифровий обмін даними між пілотами та диспетчерами, сприяє зниженню кількості помилок та підвищенню точності передачі інформації.

Статистична оцінка потенційно небезпечних зближень літаків також виявляє важливість навчання та підвищення кваліфікації авіаційного персоналу. Регулярні тренування, симуляції аварійних ситуацій та програми безперервного навчання допомагають екіпажам та іншому персоналу отримувати необхідні навички та знання для ефективного реагування на надзвичайні ситуації. Дослідження показують, що авіакомпанії, які активно інвестують у навчання свого персоналу, демонструють нижчі показники інцидентів та аварій.

На завершення, варто зазначити, що статистична оцінка потенційно небезпечних зближень літаків під час польоту є невід'ємною частиною

забезпечення безпеки польотів. Аналіз даних дозволяє виявити основні причини інцидентів та аварій, оцінити ефективність існуючих заходів безпеки та розробити рекомендації для їх вдосконалення. Впровадження новітніх технологій, таких як автоматизовані системи спостереження, штучний інтелект, великі дані та безпілотні літальні апарати, сприяє підвищенню ефективності моніторингу та забезпечує своєчасне виявлення та усунення загроз. Водночас, важливу роль відіграють людські фактори, навчання та підвищення кваліфікації персоналу, управління ресурсами та міжнародне співробітництво. Тільки завдяки комплексному підходу можна досягти високого рівня безпеки та надійності в цивільній авіації.

3.2. Причини виникнення потенційно небезпечних зближень літаків під час польоту

Оцінка потенційно небезпечних зближень літаків під час польоту

важливим аспектом забезпечення безпеки польотів і ефективного функціонування авіаційної галузі. Причини виникнення потенційно небезпечних зближень літаків можуть бути різноманітними і охоплювати технічні несправності, людські помилки, несприятливі погодні умови, організаційні недоліки та інші фактори. У цьому розділі ми детально розглянемо основні причини потенційно небезпечних зближень літаків, а також їх вплив на безпеку польотів.

Технічні несправності є однією з головних причин виникнення потенційно небезпечних зближень літаків. Авіаційна техніка є складною і високотехнологічною, тому навіть незначні технічні проблеми можуть призвести до серйозних наслідків. Відмови двигунів, несправності систем управління, навігаційних систем, гідравліки та інших критично важливих компонентів можуть спричинити аварійні ситуації. Згідно з даними Європейського агентства з авіаційної безпеки (EASA), близько 20-30% авіаційних інцидентів пов'язані з технічними проблемами. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують

сучасні системи діагностики та моніторингу технічного стану літаків, що дозволяє своєчасно виявляти та усувати потенційні несправності.

Людські помилки є ще однією значною причиною конфліктних ситуацій. Вони можуть бути результатом недостатньої підготовки, перевтоми, стресу, неправильних рішень або порушення процедур. Згідно з даними Національної ради з безпеки на транспорті США (NTSB), близько 60-70% авіаційних інцидентів є наслідком людських помилок. Наприклад, помилки пілотів під час зльоту або посадки, неправильне виконання маневрів, порушення комунікацій між екіпажем та диспетчерами можуть призводити до серйозних інцидентів. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують програми управління втомою, регулярні тренування та симуляції аварійних ситуацій, що допомагають екіпажам отримувати необхідні навички та знання.

Несприятливі погодні умови також є важливим фактором ризику в цивільній авіації. Турбулентність, грози, сильний вітер, обледеніння та інші погодні явища можуть створювати небезпечні умови для польотів. Згідно з даними метеорологічних служб, близько 10-15% авіаційних інцидентів пов'язані з несприятливими погодними умовами. Погодні умови можуть впливати на аеродинамічні характеристики літаків, ускладнювати маневрування та знижувати видимість. Для зниження цього ризику авіакомпанії використовують сучасні системи моніторингу та прогнозування погодних умов, які дозволяють екіпажам завчасно отримувати інформацію про можливі небезпеки та коригувати маршрути польотів.

Організаційні проблеми також можуть призводити до потенційно небезпечних зближень літаків. Недоліки в управлінні авіаційною діяльністю, неправильне планування польотів, відсутність координації між різними службами та перевантаженість повітряного простору є основними організаційними факторами ризику. Наприклад, неправильна координація між диспетчерами та екіпажами, перевантаженість аеропортів та повітряних маршрутів може призводити до затримок та інших проблем, що створюють додатковий стрес для

екіпажів та підвищують ризик помилок. Для зниження цього ризику авіакомпанії та аеропорти впроваджують системи управління повітряним рухом (ATC) та автоматизовані системи управління аеропортами (A-SMGCS), які дозволяють оптимізувати рух літаків та забезпечити координацію між різними службами.

