

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ

Факультет авіаційного менеджменту
Кафедра аеронавігації, метеорології та організації повітряного руху

БАБІН ІВАН АНДРІЙОВИЧ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Моделювання бортових систем попередження зіткнень повітряних суден
у моделюючому комплексі роботи авіадиспетчера**

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

ОПП «Управління повітряним рухом»

Освітній ступінь - магістр

«Допустити до захисту»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент _____ Н.І. Кушнірова

« _____ » _____ 2025 р.

Науковий керівник:

к.т.н., доцент, _____ Н.І. Кушнірова

Робота захищена:

« _____ » _____ 2025 р.

з оцінкою _____

Голова ЕК _____

Кропивницький 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Устаткування бортових систем попередження зіткнень є обов'язковим у всьому світі з початку 2000-х років. Після розробки наприкінці 2000-х років, TCAS II версії 7.1 була введена в Європі з 1 грудня 2015 року для всіх цивільних літаків з фіксованим крилом та турбінними двигунами, що мають максимальну злітну масу, що перевищує 5700 кг, або максимально схвалену конфігурацію пасажирських. Щоб бортові системи попередження зіткнень забезпечували максимальну безпеку в повітряному просторі, зводячи до мінімуму порушення польотів та звичайних операцій УПР, дуже важливо, щоб екіпажі повітряних суден та авіадиспетчери були знайомі з принципами роботи ACAS та правильними процедурами її використання

У дипломній роботі розроблені алгоритми і моделі функціонування активації бортових систем попередження зіткнення, прийняття рішень екіпажами повітряних суден в умовах роботи бортових систем попередження зіткнень, запропоновані рекомендації до вдосконалення існуючої моделі видачі повідомлень від екіпажів ПС та введенню індикації виконання екіпажами ПС вказівок бортових систем попередження зіткнень для тренажерного комплексу.

Отримані моделі дозволять підвищити достовірність моделювання динамічної повітряної обстановки при виникненні загрози зіткнення між повітряними судами в тренажерах авіадиспетчерів.

Пояснювальна записка включає: _____ сторінок , _____ малюнків , _____ таблиць , _____ літературних джерел.

ANNOTATION

The installation of on-board collision avoidance systems has been mandatory worldwide since the early 2000s. After development in the late 2000s, TCAS II version 7.1 was introduced in Europe on 1 December 2015 for all civil fixed-wing turbine-engined aircraft with a maximum take-off mass exceeding 5700 kg or the maximum approved passenger configuration. In order for airborne collision avoidance systems to maximize airspace safety while minimizing disruption to flight and normal ATC operations, it is essential that aircrews and air traffic controllers are familiar with the principles of ACAS and the correct procedures for its use

The thesis developed algorithms and models of the activation of on-board collision prevention systems, decision-making by aircraft crews under the conditions of operation of on-board collision prevention systems, proposed recommendations for improving the existing model of issuing messages from aircraft crews and introducing an indication of the execution by aircraft crews of the instructions of on-board collision prevention systems for training complex.

The obtained models will allow to increase the reliability of modeling the dynamic air situation in the event of a threat of collision between aircraft in air traffic controllers' simulators.

The explanatory note includes: _____ pages, _____ figures, _____ tables, _____ literature sources.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. БОРТОВІ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ	9
1.1 Історія розвитку бортових систем попередження зіткнень	9
1.2 Принципи роботи системи TCAS II	24
1.3 Консультативна інформація та рекомендації бортових систем попередження зіткнень в повітряному просторі RVSM	30
РОЗДІЛ 2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИРІШЕННЯ ЗАГРОЗИ ЗІТКНЕННЯ	33
2.1 Аналіз типових випадків зближення повітряних суден	34
2.2 Експлуатаційні наслідки роботи бортових систем попередження зіткнень для авіадиспетчера	46
2.3 Експлуатаційні наслідки роботи бортових систем попередження зіткнень для екіпажів повітряних суден	50
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮЮЧОГО КОМПЛЕКСУ	54
3.1 Підготовка диспетчерів управління повітряним рухом для управління повітряними судами, обладнаними БСПЗ	55
3.2 Алгоритм активації бортової системи попередження зіткнень	66
3.3 Алгоритм прийняття рішень для екіпажів повітряних суден	70
ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АДВ	аеродромно-диспетчерська вишка
АС УПР	автоматизована система управління повітряним рухом
АП	авіаційна подія
АТ	авіаційний транспорт
АТС	авіаційна транспортна система
БП	безпека польотів
ВПР	висота прийняття рішення
ЕПС	екіпаж повітряного судна
ЗПС	злітно-посадкова смуга
ІСАО	Міжнародна організація цивільної авіації
КСБ	кінцева смуга безпеки
КП	керівник польотів
КС	конфліктна ситуація
ЛА	літальний апарат
ЛА НАУ	льотна академія Національного авіаційного університету
МК	моделюючий комплекс
МС	місця стоянок
НДЗ	наявна дистанція зльоту
НДПЗ	наявна дистанція перерваного зльоту
НДР	наявна дистанція розбігу
НДП	наявна дистанція посадки
НСЦ	Навчально-сертифікаційний центр
РСП	регіональний структурний підрозділ
ТЗ	транспортний засіб
ОЗП	осінньо-зимовий період
ОПР	обслуговування повітряного руху

ОрПР	організація повітряного руху
ПЮ	польотно-інформаційне обслуговування
ПЗ	програмний засіб
ПКС	потенційно конфліктна ситуація
ПР	повітряний рух
ПС	повітряне судно
ПВП	правила візуальних польотів
ППП	правила польотів за приладами
РД	рулільна доріжка
РДЦ	районний диспетчерський центр
СОПР	служба обслуговування повітряного руху
ТЦ	тренажерний центр
УПР	управління повітряним рухом
АР	airport
ADS	Automatic Dependent Surveillance
AFIS	Aerodrome Flight Information Service
ACP	Area Control Procedural Rating
ACS	Area Control Surveillance Rating
APP	Approach Control Procedure
APS	Approach Control Surveillance Rating
APS	Approach Control Surveillance
ARO	ATS Reporting Office
AIS	Aeronautical information
ASM	Airspace Management
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
STCA	Short Term Conflict Alert
TMA	Terminal Control Area
TCAS	Traffic alert and Collision Avoidance System
SARPs	Standart and Recommended practice

ВСТУП

Концепція бортової системи попередження зіткнень є бортовим обладнанням повітряних суден, яка діє незалежно від служби управління повітряним рухом як крайній захід безпеки для зниження ризику зіткнень повітряних суден у повітрі, коли інші заходи забезпечення безпеки не дали позитивного результату. Бортова система попередження зіткнень відстежує повітряні судна в навколишньому повітряному просторі за відповідями їх транспондерів. Якщо система прогнозує ризик зіткнення, що насувається, вона видає екіпажу повітряного судна рекомендацію щодо вирішення ситуації (RA), яка вказує пілотам, за допомогою яких маневрів найкраще уникнути зіткнення.

Досвід, експлуатаційний моніторинг та дослідження з моделювання показали, що при швидкому та точному дотриманні рекомендацій RA, що видаються бортовою системою, значно знижується ризик зіткнень повітряних суден у повітрі.

Устаткування ACAS II є обов'язковим у всьому світі з початку 2000-х років. Після розробки наприкінці 2000-х років, TCAS II версії 7.1 була введена в Європі з 1 грудня 2015 року для всіх цивільних літаків з фіксованим крилом та турбінними двигунами, що мають максимальну злітну масу, що перевищує 5700 кг, або максимально схвалену конфігурацію пасажирських. Щоб бортові системи попередження зіткнень забезпечували максимальну безпеку в повітряному просторі, зводячи до мінімуму порушення польотів та звичайних операцій управління повітряним рухом, дуже важливо, щоб екіпажі повітряних суден та авіадиспетчери були знайомі з принципами роботи ACAS та правильними процедурами її використання.

Забезпечення прийнятного рівня безпеки польотів є головним пріоритетом діяльності ІКАО. Незважаючи на спад в економіці, попит на міжнародні авіап перевезення як залишається стабільним, а й показує певне

зростання. Очікується, що світовий обсяг авіап перевезень від року до року показуватиме приріст на рівні 4-5 відсотків на всі роки поточного десятиліття і більш віддалені терміни. Продовжуючи нарощувати обсяг перевезень, авіація залишається для нас найбезпечнішим засобом пересування – з низькою кількістю авіаційних подій у світі: за оцінками ICAO - 4,1 на мільйон вильотів. Щоправда, необхідно враховувати, ця цифра дуже змінюється залежно від регіону.

Протягом останніх кількох років ICAO використала підхід до просування безпечної міжнародної цивільної авіації з більшою орієнтацією на практичні дії. Організація вдосконалює практику управління безпекою шляхом впровадження систем управління безпекою польотів (SMS) – для постачальників аеронавігаційного обслуговування – та реалізації Державної програми із забезпечення безпеки польотів (SSP) – для регулятивних органів.

З огляду на те, що в даний час повітряний транспорт є найбільш безпечним видом транспорту, завдання авіаційної галузі і регулюючих органів полягає в тому, щоб цю систему зробити ще більш безпечною. Тому дослідження, які проводяться в області забезпечення безпеки повітряного транспорту, повинні привести до «глобального скорочення ризиків авіаційних подій в цивільній авіації».

Метою даної роботи є підвищення рівня достовірності моделювання динамічної повітряної обстановки на диспетчерських тренажерах.