Проблеми з комунікацією є ще однією значною причиною конфліктних ситуацій. Ефективна комунікація між екіпажем, диспетчерами, технічним персоналом та іншими службами є критично важливою для забезпечення безпеки польотів. Недостатня або неправильна комунікація може призводити до помилок, непорозумінь та затримок, що створюють додаткові ризики. Наприклад, неправильна передача інформації про погодні умови, технічний стан літаків або маршрути польотів може призвести до серйозних інцидентів. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують системи цифрового обміну даними між пілотами та диспетчерами (CPDLC), які забезпечують точну та швидку передачу інформації.

Окрему увагу слід приділити питанням кібербезпеки. З розвитком цифрових технологій зростають ризики кіберзагроз, які можуть впливати на безпеку польотів. Неавторизований доступ до систем управління польотами, спроби зламу навігаційних систем або перехоплення даних можуть мати серйозні наслідки. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують ефективні засоби захисту інформаційних систем, проводять регулярні аудити безпеки та тренування персоналу на випадок кіберінцидентів. Кібербезпека стає все більш актуальною проблемою, оскільки цифрові системи відіграють важливу роль у сучасній авіації.

Інший важливий фактор, який може призводити до потенційно небезпечних зближень літаків, є вплив зовнішніх обставин, таких як тероризм або злочинні дії. Загрози безпеці можуть виникати через дії терористів, хакерів або інших зловмисників, які намагаються завдати шкоди авіаційній інфраструктурі або використати літаки як зброю. Для зниження цього ризику авіакомпанії та аеропорти впроваджують жорсткі заходи безпеки, включаючи перевірку

пасажирів та багажу, посилення контролю за доступом до літаків та авіаційної інфраструктури, а також співпрацю з правоохоронними органами.

Психологічні фактори також можуть значно впливати на виникнення потенційно небезпечних зближень літаків. Стрес, втома, проблеми в особистому житті або інші психологічні аспекти можуть знижувати працездатність та увагу авіаційного персоналу. Наприклад, перевтома пілотів є однією з головних причин помилок, що призводять до конфліктних ситуацій. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують програми управління втомою, забезпечують достатній час для відпочинку та проводять регулярні медичні обстеження персоналу.

Не менш важливим фактором є культурні аспекти та різниця в підходах до безпеки в різних країнах. Різні культури можуть мати різні підходи до управління безпекою, що може впливати на виникнення небезпечних зближень. Наприклад, відмінності у стандартах підготовки пілотів, методах управління польотами або процедурах безпеки можуть створювати додаткові ризики. Для зниження цього ризику міжнародні авіаційні організації, такі як ІКАО, розробляють стандарти та рекомендації, спрямовані на гармонізацію підходів до безпеки у глобальному масштабі.

Зважаючи на складність та багатогранність причин виникнення потенційно небезпечних зближень літаків, важливо також розглянути деякі конкретні приклади та дослідження, що допомагають краще зрозуміти, як ці фактори взаємодіють та впливають на безпеку польотів.

Одним з таких прикладів є аварія рейсу Air France 447 у 2009 році, яка стала результатом комбінації людських помилок та технічних несправностей. Літак, що виконував рейс з Ріо-де-Жанейро до Парижа, зазнав катастрофи в Атлантичному океані, що призвело до загибелі всіх 228 пасажирів та членів екіпажу. Розслідування показало, що причиною аварії стали проблеми з датчиками швидкості, які вийшли з ладу через обледеніння, що призвело до некоректних даних для екіпажу. Крім того, виявлено помилки в діях пілотів, які не змогли правильно реагувати на ситуацію через недостатню підготовку та стрес. Цей

інцидент підкреслює важливість комплексного підходу до оцінки потенційно небезпечних зближень літаків, включаючи технічне обслуговування, підготовку екіпажу та оперативну підтримку.

Дослідження, проведені після цих та інших інцидентів, показали, що впровадження новітніх технологій, таких як системи автоматичного залежного спостереження (ADS-B) та системи попередження зіткнень (TCAS), значно підвищують рівень безпеки польотів. ADS-B дозволяє відстежувати місцезнаходження літаків у режимі реального часу, що сприяє кращій координації між диспетчерами та екіпажами, а також знижує ризик зіткнень у повітрі. TCAS, своєю чергою, автоматично попереджає екіпаж про можливі зіткнення та рекомендує необхідні маневри для їх уникнення.

Не менш важливим є вплив автоматизації на роботу екіпажів. Дослідження показують, що автоматизація може як підвищувати рівень безпеки, так і створювати нові ризики. З одного боку, автоматизовані системи можуть виконувати рутинні завдання з високою точністю, знижуючи навантаження на екіпаж та зменшуючи ризик помилок. З іншого боку, залежність від автоматизації може призводити до втрати навичок у пілотів та недостатнього розуміння роботи систем, що може стати критичним у разі виникнення аварійної ситуації. Тому важливо забезпечувати баланс між автоматизацією та ручним управлінням, а також проводити регулярні тренування для підтримки навичок пілотів.

Отже, важливо враховувати роль регуляторних органів та їх вплив на безпеку польотів. Впровадження нових стандартів та правил, розроблених міжнародними та національними авіаційними організаціями, сприяє підвищенню рівня безпеки. Наприклад, введення нових вимог до технічного обслуговування літаків, підготовки екіпажів та управління аеропортами дозволяє знижувати ризики небезпечних зближень. Аналіз даних показує, що країни, які активно впроваджують такі регуляторні зміни, демонструють покращення показників безпеки.

Іншою важливою причиною небезпечних зближень є помилки в навігації та управлінні польотами. Недоліки в плануванні маршрутів, помилки в навігаційних системах або неправильне управління повітряним рухом можуть призводити до інцидентів. Наприклад, помилки в розрахунках маршруту або відхилення від встановленого курсу можуть призвести до зіткнень або аварійних ситуацій. Для зниження цього ризику авіакомпанії впроваджують сучасні навігаційні системи, проводять регулярні тренування екіпажів та використовують автоматизовані системи управління польотами.

РОЗДІЛ 4.

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ РИЗИКІВ НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗБЛИЖЕННЯ ЛІТАКІВ ПІД ЧАС ПОЛЬОТУ

4.1. Технологічні рішення для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків

Одним з найважливіших технологічних рішень є системи автоматичного залежного спостереження (ADS-B). ADS-B є сучасною технологією, яка дозволяє літакам автоматично передавати інформацію про своє місцезнаходження, висоту, швидкість та інші параметри польоту на землю. Ці дані використовуються диспетчерами та іншими авіаційними службами для відстеження руху літаків у режимі реального часу. Впровадження ADS-B значно підвищує точність та ефективність моніторингу повітряного простору, знижуючи ризик зближень. Однією з основних переваг ADS-B є можливість отримання даних навіть у віддалених регіонах, де традиційні радары не можуть забезпечити належний рівень покриття.

Системи запобігання зіткненням (TCAS) є ще одним важливим технологічним рішенням для моніторингу конфліктних ситуацій. TCAS використовує дані від транспондерів літаків для виявлення можливих небезпечних зближень та автоматично попереджає екіпаж про необхідність виконання маневрів для уникнення зіткнень. Ця система значно знижує ризик зіткнень у повітрі, особливо в умовах високої завантаженості повітряного простору.

Сучасні метеорологічні системи також є важливим інструментом для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Використання метеорологічних радарів, супутникових систем та автоматизованих станцій дозволяє авіаційним службам отримувати актуальну інформацію про погодні умови на маршруті польоту. Це включає дані про турбулентність, грози, обледеніння та інші погодні явища, що можуть впливати на безпеку польотів. Впровадження таких систем дозволяє екіпажам завчасно отримувати інформацію про можливі небезпеки та коригувати маршрути польотів для їх уникнення.

Інтегровані системи управління повітряним рухом (АТС) є ще одним важливим технологічним рішенням для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Сучасні АТС системи використовують автоматизовані засоби для відстеження руху літаків, управління їх маршрутами та забезпечення координації між різними авіаційними службами. Це дозволяє оптимізувати повітряний рух, знижуючи ризик зіткнень та інших конфліктних ситуацій. Крім того, інтеграція даних з різних джерел, таких як ADS-B, TCAS та метеорологічні системи, дозволяє диспетчерам отримувати комплексну картину ситуації у повітрі та приймати більш обґрунтовані рішення.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) також знаходять своє застосування у моніторингу конфліктних ситуацій в цивільній авіації. БПЛА можуть використовуватися для спостереження за станом аеропортів, перевірки технічного стану літаків та інфраструктури, а також для оперативного реагування на надзвичайні ситуації. Використання БПЛА дозволяє підвищити точність та оперативність моніторингу, забезпечуючи своєчасне виявлення та усунення загроз. Крім того, БПЛА можуть використовуватися для моніторингу повітряного простору в районах, де традиційні засоби спостереження є недостатніми або відсутніми.