Для досягнення мети роботи поставлені і вирішені наступні **завдання**:

1. Вивчити історію розвитку бортових систем попередження зіткнень та розглянуті принципи роботи системи видачі інформації про повітряний рух і попередження зіткнень TCAS II;
2. Вивчити типові випадки зближення повітряних суден і експлуатаційні наслідки для екіпажів повітряних суден і диспетчерів служби руху;

3. На основі системи випереджаючого моделювання розробити алгоритм активації БСПЗ для використання в моделюючому комплексі;

4. Розробити алгоритм вибору рішення для екіпажів повітряних суден при виникненні загрози зіткнення між повітряними судами;

5. Розробити рекомендації щодо вдосконалення існуючої моделі видачі повідомлень від екіпажів повітряних суден та введенню індикації виконання екіпажами повітряних суден вказівок БСПЗ для моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера.

Об'єктом дослідження є система формування динамічної повітряної ситуації в диспетчерських тренажерах.

Предмет дослідження - модель прийняття рішень екіпажами повітряних суден в умовах роботи бортових систем попередження зіткнень.

Методи, використані в роботі:

В роботі використовувалися наступні методи теоретичного рівня:

- Метод аналізу проводився з метою дослідження в області безпеки польотів, а також регламентуючих документів з питань діяльності диспетчера управління повітряним рухом, літературних джерел по системам підтримки прийняття рішень, людського фактору в авіації тощо;

- Метод узагальнення проводився з метою обґрунтування актуальності проблеми дослідження, визначення основних напрямів створення моделі;

- Метод моделювання використовується в роботі для побудови моделі бортових систем попередження зіткнення повітряних суден.

У роботі використовуються такі методи емпіричного рівня:

- Вимірювання і порівняння застосовуються для визначення розмірів зони безпеки повітряного судна;

- Спостереження (аналіз помилок у виконаних вправах) дозволило підтвердити актуальність нашого дослідження.

Наукова новизна: у дипломній роботі а основі системи випереджаючого моделювання розроблено алгоритм активації бортових систем попередження зіткнень для використання в тренажерах

авіадиспетчерів, розроблений алгоритм вибору рішення для екіпажів повітряних суден при виникненні загрози зіткнення між повітряними судами. Запропоновано рекомендації до вдосконалення існуючої моделі видачі повідомлень від екіпажів повітряних суден та введенню індикації виконання екіпажами повітряних суден вказівок бортових систем попередження зіткнень для моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера.

Практичне значення: результати дипломного дослідження можуть бути використані в навчальних закладах з підготовки фахівців для служби руху, тренажерних і сертифікаційних центрах для підвищення ефективності професійної підготовки диспетчерського складу. Запропонована модель БСПЗ може використовуватися при тренажерній підготовці авіадиспетчерів.

Публікації: результати дослідження були опубліковані в наукових тезах:

1. Бабін І.А., Землянський А.В., Експлуатаційні наслідки спрацювання бортових систем попередження зіткнень для авіадиспетчера / XXVII Міжнародна науково-практична конференція «PROSPECTS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE CONDITIONS OF THE MODERN WORLD» (June 12-14, 2024) Rotterdam, Netherlands, International Scientific Unity, 2024. 266 p.

2. Бабін І.А., Кушнерова Н.І., Алгоритм прийняття рішень для екіпажів повітряних суден при активізації бортової системи попередження зіткнень / LII Міжнародна науково-практична конференція «Scientific Research in the Age of Virtual Reality: Exploring New Frontiers» (December 18-20, 2024) Montreal, Canada, International Scientific Unity, 2024. 307 p.

РОЗДІЛ 1

БОРТОВІ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ

1.1 Історія розвитку бортових систем попередження зіткнень

Важливість впровадження бортових систем запобігання зіткненням для безпеки польотів неможливо переоцінити. Впровадження таких систем у цивільну авіацію сприяло значному зниженню кількості небезпечних зближень та зіткнень повітряних суден у повітрі. Однак, незважаючи на постійне вдосконалення та досягнутий безперечний прогрес у розвитку цих систем, все ще трапляються окремі випадки порушень безпеки польотів, для усунення яких і розроблені бортові системи попередження зіткнень. Однією з причин подібних інцидентів є те, що бортові системи попередження зіткнень лише видають попередження екіпажам повітряних суден про потенційну небезпеку та надають рекомендації, але не здатні безпосередньо керувати параметрами польоту повітряного судна.

Виключно пілот повітряного судна, спираючись на інформацію бортової системи попередження зіткнень та використовуючи візуальне спостереження за повітряною обстановкою, здатний запобігти зіткненню повітряних суден під час виконання польоту. Ось чому так важливо розуміти принципи роботи цієї системи та всі її тонкощі, причому це стосується не лише екіпажів повітряних суден, а й диспетчерів керування повітряним рухом.

Європейська організація з безпеки повітряної навігації (Євроконтроль), розуміючи виняткову значущість навчання пілотів повітряних суден роботі з бортовими системами попередження зіткнень, випускає документ "Інформаційні бюлетені TCAS" (Traffic alert and Collision Avoidance System), які допомагають аналізувати помилки пілотів повітряних суден, демонструють приклади вірних дій та дає роз'яснення до вимог документів Міжнародної організації цивільної авіації.

Наступна стадія розвитку систем попередження зіткнень повітряних суден у повітрі включає бортову систему попередження зіткнень, яка має можливість автоматичного впливу на системи управління повітряного судна. Подібна система входить до складу бортового обладнання повітряних суден сімейства Airbus A-380, а зараз проводиться планове вдосконалення для іншого сімейства повітряних суден Airbus з електричною системою управління.

Бортові системи попередження зіткнень були створені для надання пілотам повітряних суден рекомендацій, які покликані допомогти їм уникнути зіткнень у разі виникнення потенційної загрози зіткнення з іншими повітряними суднами в польоті. Це досягається шляхом видачі рекомендацій щодо розв'язання загрози зіткнення (Resolution Advisories) з переліком відповідних дій пілота повітряного судна (включаючи необхідні маневри), а також наданням інформації про повітряний рух (Traffic Advisories), яка служить приводом для візуального сигналу. щодо вирішення загрози зіткнення. Бортові системи запобігання зіткнень були створені як додатковий засіб для запобігання можливим зіткненням повітряних суден у повітрі, доповнюючи традиційну систему управління повітряним рухом (включаючи наземні системи попередження про потенційно-конфліктні ситуації Short Term Conflict Alert). Ця система мінімізує видачу надмірних попереджень під час зближення, коли ризик зіткнення повітряних суден не виправдовує необхідність виконання маневрів ухилення. Бортові системи запобігання зіткнень не залежать від будь-яких наземних систем, тобто працюють лише у взаємодії одна з одною.

Устаткування бортової системи попередження зіткнень, встановлене на повітряному судні, запитує інформацію про фактичні параметри польоту повітряних суден від приймачів автоматичного залежного спостереження (ADS- Automatic Dependent Surveillance) в режимах A/C і S у повітряних суден у радіусі дії системи та отримує відповіді. Потім бортова система попередження зіткнень обробляє отримані дані та визначає, які повітряні

судна можуть становити потенційну загрозу зіткнення. Далі бортова система попередження зіткнень надає екіпажу повітряного судна рекомендації щодо запобігання таким ситуаціям через індикацію на панелях бортового обладнання повітряного судна (рисунок 1.1).

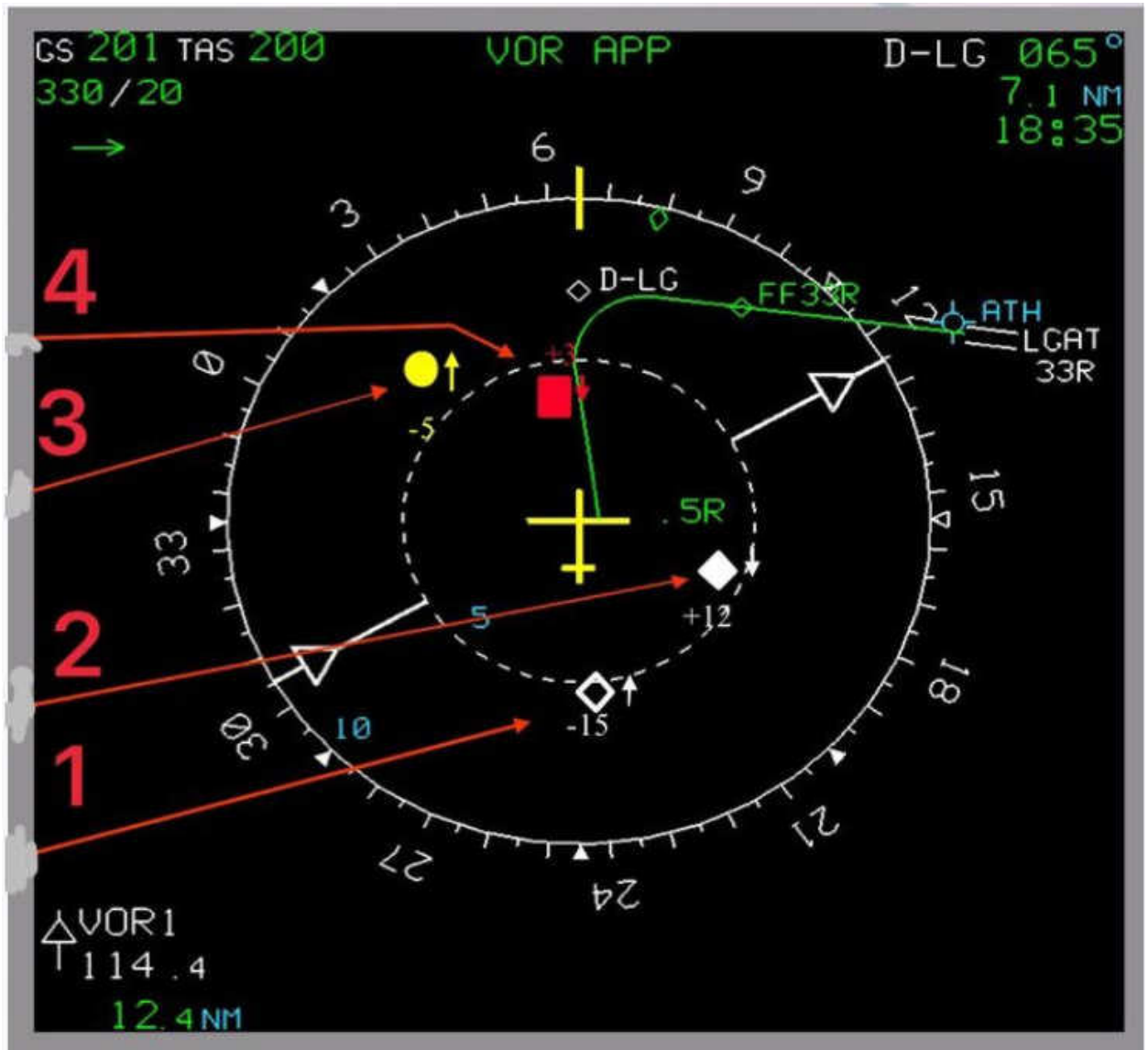


Рис.1.1 Приклад виведення інформації про повітряну обстановку на навігаційному дисплеї повітряного судна

В актуальних версіях обладнання бортових систем попередження зіткнень забезпечується видача двох видів рекомендацій/повідомлень:

1) Рекомендація щодо вирішення загрози зіткнення (Resolution Advisories - RA) наказує виконання маневрів повітряного судна у вертикальній площині, тобто виконання маневрів зниження або набору

висоти повітряним судном, або обмеження на виконання подібних маневрів, необхідні для збільшення або підтримання поточного ешелонування щодо параметри польоту яких можуть становити потенційну небезпеку. Інформація про повітряний рух надає відомості про ті повітряні судна, які можуть створити загрозу безпеці польоту і, отже, викликати рекомендацію щодо вирішення загрози зіткнення. Слід зауважити, що бортові системи попередження зіткнень другого рівня (TCAS II) не пропонують маневри для запобігання зіткненням у горизонтальній площині.

2) Повідомлення про повітряний рух (Traffic Advisories – TA) вказують на ті повітряні судна в радіусі дії бортової системи попередження зіткнень, положення та параметри польоту яких можуть нести небезпеку по відношенню до вашого повітряного судна. Необхідно зазначити, що повідомлення про повітряний рух без інформації про абсолютну висоту також видаються для повітряних суден, прийомовідповідачі яких не передають дані про абсолютну висоту польоту.

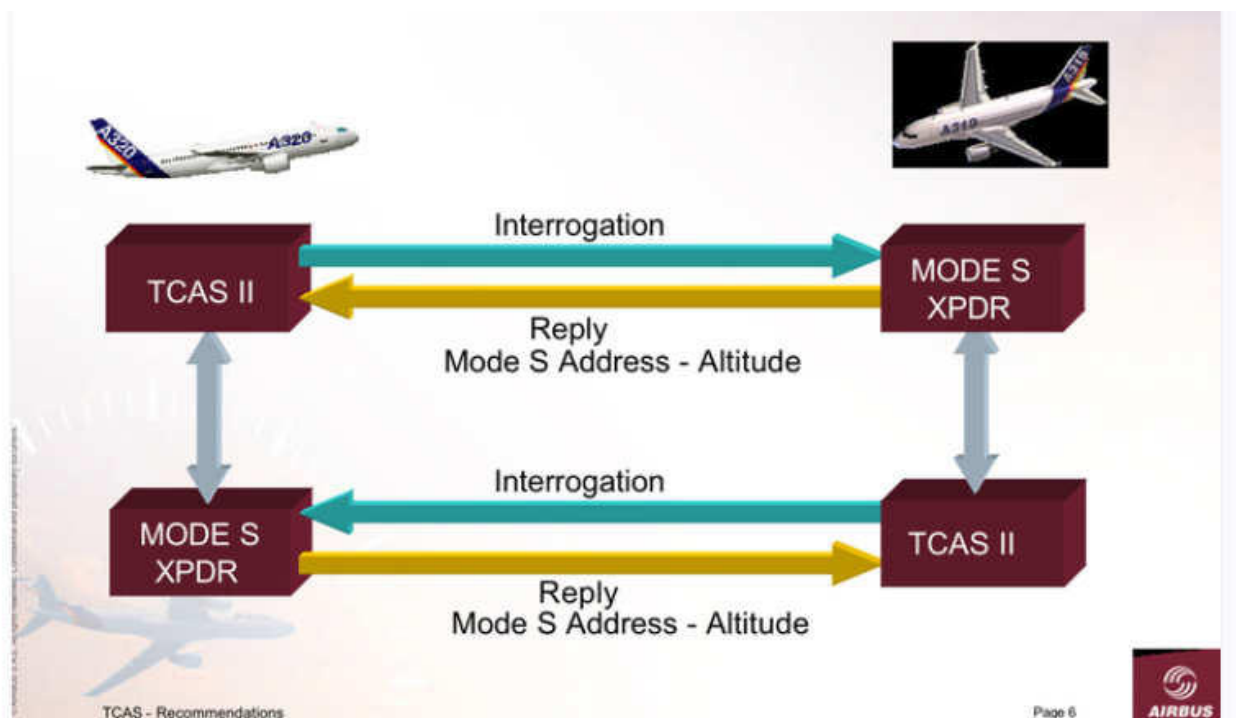


Рис.1.2 Базова схема роботи бортових систем попередження зіткнень

Давайте розглянемо принцип роботи бортових систем попередження зіткнень. Бортова апаратура цих систем періодично надсилає запитні сигнали до систем інших повітряних суден, що у радіусі дії системи. Відповідачі на навколишніх повітряних суднах видають відповіді ці запити. Відповідач режиму C передає інформацію про абсолютну висоту повітряного судна. А відповідач режиму S передає інформацію про абсолютну висоту та індивідуальну адресу свого повітряного судна (рисунок 1.2).

За своїми характеристиками бортова система попередження зіткнень здатна виявляти конфліктні ситуації у радіусі 30 морських миль. А також у поздовжньому каналі від 30 до 80 морських миль в залежності від швидкісних характеристик повітряних суден і 9900 футів по висотах у напрямку вгору та вниз щодо свого повітряного судна (рисунок 1.3).

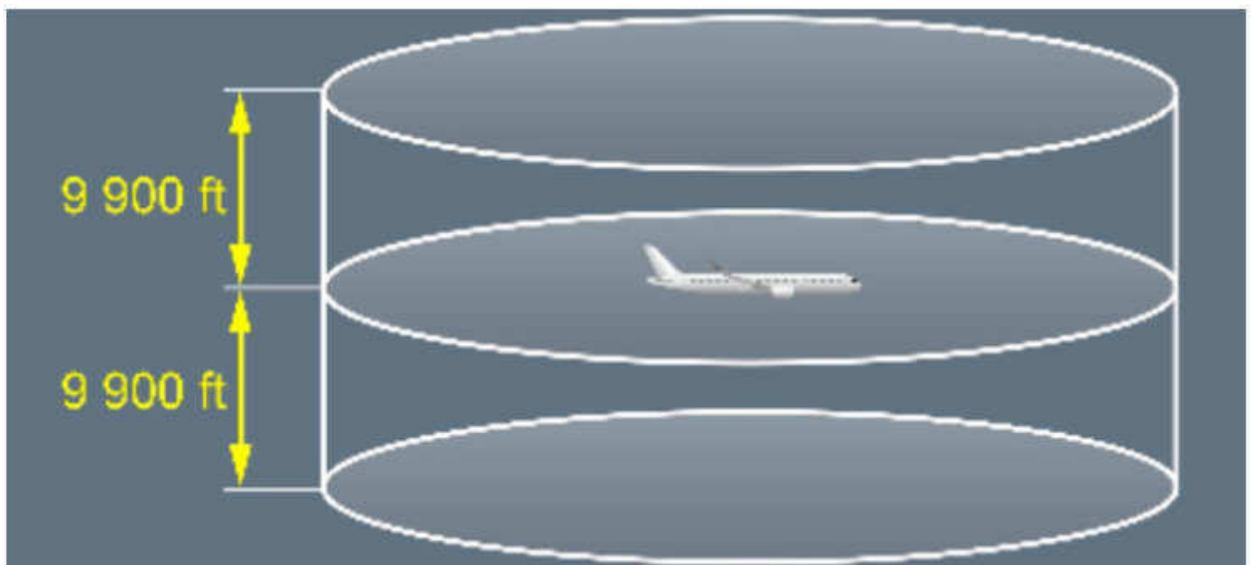


Рис.1.3 Зона виявлення конфліктних ситуацій бортової системи попередження зіткнень

Бортова система попередження зіткнень отримує дані, що передаються транспондерами (відповідачами) автоматичної залежної системи спостереження прилеглих повітряних суден, та використовує ці дані для оцінки можливих загроз зіткнення.