Штучний інтелект (AI) та машинне навчання також відіграють важливу роль у вдосконаленні оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє аналізувати великі обсяги даних про польоти, технічний стан літаків, погодні умови та інші фактори для виявлення патернів та тенденцій, що можуть свідчити про потенційні загрози. Це сприяє прогнозуванню можливого небезпечного зближення та розробці превентивних заходів для їх уникнення. Наприклад, алгоритми можуть аналізувати дані з бортових самописців для виявлення відхилень у роботі систем літака або поведінці екіпажу, що дозволяє вчасно вжити необхідних заходів.

Використання великих даних (Big Data) також є важливим інструментом для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Збір та аналіз

великих обсягів даних про польоти, технічний стан літаків, погодні умови, дії екіпажів та інші фактори дозволяє виявляти закономірності та тренди, що можуть залишатися непомітними при традиційних методах аналізу. Аналітичні платформи, що використовують алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, дозволяють проводити глибокий аналіз даних, прогнозувати розвиток подій та розробляти ефективні превентивні заходи. Це сприяє підвищенню загального рівня безпеки та надійності авіаційних операцій.

Крім того, важливу роль у оцінці ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту відіграють інформаційні системи та бази даних. Використання сучасних інформаційних систем дозволяє авіаційним службам накопичувати, зберігати та аналізувати дані про інциденти, аварії, технічний стан літаків та інші аспекти авіаційної діяльності. Це забезпечує можливість проведення ретроспективного аналізу, виявлення основних причин конфліктних ситуацій та розробки превентивних заходів. Інформаційні системи також сприяють забезпеченню прозорості та доступності даних для всіх зацікавлених сторін, що підвищує загальний рівень безпеки.

Впровадження технологій доповненої реальності (AR) також знаходить своє застосування в оцінці ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. AR дозволяє надавати екіпажам додаткову інформацію про навколишнє середовище, відображаючи її на візуальних дисплеях. Це може включати інформацію про погодні умови, місцезнаходження інших літаків, стан аеропортів та інші дані, що сприяють підвищенню рівня ситуаційної обізнаності та зниженню ризику помилок. Використання AR технологій дозволяє екіпажам швидше і точніше приймати рішення, що підвищує загальний рівень безпеки польотів.

Також важливо зазначити роль систем підтримки прийняття рішень (DSS) в оцінюванні ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. DSS використовують дані з різних джерел для аналізу ситуації в режимі реального часу, прогнозування розвитку подій та надання рекомендацій екіпажам та диспетчерам. Це дозволяє швидше та ефективніше реагувати на зміни ситуації,

знижуючи ризик зближень та підвищуючи загальний рівень безпеки. Наприклад, DSS можуть аналізувати дані про погодні умови, трафік повітряного руху та технічний стан літаків для оптимізації маршрутів та запобігання зіткненням.

4.2. Рекомендації щодо покращення системи моніторингу конфліктних ситуацій

Рекомендації щодо покращення системи моніторингу конфліктних ситуацій в цивільній авіації є критично важливими для забезпечення високого рівня безпеки польотів та ефективного функціонування авіаційної галузі. У цьому розділі ми розглянемо ключові рекомендації, які можуть сприяти вдосконаленню системи моніторингу та зниженню ризиків небезпечного зближення.

Однією з основних рекомендацій є впровадження більш сучасних та надійних технологій автоматичного залежного спостереження (ADS-B). Ця технологія дозволяє забезпечити точне відстеження місцезнаходження літаків у реальному часі, що сприяє кращій координації між диспетчерами та екіпажами. Авіакомпаніям та аеропортам слід активно впроваджувати ADS-B та інтегрувати цю систему з існуючими системами управління повітряним рухом для підвищення точності та ефективності моніторингу.

Ще одна важлива рекомендація – це вдосконалення систем запобігання зіткненням (TCAS). Хоча TCAS вже широко використовується в цивільній авіації, подальше вдосконалення алгоритмів та технологій цієї системи може значно знизити ризики зіткнень у повітрі. Авіакомпаніям слід інвестувати в модернізацію TCAS та навчання екіпажів правильному використанню цієї системи, що дозволить ефективніше уникати зіткнень літаків під час польоту.

Покращення метеорологічних систем є ще однією критично важливою рекомендацією. Сучасні метеорологічні радары, супутникові системи та автоматизовані станції дозволяють отримувати точні дані про погодні умови на маршруті польоту. Авіакомпаніям та авіаційним службам слід інвестувати у вдосконалення цих систем, забезпечуючи екіпажам доступ до актуальної інформації про погодні умови та можливі небезпеки. Це дозволить завчасно

коригувати маршрути польотів та уникати зон з небезпечними погодними явищами.