Короткий алгоритм роботи бортової системи попередження зіткнень наступний:

Насамперед бортова система попередження зіткнень визначає:

- курс конфліктного повітряного судна щодо курсу власного повітряного судна.
- відстань між своїм та конфлікуючим повітряним судном, а також швидкість розбіжності чи зближення повітряних суден.
- відносну висоту конфліктного повітряного судна, якщо відповідач конфліктного повітряного судна повідомляє про свою висоту за допомогою прийомовідповідача автоматичного залежного спостереження в режимі C або S.

Потім бортова система попередження зіткнень розраховує траєкторію руху свого та конфлікуючого повітряних суден до виникнення конфліктної ситуації, так звану точку найбільшого зближення (Closest Point of Approach – CPA) та розрахунковий час (Time to intercept – TAU) до досягнення точки найбільшого зближення (рисунок 1.4).

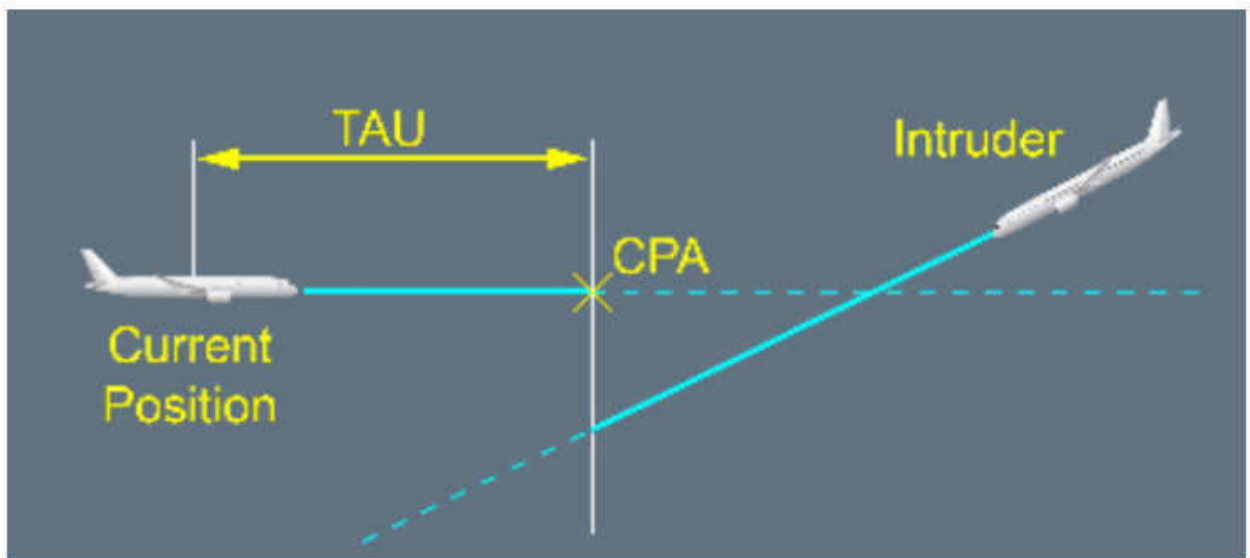


Рис.1.4 Точка найбільшого зближення повітряних суден

У разі виявлення бортовою системою попередження зіткнень ситуації, за якої є ймовірність зіткнення повітряних суден у повітрі, система видає повідомлення пілотам повітряного судна, використовуючи такі засоби:

- аудіо та візуальні індикатори;

- Команди на встановлення певних значень вертикальних швидкостей, щоб забезпечити достатній поділ траєкторії конфліктних повітряних суден і мінімально можливу вертикальну зміну швидкості з урахуванням усіх повітряних суден, що знаходяться навколо.

Як ми розглянули вище, в логіці роботи бортових систем запобігання конфліктним ситуаціям існують основні категорії конфліктних ситуацій: це RA і TA. Але насправді варіантів цих ситуацій більше (рисунок 1.5). Розглянемо їх докладніше.

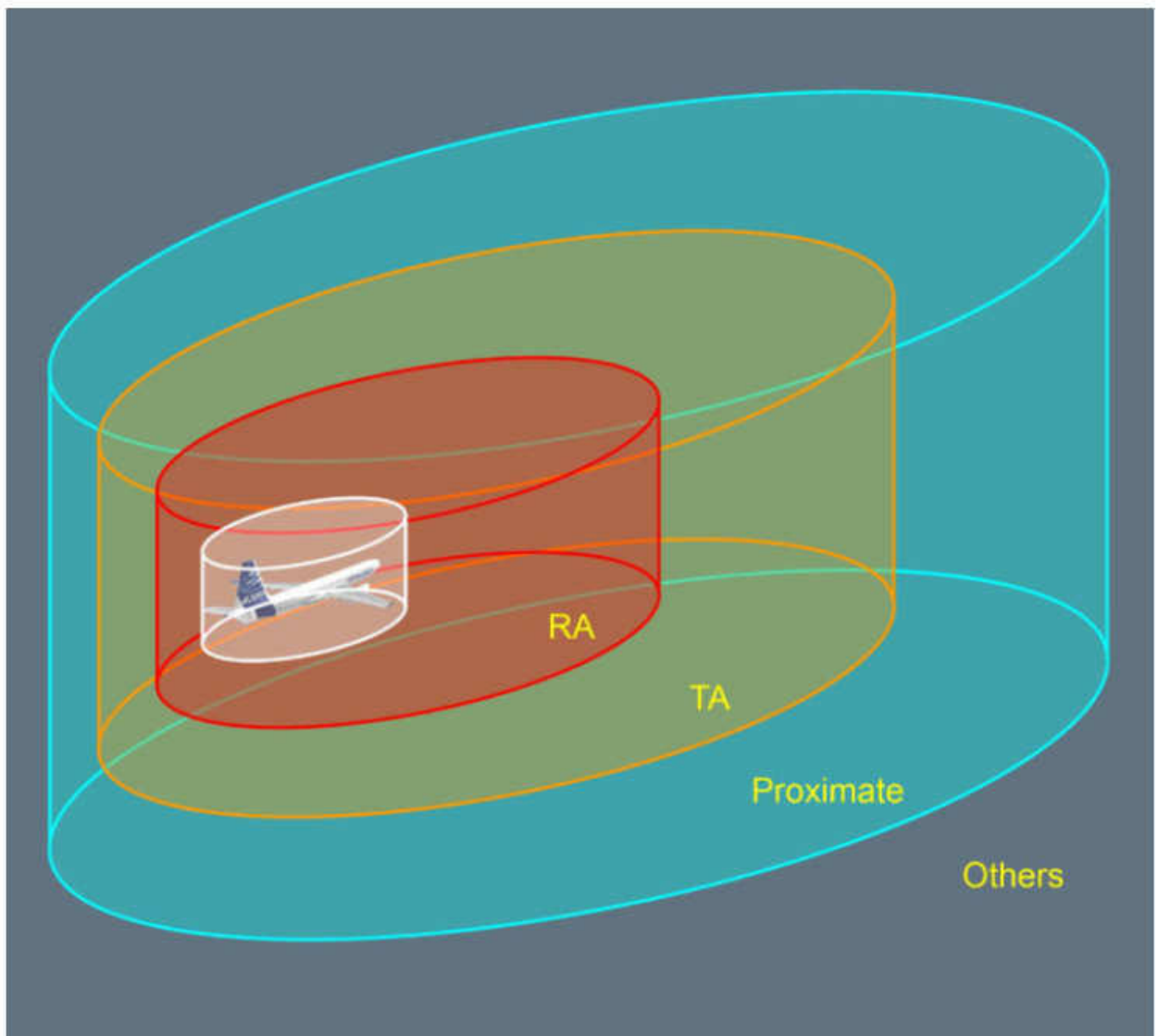


Рис.1.5 Категорії конфліктів у бортових системах запобігання зіткненням

На рисунку 1.1 показана індикація різних категорій конфліктів у бортових системах попередження зіткнень. Опишемо кожну категорію докладніше.

1. Конфліктне повітряне судно категорії Other Intruders (дивись рисунок 1.5, та цифра 1 на рисунку 1.1).

Інформація, що видається бортовою системою попередження зіткнень:

- на навігаційному дисплеї позиція щодо власного повітряного судна.

Умови появи індикації:

- загроза зіткнення між повітряними суднами відсутня;
- поздовжній інтервал менше 30 морських миль;

Інформація, що зчитується з прикладу:

Конфліктне повітряне судно знаходиться в напрямку на 6 годин, нижче за власне повітряне судно на 1500 футів, знаходиться в наборі висоти, дистанція трохи більше 5 морських миль.

2. Конфліктне повітряне судно категорії Proximate Intruders (дивись рисунок 1.5, та цифра 2 на рисунку 1.1).

Інформація, що видається бортовою системою попередження зіткнень:

- на навігаційному дисплеї позиція щодо власного повітряного судна.

Умови появи індикації:

- загроза зіткнення між повітряними суднами відсутня;
- конфліктне повітряне судно знаходиться на відстані поздовжнього інтервалу менше 6 морських миль та вертикального інтервалу менше 1200 футів;

Інформація, що зчитується з прикладу:

Конфліктне повітряне судно знаходиться в напрямку на 4 години, вище за власне повітряне судно на 1200 футів, знаходиться в зниженні, дистанція 4,5 морських миль.

3. Конфліктне повітряне судно категорії Traffic Advisories (дивись рисунок 1.5, та цифра 3 на рисунку 1.1).

Інформація, що видається бортовою системою попередження зіткнень:

- на навігаційному дисплеї позиція щодо власного повітряного судна.
- звукове сповіщення для екіпажу повітряного судна;

Умови появи індикації:

- виявлено потенційну загрозу зіткнення між повітряними суднами;
- розрахунковий час до точки найбільшого зближення близько 40 секунд;

Інформація, що зчитується з прикладу: Конфліктне повітряне судно знаходиться в напрямку на 10-11 годин, нижче за нас на 500 футів, знаходиться в наборі висоти, дистанція між повітряними суднами близько 7 морських миль.

4. Конфліктне повітряне судно категорії Resolution Advisories (дивись рисунок 1.5, та цифра 4 на рисунку 1.1).

Інформація, що видається бортовою системою попередження зіткнень:

- на навігаційному дисплеї позиція щодо власного повітряного судна.
- звукове сповіщення для екіпажу повітряного судна;
- на головному пілотажному дисплеї видаються команди на витримування певних значень вертикальних швидкостей;

Умови появи індикації:

- виявлено реальну загрозу зіткнення повітряних суден;
- розрахунковий час до точки найбільшого зближення близько 25 секунд;

Інформація, що зчитується з прикладу:

Конфліктне повітряне судно знаходиться прямо за курсом руху нашого повітряного судна, вище за нас на 300 футів, знаходиться в зниженні, дистанція між повітряними суднами 4,5 морських милі.

Коли система аналізу та визначення небезпеки в обчислювальному комплексі бортової системи попередження зіткнень виявляє, що сусіднє повітряне судно може стати причиною можливого зіткнення, комплекс дозволу зіткнень у бортовій системі попередження зіткнень визначає відповідний маневр ухилення або обмеження маневру у вертикальній площині для зменшення ризику зіткнення повітряних суден. Обробка даних про кожне потенційно небезпечне повітряне судно проводиться індивідуально, щоб мати можливість визначити найкращий варіант дій для уникнення зіткнення на основі його траєкторії. Маневр ухилення від зіткнення, що відповідає поточній ситуації, передбачає можливість розминутися з усіма потенційно небезпечними повітряними суднами, припускаючи, що вони не протидіятимуть рекомендаціям щодо вирішення загрози зіткнення і що власне повітряне судно дотримуватиметься цих рекомендацій. Якщо повітряне судно, що конфліктує, обладнане бортовою системою попередження зіткнень, яка може надавати рекомендації щодо усунення загрози, відбувається координація з використанням лінії зв'язку "повітряне судно - повітряне судно" в режимі S автоматичного залежного спостереження. Це гарантує, що рекомендації щодо усунення загрози від різних бортових систем попередження зіткнень не суперечать одна одній. Повідомлення про повітряний рух призначені для завчасного попередження екіпажу про потенційні загрози від інших повітряних суден, на відміну від рекомендацій щодо усунення загрози.

Розглянемо основні складові елементи типової бортової системи попередження зіткнень. Повітряне судно з бортовою системою попередження зіткнень повинне входити до складу системи електронного обладнання спостереження, яке дозволяє надсилати запити приймачем відповідачам режиму S та режиму A/C автоматичного залежного

спостереження, встановленим на інших повітряних суднах, та отримує від них відповіді. Основні складові елементи бортової системи попередження зіткнень показано на рис. 1.6.

Повітряне судно з системою попередження зіткнень в обов'язковому порядку оснащене приймачем-відповідачем режиму S системи автоматичного залежного спостереження, який працює так само, як існуючі приймач-відповідачі режимів A/C і забезпечує зв'язок по лінії «повітряне судно - повітряне судно» в режимі S автоматичного залежного спостереження для координації під час вирішення конфліктних ситуацій коїться з іншими повітряними суднами, мають такі самі системи.

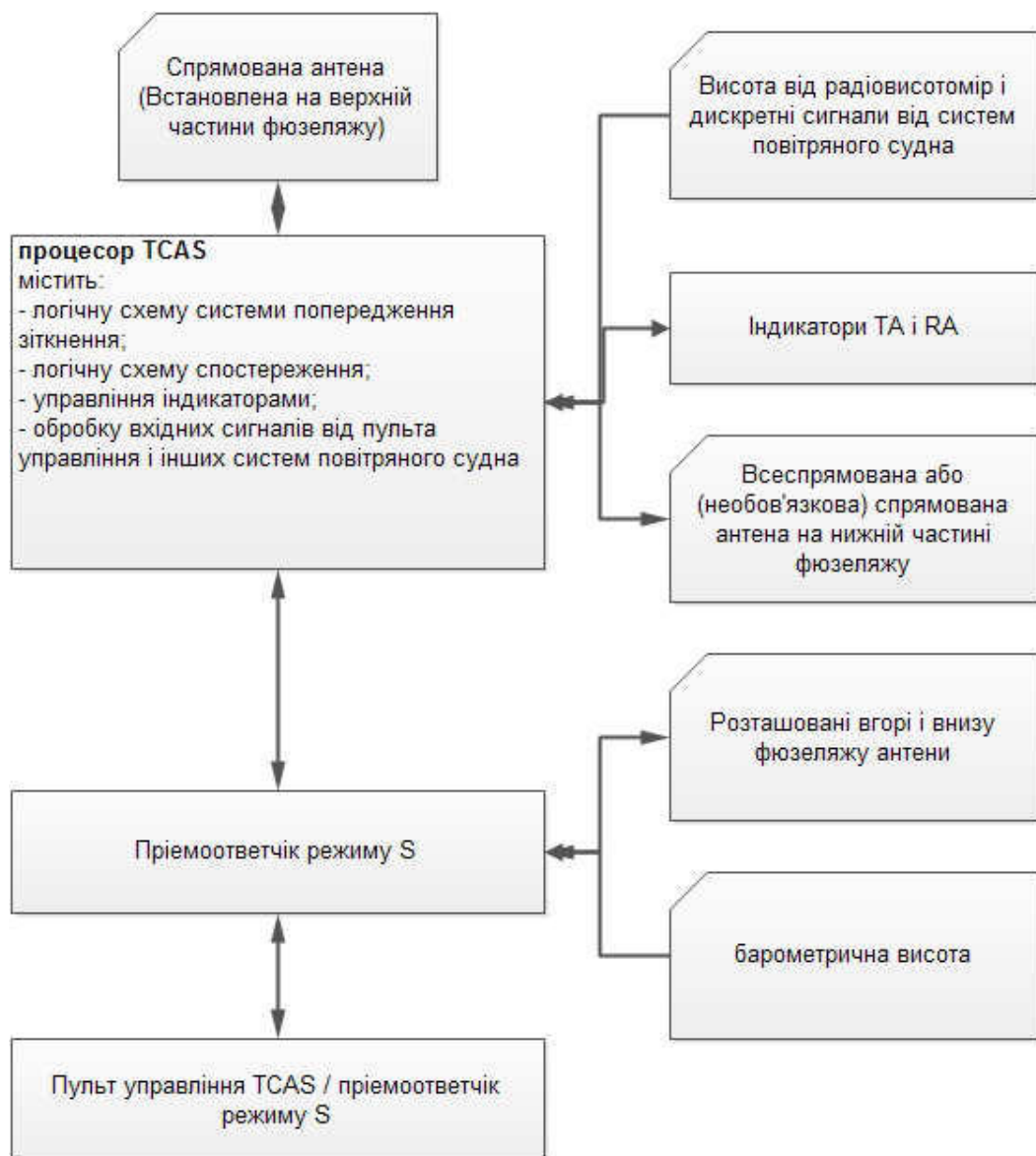


Рис 1.6 Склад бортової системи попередження зіткнень

Приймач режиму S автоматичного залежного спостереження може також використовуватися для зв'язку з наземною станцією в режимі S для спостереження та передачі даних.

Розібравшись із принципами роботи бортових систем попередження зіткнень, ми вважаємо за необхідне зупинитися на історії розвитку цих систем. Бортова система попередження зіткнень TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System) - це система повітряного судна, яка допомагає знизити ризик небезпечних зближень і зіткнень між повітряними суднами при виконанні польотів. Вона постійно відстежує навколишній повітряний простір у певному обсязі (обмеженому по радіусу та висоті щодо повітряного судна) та виявляє інші повітряні судна, оснащені відповідачами з функцією автоматичного залежного спостереження («C» або «S»). Якщо між власним повітряним судном та виявленими в обсязі відстеження повітряними суднами виникає загроза зіткнення, то система інформує про це пілотів повітряного судна за допомогою індикації на бортовому обладнанні повітряного судна.

Згідно з правилами, які застосовує Міжнародна організація цивільної авіації, бортові системи попередження зіткнень обов'язково мають бути встановлені на всіх повітряних суднах з масою понад 5700 кілограмів або мають сертифікат на перевезення понад 19 пасажирів.

Перше покоління бортових систем попередження зіткнень TCAS здатне аналізувати повітряну ситуацію в радіусі близько 40 морських миль (74 кілометри) навколо повітряного судна. Система TCAS I здатна надавати інформацію про напрямки польоту та висоту інших повітряних суден. Можливості системи у видачі попереджень обмежені повідомленнями про повітряний рух "Traffic Advisory".