Інтеграція різних систем моніторингу та управління повітряним рухом (АТС) є ще однією важливою рекомендацією. Інтегровані системи, що об'єднують дані з різних джерел, таких як ADS-B, TCAS, метеорологічні системи та інші, дозволяють диспетчерам отримувати комплексну картину ситуації у повітрі та приймати більш обґрунтовані рішення. Авіаційним службам слід активно впроваджувати такі інтегровані системи, що сприятиме підвищенню рівня безпеки польотів.

Використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання є ще однією важливою рекомендацією для покращення системи оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних про польоти, технічний стан літаків, погодні умови та інші фактори для виявлення патернів та тенденцій, що можуть свідчити про потенційні загрози. Використання AI дозволить прогнозувати можливі потенційно небезпечні зближення та розробляти превентивні заходи для їх уникнення.

Застосування технологій інтернету речей (ІТ) також є важливою рекомендацією. ІТ дозволяє підключати різні пристрої та системи до мережі, забезпечуючи їх взаємодію та обмін даними в реальному часі. Використання ІТ в авіації дозволяє створювати розумні системи моніторингу, які можуть автоматично виявляти та реагувати на можливі зіткнення. Авіакомпаніям та аеропортам слід активно впроваджувати ІТ технології для підвищення точності та оперативності оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту.

Важливою рекомендацією є також вдосконалення систем управління людськими ресурсами та підвищення кваліфікації персоналу. Регулярні тренування, симуляції аварійних ситуацій та програми безперервного навчання допомагають екіпажам та іншому персоналу отримувати необхідні навички та знання для ефективного реагування на надзвичайні ситуації. Авіакомпаніям слід

активно інвестувати у навчання та підвищення кваліфікації свого персоналу, що сприятиме зниженню ризику помилок та підвищенню рівня безпеки польотів.

Іншою важливою рекомендацією є вдосконалення комунікаційних систем. Ефективна комунікація між екіпажем, диспетчерами, технічним персоналом та іншими службами є критично важливою для забезпечення безпеки польотів. Авіакомпаніям слід впроваджувати сучасні системи цифрового обміну даними, такі як CPDLC, які забезпечують точну та швидку передачу інформації. Це сприятиме зниженню ймовірності помилок та непорозумінь, що підвищить загальний рівень безпеки.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє кібербезпека. З розвитком цифрових технологій зростають ризики кіберзагроз, які можуть впливати на безпеку польотів. Авіакомпаніям слід впроваджувати ефективні засоби захисту інформаційних систем, проводити регулярні аудити безпеки та тренування персоналу на випадок кіберінцидентів. Це дозволить запобігати несанкціонованому доступу до систем управління польотами та забезпечувати їх безпечну роботу.

Покращення систем моніторингу технічного стану літаків є ще однією важливою рекомендацією. Використання сучасних систем діагностики та моніторингу дозволяє своєчасно виявляти та усувати потенційні несправності. Авіакомпаніям слід інвестувати у впровадження таких систем, що сприятиме зниженню ризику технічних проблем та підвищенню надійності літаків. Регулярне технічне обслуговування та моніторинг стану літаків є критично важливими для забезпечення безпеки польотів.

Впровадження технологій доповненої реальності (AR) є ще однією рекомендацією. AR дозволяє надавати екіпажам додаткову інформацію про навколишнє середовище, відображаючи її на візуальних дисплеях. Це може включати інформацію про погодні умови, місцезнаходження інших літаків, стан аеропортів та інші дані, що сприяють підвищенню рівня ситуаційної обізнаності та зниженню ризику помилок. Використання AR технологій дозволяє екіпажам

швидше і точніше приймати рішення, що підвищує загальний рівень безпеки польотів.

Забезпечення прозорості та безпеки даних через використання блокчейн-технологій також є важливою рекомендацією. Блокчейн дозволяє створювати захищені та незмінні записи про технічне обслуговування літаків, історію польотів, сертифікацію компонентів та інші важливі аспекти. Використання блокчейн-технологій сприяє запобіганню фальсифікації даних та підвищує рівень довіри до інформації, що використовується для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту.

Модернізація авіаційної інфраструктури є необхідною умовою для підвищення рівня безпеки польотів. Інвестиції у модернізацію, аеронавігаційних систем та аеропортового обладнання дозволяють усувати інфраструктурні проблеми та знижувати ризики інцидентів. Регулярне технічне обслуговування та оновлення інфраструктури забезпечують її надійну роботу та сприяють підвищенню загального рівня безпеки.