Актуальне покоління бортових систем запобігання зіткненню рівня TCAS II використовується на більшості комерційних повітряних суден. Ці системи надають інформацію про повітряний рух за аналогією з попередніми бортовими системами попередження зіткнень рівня TCAS I, а також

інструкції пілотам повітряних суден про дії, необхідні для уникнення зіткнень з іншими повітряними суднами в польоті. Система рівня TCAS II є інтегрованою бортовою системою, призначеною для підвищення безпеки польотів і відіграє роль «останнього рубежу» в технічних засобах запобігання зіткненням у повітрі або небезпечним зближенням у повітрі, надаючи рекомендації щодо маневрів у вертикальній площині при виявленні ризику зіткнення з іншим повітряним судном. Система рівня TCAS II працює автономно, незалежно від бортового навігаційного обладнання та наземних систем, контролюючи інші повітряні судна у заданому обсязі повітряного простору через запит їхніх відповідей автоматичного залежного спостереження та оцінюючи ризик зіткнення у повітрі.

У випадках виявлення загрози зіткнення повітряних суден у повітрі, і коли повітряне судно-порушник має у складі бортового обладнання активну бортову систему запобігання зіткненням рівня TCAS II, обидві системи TCAS II узгоджують між собою рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення, таким чином, інструкції від бортових систем пілотам обох повітряних суден будуть скоординовані – наприклад, одному повітряному судну виконуватиме зниження, а іншому повітряному судну збільшити висоту тощо. Такі вказівки в документах міжнародної організації цивільної авіації мають назву "Resolution Advisory" (RA) і подаються у вигляді голосових повідомлень "descend, descend", "climb, climb", "Adjust Vertical Speed Adjust" тощо. Так само бортові системи попередження зіткнень у ряді випадків здатні видавати повідомлення «preventive Resolution Advisory», в яких не буде чітких вказівок до дії для пілотів повітряних суден, а лише попередження стежити за вертикальною швидкістю: відстежуйте вертикальну швидкість «monitor vertical speed» і підтримуйте вертикальну швидкість «maintain vertical speed».

Слід підкреслити, що система рівня TCAS II версії 6.04 створювалася для використання з інтервалами вертикального ешелонування повітряних суден у 2000 футів при польоті вище за ешелон польоту FL300 і не

адаптована для використання в повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування Reduced vertical separation minimum (RVSM). Згідно з дослідженням, проведеним у просторі застосування організованих Північноатлантичних авіаційних маршрутів (North Atlantic Tracks — NAT) перед впровадженням системи скорочених мінімумів вертикального ешелонування в повітряному просторі NAT, вдалося з'ясувати, польоти повітряних суден, обладнаних бортовими системами попередження зіткнень модифікації TCAS II версії 6.04 цілого ряду потенційних проблем в умовах впровадження RVSM:

- для повітряних суден, які виконують крейсерський горизонтальний політ з інтервалом ешелонування 1000 футів, можуть видаватися небажані попередження про повітряний рух тривалістю до декількох хвилин;
- так само при використанні інтервалу вертикального ешелонування 1000 футів між повітряними суднами бортові системи попередження зіткнень можуть видавати небажані (хибні) повідомлення про рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення.

Станом на 2006 рік вимогам до бортових систем попередження зіткнень Міжнародної організації цивільної авіації (The International Civil Aviation Organization prescribes that an Airborne Collision Avoidance System - ACAS II) та викладеним у посібнику ACAS Guide Європейської організації з безпеки повітряної навігації (Eurocontrol) задовольняла лише система рівня TCAS II версії 7.0 (виготовляється компаніями Rockwell Collins, ACSS та Honey). Далі ми розглянемо систему рівня TCAS II версії 7.0. докладніше.

Застосування системи скорочених мінімумів вертикального ешелонування передбачає використання вертикального ешелонування через кожні 300 метрів (1000 футів) для повітряних суден, які допущені до використання скорочених мінімумів вертикального ешелонування, у вертикальному шарі від ешелону польоту FL290 до ешелону польоту FL410.

У цьому діапазоні висот польоту бортова система попередження зіткнень рівня TCAS II версії 6.04A використовує максимальну висоту 360 метрів (1200 футів) для попередження про повітряний рух, а версія 7.0 TCAS II налаштована на максимальну висоту 210 метрів (700 футів).

Наслідком таких відмінностей є те, що в умовах застосування скорочених мінімумів вертикального ешелонування повітряні судна, які обладнані бортовою системою попередження зіткнень рівня ткас2 версії 6.04A може отримувати в кілька десятків разів (за деякими даними у 30-50 разів) більшу кількість попереджень про повітряну обстановку, порівняно з повітряними суднами обладнаними системою версією 7.0. Крім того, повітряні судна, які обладнані бортовою системою попередження зіткнень рівня TCAS II, версія 7.0 в умовах застосування скорочених мінімумів вертикального ешелонування отримує вдвічі менше рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення порівняно з версією 6.04A TCAS II, і це компенсує зростання числа рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення при скороченні вертикального ешелонування з 600 метрів (2000 футів) до 300 метрів (1000 футів).

Далі ми розглянемо найдосконалішу на сьогодні версію бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II версії 7.1. Нова модифікація усуває низку серйозних дещо менш значущих проблем у бортових системах попередження зіткнень попередніх версій і повністю сумісна з версією 7.0. Найбільш важливою зміною у роботі нової версії бортових систем попередження зіткнень є те, що покращена логіка реверсування (зміни напрямку маневру повітряного судна в процесі виконання команд рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення). Основним принципом цієї зміни є своєчасне визначення бортовою системою попередження зіткнень ситуації при якій обидва повітряні судна одночасно виконують маневри зниження або набору висоти.

Щоб бортова система попередження зіткнень могла своєчасно реагувати на зміни у напрямку маневрів повітряного судна, було впроваджено два нові елементи:

- Функція контролю коректного виконання команди вирішення загрози зіткнення. Якщо через певний час бортова система попередження зіткнень виявить, що команда рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення виконується неправильно, він ігнорує правило вікна 100 футів і дозволяє змінити напрямок маневру повітряного судна на відстань до 100 футів по вертикалі.
- Функція прогнозування поділу повітряних суден по висоті в найближчій точці зближення, заснована на поточних вертикальних швидкостях повітряних суден, для визначення необхідності видачі команд на зміну напрямку маневру.

Коли прогноз бортової системи попередження зіткнень вказує на те, що повітряне судно може виявитися ближчим від заданого граничнодопустимого значення, видається команда на зміну напрямку маневру для іншого повітряного судна, що знаходиться вище або нижче, на відстань менше 100 футів. Ця команда не повинна видаватися надто близько (і пізно) до розрахункової точки мінімального зближення, щоб у повітряних суден, що беруть участь у конфліктній ситуації, залишалось достатньо часу для виконання зміни напрямку маневру. Ці зміни були ретельно протестовані в повітряному просторі Європейської організації з безпеки повітряної навігації, і результати показали значне покращення роботи нової версії бортової системи запобігання зіткненням з цими оновленнями порівняно з попередніми версіями.

1.2 Принципи роботи системи TCAS II

Бортова система попередження зіткнень рівня TCAS є системою, яка призначена для підвищення рівня безпеки польотів та підтримки його на

допустимому рівні і функціонує як додатковий засіб запобігання зіткнень у повітрі або небезпечних зближень повітряних суден за рахунок надання пілотам повітряних суден рекомендацій щодо виконання маневру у разі виявлення потенційної загрози зіткнення. Як було зазначено вище в цьому розділі, TCAS II не вимагає наявності бортового навігаційного або наземного обладнання.

У конфліктних ситуаціях, коли обидва повітряні судна оснащені обладнанням рівня TCAS II, обидві установки TCAS II узгоджують свої рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення, тобто вказівки пілотам обох повітряних суден будуть скоординовані. Така особливість наголошує на важливості максимально точного дотримання пілотами повітряних суден рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення, отриманих ними. Більше того, неправильне виконання маневру в протилежному напрямку може призвести до небезпеки зіткнення, як показано на рисунку 1.7.

У ситуаціях, коли через будь-які причини пілот повітряного судна не має можливості виконати рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення, отриманої від бортової системи запобігання зіткнень, він зобов'язаний витримувати режим горизонтального польоту повітряного судна.

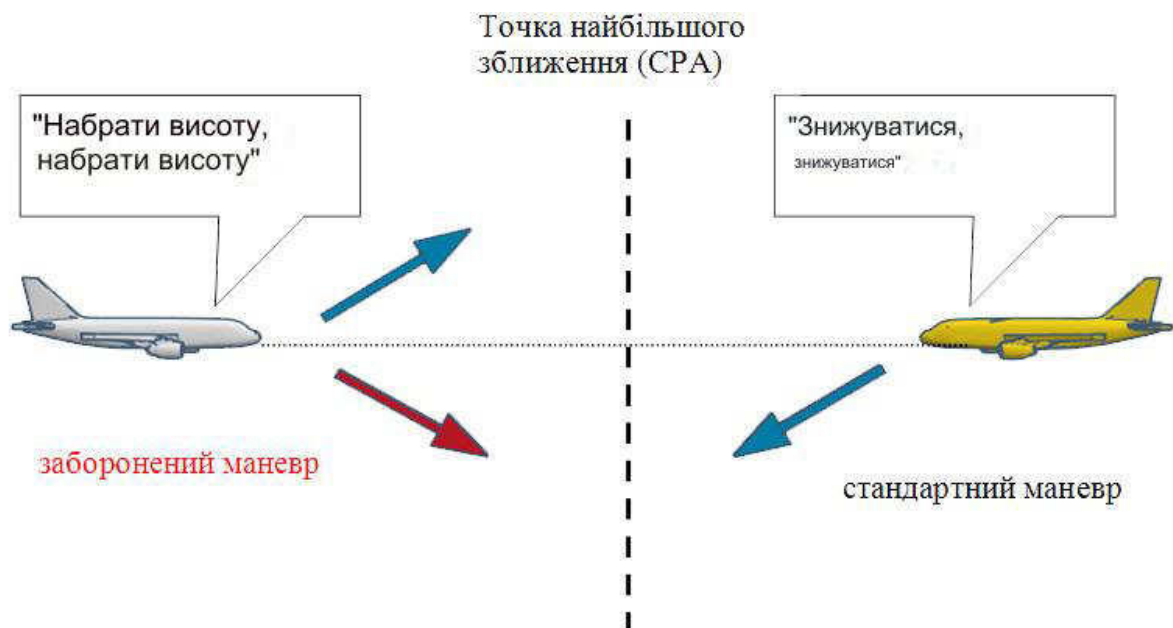


Рис.1.7 Узгоджені рекомендації RA при зближенні повітряних суден TCAS-TCAS

Бортові системи попередження зіткнень рівня TCAS II у своїй роботі застосовують логіку, що ґрунтується на застосуванні наступних концепцій:

- час видачі попередження екіпажу повітряного судна, що ґрунтується на часі польоту повітряного судна до точки найбільшого зближення (рисунок 1.4), що дозволяє враховувати фактор швидкості повітряного судна;
- рівень чутливості системи, що є похідною від поточної висоти польоту повітряного судна, який визначає рівень захисту за допомогою призначення вищих допустимих величин для більш високих діапазонів висот.