Важливою рекомендацією є також забезпечення стабільного фінансування заходів безпеки. Економічні труднощі можуть призводити до скорочення витрат на безпеку, що створює додаткові ризики. Важливо забезпечувати стабільне фінансування програм безпеки, технічного обслуговування та підготовки персоналу, що сприяє підтримці високого рівня безпеки польотів.

На завершення, слід зазначити, що рекомендації щодо покращення системи моніторингу конфліктних ситуацій в цивільній авіації є багатограними і включають різноманітні аспекти, такі як впровадження сучасних технологій автоматичного залежного спостереження (ADS-B), вдосконалення систем запобігання зіткненням (TCAS), покращення метеорологічних систем, інтеграція різних систем моніторингу та управління повітряним рухом (ATC), використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання, застосування технологій інтернету речей (IIoT), вдосконалення систем управління людськими ресурсами та підвищення кваліфікації персоналу, покращення комунікаційних систем,

забезпечення кібербезпеки, покращення систем моніторингу технічного стану літаків, впровадження технологій доповненої реальності (AR), забезпечення прозорості та безпеки даних через використання блокчейн-технологій, модернізація авіаційної інфраструктури, забезпечення стабільного фінансування заходів безпеки, використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу та управління повітряним рухом. Впровадження цих рекомендацій сприятиме підвищенню рівня безпеки польотів, зниженню ризику можливих зіткнень літаків та забезпеченню ефективного управління авіаційною діяльністю. Завдяки комплексному підходу до покращення системи моніторингу конфліктних ситуацій можна досягти високого рівня надійності та безпеки в цивільній авіації, що сприятиме збереженню довіри пасажирів та стабільності авіаційної галузі в цілому.

4.3. Перспективи розвитку та впровадження новітніх технологій у моніторинг конфліктних ситуацій

Перспективи розвитку та впровадження новітніх технологій у моніторинг конфліктних ситуацій в цивільній авіації відкривають широкі можливості для підвищення рівня безпеки польотів та ефективності управління авіаційною діяльністю. Сучасні технології надають нові інструменти та методи, які дозволяють своєчасно виявляти потенційні загрози, аналізувати дані в режимі реального часу та розробляти превентивні заходи для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. У цьому розділі ми розглянемо ключові перспективи розвитку та впровадження новітніх технологій у моніторинг конфліктних ситуацій, їхні переваги та вплив на авіаційну галузь.

Однією з найперспективніших технологій є штучний інтелект (AI) та машинне навчання. AI здатний аналізувати величезні обсяги даних про польоти, технічний стан літаків, погодні умови, поведінку екіпажу та пасажирів, а також інші фактори. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє виявляти складні патерни та тенденції, які можуть свідчити про потенційні загрози. Наприклад, AI може аналізувати дані з бортових самописців для виявлення

відхилень у роботі систем літака або поведінці екіпажу, що дозволяє вчасно вжити необхідних заходів. AI також може використовуватися для прогнозування технічних несправностей, аналізу погодних умов та оптимізації маршрутів польотів.

Іншою важливою технологією є інтернет речей (ІТ). ІТ дозволяє підключати різні пристрої та системи до мережі, забезпечуючи їх взаємодію та обмін даними в режимі реального часу. В авіації ІТ може використовуватися для моніторингу технічного стану літаків, збору даних з сенсорів, встановлених на борту, та передавання цієї інформації на землю для подальшого аналізу. Використання ІТ дозволяє створювати розумні системи оцінки, які автоматично виявляють та реагують на потенційні загрози. Це сприяє своєчасному виявленню проблем та вжиттю превентивних заходів для їх усунення.

Технології великих даних (Big Data) також відіграють важливу роль у розвитку оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Збір та аналіз великих обсягів даних про польоти, технічний стан літаків, погодні умови, дії екіпажів та інші фактори дозволяє виявляти закономірності та тренди, які можуть залишатися непомітними при традиційних методах аналізу. Використання аналітичних платформ, що базуються на алгоритмах машинного навчання та штучного інтелекту, дозволяє проводити глибокий аналіз даних, прогнозувати розвиток подій та розробляти ефективні превентивні заходи. Це сприяє підвищенню загального рівня безпеки та надійності авіаційних операцій.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) також відкривають нові можливості для моніторингу конфліктних ситуацій. БПЛА можуть використовуватися для спостереження за станом аеропортів, перевірки технічного стану літаків та інфраструктури, а також для оперативного реагування на надзвичайні ситуації. Використання БПЛА дозволяє підвищити точність та оперативність моніторингу, забезпечуючи своєчасне виявлення та усунення загроз. Крім того, БПЛА можуть використовуватися для моніторингу повітряного простору в районах, де традиційні засоби спостереження є недостатніми або відсутніми.

Супутникові системи зв'язку та навігації також мають значний потенціал для покращення оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Супутникові технології забезпечують високоточне позиціонування літаків, що є особливо важливим для польотів у віддалених регіонах або над океанами, де відсутня наземна інфраструктура. Супутникові системи також дозволяють забезпечити надійний зв'язок між літаком та наземними службами, що сприяє кращій координації та оперативному реагуванню на небезпечні зближення. Використання супутникових систем зв'язку, таких як Ірідіум, дозволяє екіпажам завжди залишатися на зв'язку, що підвищує рівень безпеки польотів.

Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) є перспективними технологіями для підготовки та навчання авіаційного персоналу. Використання VR та AR тренажерів дозволяє створювати реалістичні симуляції польотів та аварійних ситуацій, що допомагає екіпажам відпрацьовувати необхідні навички та дії в критичних умовах. Це сприяє підвищенню рівня підготовки персоналу та зниженню ризику помилок, що можуть призводити до конфліктних ситуацій. Використання AR технологій також дозволяє надавати екіпажам додаткову інформацію про навколишнє середовище, відображаючи її на візуальних дисплеях, що підвищує рівень ситуаційної обізнаності та знижує ризик помилок.

Кіберфізичні системи (CPS) інтегрують фізичні процеси з обчислювальними ресурсами та мережею зв'язку, забезпечуючи високу точність та надійність моніторингу та управління авіаційними системами в реальному часі. CPS дозволяють здійснювати моніторинг та управління технічним станом літаків, аналізувати дані з сенсорів та автоматично виявляти потенційні проблеми. Це дозволяє швидше реагувати на зміни та забезпечувати безперервний контроль за станом авіаційної техніки.

Блокчейн-технології мають великий потенціал для забезпечення прозорості та безпеки даних в авіаційній галузі. Використання блокчейн дозволяє створювати захищені та незмінні записи про технічне обслуговування літаків,

історію польотів, сертифікацію компонентів та інші важливі аспекти. Це сприяє запобіганню фальсифікації даних та підвищує рівень довіри до інформації, що використовується для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Авіакомпаніям та аеропортам слід активно досліджувати та впроваджувати блокчейн-технології для підвищення прозорості та безпеки даних.

Технології зв'язку наступного покоління (5G) також відкривають нові можливості для оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Впровадження 5G дозволяє забезпечити швидкий та надійний обмін даними між різними системами та пристроями, що використовуються для моніторингу та управління повітряним рухом.

Використання 5G дозволяє підвищити точність та оперативність обміну інформацією, що сприяє зниженню ризику небезпечного зближення та підвищенню рівня безпеки польотів.

Інтеграція систем управління повітряним рухом (ATC) з новітніми технологіями є ще однією важливою перспективою розвитку. Інтегровані системи, що об'єднують дані з різних джерел, таких як ADS-B, TCAS, метеорологічні системи та інші, дозволяють диспетчерам отримувати комплексну картину ситуації у повітрі та приймати більш обґрунтовані рішення. Авіаційним службам слід активно впроваджувати такі інтегровані системи, що сприятиме підвищенню рівня безпеки польотів.

Автоматизація та використання робототехніки також мають значний потенціал для покращення оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту. Автоматизовані системи можуть виконувати рутинні завдання з високою точністю, знижуючи навантаження на екіпаж та зменшуючи ризик помилок. Використання роботів для технічного обслуговування літаків, перевірки стану аеропортів та інших завдань дозволяє підвищити ефективність та точність оцінки. Роботи можуть працювати в складних та небезпечних умовах, що робить їх незамінними для виконання деяких видів робіт.

В кінці, слід зазначити, що перспективи розвитку та впровадження новітніх технологій в оцінки ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту є дуже широкими та багатограними. Використання штучного інтелекту (AI), інтернету речей (IT), великих даних (Big Data), безпілотних літальних апаратів (БПЛА), супутникових систем зв'язку та навігації, віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR), кіберфізичних систем (CPS), блокчейн-технологій, технологій зв'язку наступного покоління (5G), автоматизації та робототехніки відкривають нові можливості для підвищення рівня безпеки польотів та ефективного управління авіаційною діяльністю.

Впровадження цих технологій сприятиме своєчасному виявленню потенційних загроз, аналізу даних в режимі реального часу та розробці превентивних заходів для уникнення небезпечних зближень. Завдяки комплексному підходу до розвитку та впровадження новітніх технологій можна досягти високого рівня надійності та безпеки в цивільній авіації, що сприятиме збереженню довіри пасажирів та стабільності авіаційної галузі в цілому.

ВИСНОВКИ

1. **Актуальність теми.** Оцінка ризиків небезпечного зближення літаків під час польоту залишається вкрай важливим для забезпечення безпеки польотів. Враховуючи зростання авіаційного трафіку, збільшення числа рейсів та комплексність повітряного простору, ефективність систем моніторингу та оцінювання безпосередньо впливає на загальну безпеку авіаційної галузі.

2. **Необхідність вдосконалення технологій.** сучасний стан технологічного забезпечення оцінки небезпечних зближень має певні недоліки, які потребують удосконалення. Зокрема, потрібно активізувати впровадження штучного інтелекту, машинного навчання та інтернету речей для аналізу великих обсягів даних та своєчасного реагування на потенційні загрози.

3. **Ефективність існуючих систем.** аналіз показав, що багато існуючих систем моніторингу потребують модернізації, зокрема щодо точності відстеження, швидкості обробки даних та інтеграції різних джерел інформації. Поліпшення цих параметрів може значно знизити ризик непередбачуваних небезпечних зближень.

4. **Рекомендації щодо покращення.** було розроблено комплекс рекомендацій, спрямованих на оптимізацію процесів оцінки. Вони включають впровадження передових технологій, покращення навчання персоналу, модернізацію обладнання та програмне забезпечення, а також зміцнення кібербезпеки.

5. **Значення профілактичних заходів.** одним із ключових висновків є важливість профілактичних заходів в оцінці небезпечних зближень. Регулярне оновлення баз даних, тренінги з реагування на екстрені ситуації та аналіз "чорних скриньок" можуть значно знизити кількість аварій та інцидентів.

6. **Міжнародна співпраця.** для ефективно оцінки важливою є міжнародна співпраця та обмін досвідом між авіаційними організаціями різних країн. Уніфікація стандартів та методів оцінки допоможе створити більш ефективну глобальну систему безпеки польотів.

7. Інновації як ключ до прогресу. впровадження інноваційних технологій в авіаційній галузі має бути відповідальним та відбуватися з урахуванням усіх потенційних ризиків. Інновації не тільки покращують систему оцінювання, але й забезпечують авіакомпаніям конкурентні переваги.

Ця дипломна робота відображає значний вклад у розробку стратегій підвищення безпеки в авіаційній галузі та надає основу для подальших досліджень у цій важливій області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрієнко А. В. Сучасні системи моніторингу в цивільній авіації: навчальний посібник / А. В. Андрієнко. – Київ : КНУТД, 2018. – 142 с.
2. Барановський Ю. О. Авіаційна безпека: теорія і практика / Ю. О. Барановський. – Львів : Львівська політехніка, 2019. – 198 с.
3. Василенко В. О. Кібербезпека в авіаційних системах: монографія / В. О. Василенко, І. М. Кириленко. – Харків : ХНУРЕ, 2017. – 204 с.
4. Гаврилюк В. П. Ризики в цивільній авіації та їх моніторинг / В. П. Гаврилюк. – Київ : Авіація, 2016. – 156 с.
5. Гончаренко С. У. Авіаційна психологія: управління конфліктами / С. У. Гончаренко. – Київ : Наукова думка, 2020. – 174 с.
6. Демченко В. Ю. Системи попередження зіткнень в авіації / В. Ю. Демченко. – Харків : Фактор, 2018. – 164 с.
7. Журавльов Д. А. Технології моніторингу в авіації: монографія / Д. А. Журавльов. – Дніпро : Арт-Прес, 2019. – 232 с.
8. Зінченко А. П. Інноваційні системи в цивільній авіації / А. П. Зінченко. – Київ : Ліра-К, 2017. – 128 с.
9. Іванов І. І. Безпека польотів в умовах конфлікту: проблеми та рішення / І. І. Іванов. – Одеса : Астропринт, 2016. – 144 с.
10. Коваль В. Р. Інформаційні технології в авіації / В. Р. Коваль. – Житомир : Полісся, 2017. – 196 с.
11. Козаченко Л. В. Методи розрахунку ризиків в авіації / Л. В. Козаченко. – Київ : Ліра-К, 2018. – 212 с.
12. Кулик А. Б. Технології моніторингу авіаційних систем / А. Б. Кулик. – Київ : Наукова думка, 2017. – 187 с.