Надання рекомендації та консультативної інформації екіпажам повітряних суден. Бортова система попередження зіткнень рівня TCAS II видає необхідні рекомендації, якщо в результаті перевірки дальності та перевірки висоти отримано позитивний результат. Такі перевірки виконуються з інтервалом в 1 секунду для кожного повітряного судна, яке знаходиться в зоні дії системи та передає інформацію про абсолютну висоту польоту.

Перевірка дальності заснована на розрахунку часу польоту повітряних суден до точки найбільшого зближення (рисунок 1.4), що визначається шляхом розподілу відстані між повітряними суднами на сумарну швидкість їхнього зближення. У тому випадку, якщо цей час менший за граничні значення, а саме 48 секунд для видачі повідомлення про повітряний рух (ТА) та 35 секунд для видачі рекомендації щодо вирішення конфліктної ситуації (RA), то результат вважається позитивним.

У тих випадках, коли швидкість зближення повітряних суден є незначною, застосовується критерій захисної дистанції для запобігання небезпечному зближенню без надання консультативної інформації або рекомендацій. Якщо відстань між повітряними суднами менша від захисної дистанції, яка становить 1,3 морських милі для повідомлення про повітряний

рух та 1,1 морських милі для рекомендації щодо вирішення конфліктної ситуації, результат перевірки дальності вважається позитивним.

Перевірка висоти здійснюється шляхом розрахунку часу, необхідного повітряному судну для досягнення однієї висоти з іншим повітряним судном, при поділі різниці висот між ними на вертикальну відносну швидкість. Позитивний результат перевірки висоти досягається, якщо цей час менший за встановлене граничне значення (48 секунд для повідомлення про повітряний рух і 35 секунд для рекомендації щодо вирішення конфліктної ситуації). Якщо ж повітряне судно знаходиться в горизонтальному польоті, максимальний час для рекомендації щодо вирішення конфліктної ситуації скорочується до значення в 25 секунд, щоб визначити можливість маневру виходу повітряного судна – порушника на горизонтальний політ та уникнути видачі повідомлення про рекомендацію щодо вирішення конфліктної ситуації.

У тих ситуаціях, коли обидва повітряні судна знаходяться в горизонтальному польоті або мають низьку відносну вертикальну швидкість (тобто сумарну швидкість зближення у вертикальній площині), результати перевірки висоти вважаються позитивними, якщо різниця у висоті між повітряними суднами менша за допустиму межу, що становить 850 футів для інформації про повітряний рух та 700 футів для рекомендацій щодо вирішення конфліктної ситуації.

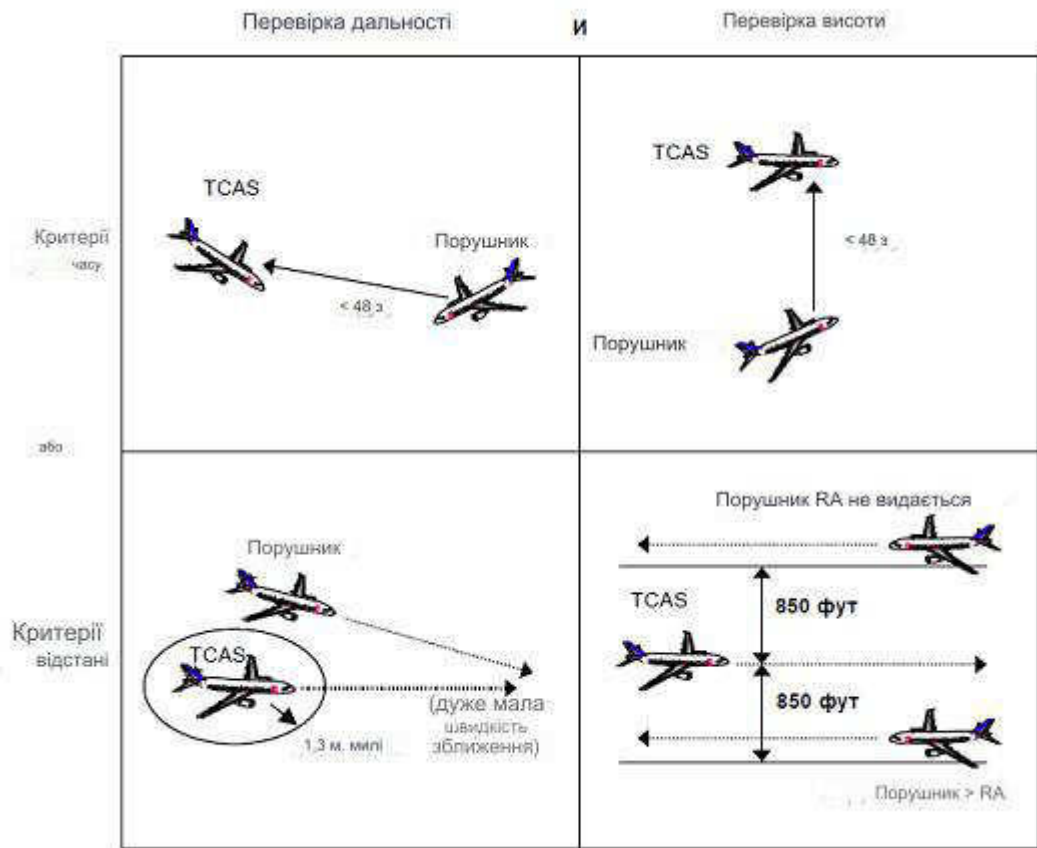


Рис.1.8 Видача повідомлення про повітряний рух системою TCAS II модифікації 7.0 в повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування

При експлуатації бортових систем попередження зіткнень важливо врахувати, що система рівня TCAS II використовує інформацію про абсолютну висоту повітряного судна-порушника, одержувану шляхом надсилання запиту до відповідача системи автоматичного залежного спостереження. Тому абсолютна висота кодується з інтервалами в 100 або 25 футів, тобто фактичне значення округляється до найближчого із зазначеним кроком. Така особливість призводить до того, що абсолютна реальна висота повітряного судна-порушника, з якою оперує система рівня TCAS II, може дещо відрізнитися від фактичної. Для власного повітряного судна система рівня TCAS II отримує дані про абсолютну висоту польоту з кроком 1 фут.

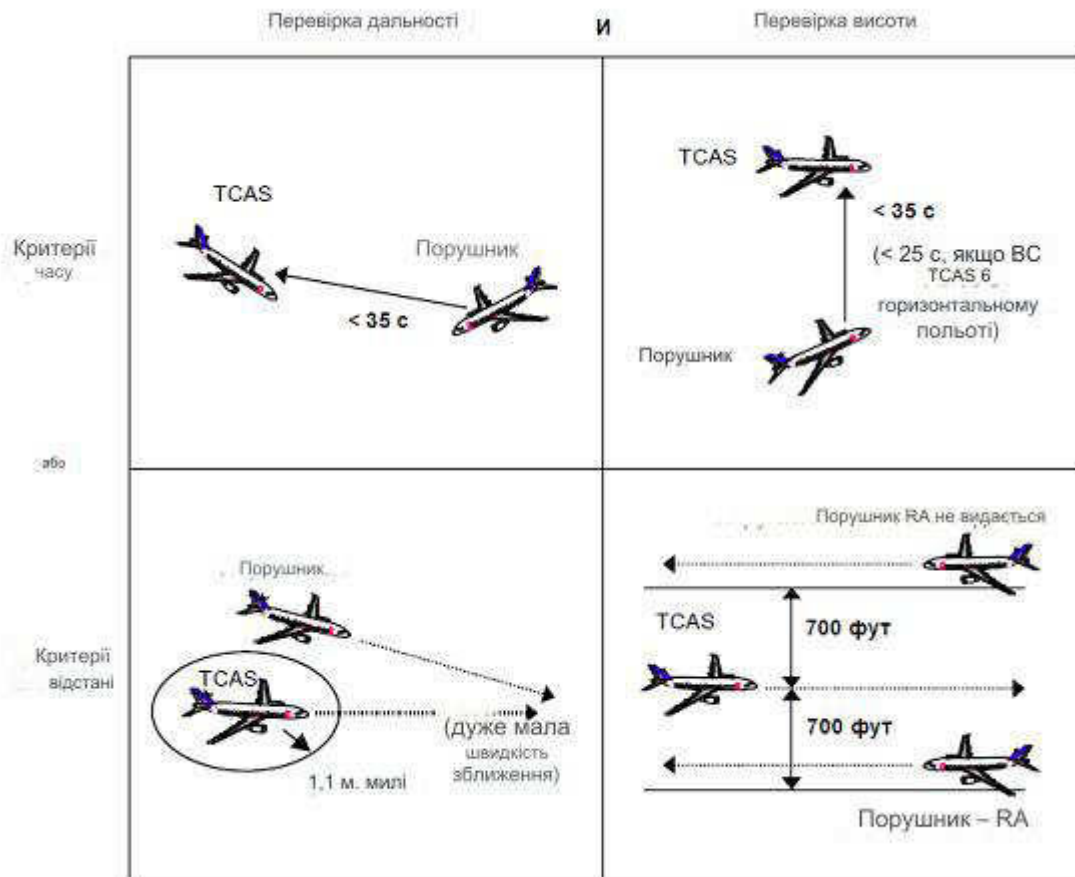


Рис.1.9 Видача рекомендацій щодо вирішення конфліктної ситуації системою TCAS II модифікації 7.0 в повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування

Приклади перевірки дальності та висоти із зазначенням відповідних граничних значень для діапазону висот, що включає повітряний простір скорочених мінімумів вертикального ешелонування, показані на рисунках 1.8 та 1.9.

При видачі повідомлення про рекомендації щодо вирішення конфліктної ситуації, бортова система попередження зіткнень визначає найбільш підходящий маневр повітряного судна у вертикальній площині для підтримки заданої вертикальної дистанції 600 футів.

В алгоритмах роботи програми бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II закладено жорсткі обмеження, метою яких є мінімізувати, а в ідеальному випадку взагалі виключити з рекомендацій щодо

запобігання конфліктним ситуаціям вказівки, пов'язані з перетином у вертикальній площині траєкторій польоту інших повітряних суден. Тому цей тип рекомендацій видається дуже рідко.

Під час зближення повітряних суден рівень категоричності рекомендації безперервно оцінюється, і за необхідності він коригується посиленням чи зміною напрямку маневру чи пом'якшенням рекомендації, якщо загроза зменшується. Послаблення категоричності рекомендації щодо розв'язання конфліктної ситуації повинно призводити до зменшення відхилень траєкторії повітряного судна у вертикальній площині. Джерела загрози або обираючи комбіновану рекомендацію щодо вирішення конфліктної ситуації, яка встановлює суперечливі обмеження на набір висоти та зниження.

1.3 Консультативна інформація та рекомендації бортових систем попередження зіткнень в повітряному просторі RVSM

Під керівництвом Європейської організації з безпеки повітряної навігації було організовано проект «Аналіз бортової системи попередження зіткнень» (ACASA), завдання проведення якого полягало у дослідженнях в галузях, що належать до особливостей експлуатації бортових систем попередження зіткнень у європейському повітряному просторі, одним із основних напрямків діяльності було вивчення питання щодо взаємодії систем рівня TCAS II при використанні скорочених мінімумів вертикального ешелонування у континентальній частині Європи.

Мета дослідження взаємодії бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II та системи скорочених мінімумів вертикального ешелонування полягала у порівняльному аналізі роботи системи TCAS II у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування та в умовах традиційної системи вертикального ешелонування (CVSM). Основна увага приділялася не лише технічним аспектам, а й виявленню потенційних

експлуатаційних проблем (про які ми говорили вище у нашій роботі) та розробці відповідних рекомендацій для усунення таких проблем. Для вирішення ширшого кола завдань дослідження спиралося на різні джерела даних, включаючи модифіковані дані радіолокаційного контролю, моделювання динамічної повітряної обстановки в реальному та прискореному масштабі часу, а також автоматичні та неавтоматичні штучні ситуації зближення повітряних суден.

Основні результати дослідження включають інформацію про кількість випадків надання повідомлень про консультативні дані та рекомендації, які можуть виникнути при використанні систем рівня TCAS II версії 7.0 у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування. Для оцінки впливу на пілотів повітряних суден та диспетчерів управління повітряним рухом проводилося порівняння із ситуацією при використанні традиційних мінімумів вертикального ешелонування в діапазоні висот від ешелону польоту FL250 до ешелону FL290.

Згідно з результатами дослідження, за умови оснащення всіх повітряних суден, що виконуватиме польоти в європейському повітряному просторі, обладнанням системою TCAS II версії 7.0, це призведе до чотириразового збільшення кількості повідомлень про повітряний рух (ТА) в умовах повітряного простору скорочених мінімумів вертикального ешелонування порівняно з польотами у повітряному просторі традиційних мінімумів вертикального ешелонування. Цікаво відзначити, що таке збільшення обумовлено головним чином меншою кількістю повідомлень про повітряний рух, що видаються в умовах традиційних мінімумів вертикального ешелонування. Однак очікується, що кількість повідомлень про повітряний рух, що надаються системою рівня TCAS II версії 7.0 в умовах скорочених мінімумів вертикального ешелонування, буде меншою, ніж для діапазону висот між ешелоном польоту FL250 та ешелоном FL290. Однак збільшення кількості повідомлень про повітряний рух, що видаються при польоті вище ешелону польоту FL290, може стати експлуатаційною

проблемою, якщо пілоти повітряних суден не будуть належним чином поінформовані про цю ситуацію.

Необхідно враховувати, що зазначена проблема набагато актуальніша для повітряних суден, які все ще використовують модифікацію TCAS II 6.04a, оскільки дослідження показує, що кількість повідомлень про повітряний рух (ТА) у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування зростає приблизно в 25 разів порівняно з повітряним простором традиційних мінімумів вертикального ешелонування. У такій ситуації надмірна інтенсивність видачі повідомлень про повітряний рух може утруднити роботу пілотів повітряних суден та вплинути на роботу органів управління повітряним рухом, якщо екіпажі повітряних суден будуть запитувати інформацію про рух у повітрі або виконувати маневри після отримання повідомлень.

Очікується, що відсоток повідомлень про повітряний рух, що повторюються, збільшиться в порівнянні з повітряним простором традиційних мінімумів вертикального ешелонування, але він повинен бути близьким до того, який вже спостерігається на висотах нижче ешелону польоту FL290 (приблизно одне повідомлення з десяти). Однак повідомлення ТА, що повторюються, можуть викликати проблеми в експлуатації, якщо пілоти повітряних суден вважають повторювані звукові сигнали «повітряний рух, повітряний рух» відволікаючим фактором, що може спровокувати ігнорування пілотами подібних повідомлень. Впровадження модифікації бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II версії 7.0 значно знижує кількість повідомлень про повітряний рух, особливо за рахунок придушення сигналів між повітряними суднами, розділеними вертикальними інтервалами в 1000 футів. Європі дуже відрізняється. Тому тривалі повідомлення для екіпажів повітряних суден (що характеризуються повільним зближенням) будуть рідкістю в європейському повітряному просторі.

РОЗДІЛ 2

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИРІШЕННЯ ЗАГРОЗИ ЗІТКНЕННЯ

Оснащення всіх повітряних суден бортовими системами попередження зіткнень рівня TCAS II версії 7.0 може призвести до чотириразового збільшення кількості видаваних рекомендацій щодо запобігання загрозі зіткнень в умовах повітряного простору зі скороченими мінімумами вертикального ешелонування в порівнянні з польотами в повітряному просторі. Це пов'язано з тим, що в умовах традиційних норм вертикального ешелонування пілотам повітряних суден видається значно менше таких рекомендацій.

Екіпажі повітряних суден, обладнані модифікацією TCAS II 6.04a, отримують приблизно вдвічі більше рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення порівняно з повітряними суднами з модифікацією 7.0 TCAS II. Ґрунтуючись на поточному досвіді виконання польотів нижче рівня ешелону польоту FL290, можна припустити, що навіть така кількість рекомендацій вважатиметься прийнятною з експлуатаційної точки зору як для пілотів повітряних суден, так і для диспетчерів управління повітряним рухом.

Очікується, що значна частина рекомендацій запобігання загрозі зіткнень можуть розглядатися як помилкові та небажані. Однак, навіть у цьому випадку, прогнозоване число буде менше, ніж кількість рекомендацій запобігання загрозі зіткнень, що видаються в даний час в діапазоні висот від ешелону польоту FL250 до ешелону польоту FL290, який не має серйозного негативного впливу на роботу органів управління повітряним рухом.

Вдалося з'ясувати, що значна частина цих небажаних рекомендацій щодо запобігання зіткнень пов'язана з маневром виходу повітряного судна в горизонтальний політ на висоті 1000 футів від іншого повітряного судна та можливих коливань траєкторії повітряного судна у вертикальній площині при цьому, що є вже відомою висотам нижче за ешелон польоту FL290.

Тривалість і відсоткове співвідношення примусових рекомендацій щодо запобігання зіткнень (наприклад, «набрати висоту» або «знижуватися»), а також відхилення траєкторій від рекомендацій TCAS II модифікації 7.0 в повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування схожі з характеристиками рекомендацій. у діапазоні висот від ешелону польоту FL250 до ешелону польоту FL290. Результати проведеного дослідження також показують, що модифікація 7.0 TCAS II цілком може видавати певної кількості рекомендацій, що повторюються.

Загальне співвідношення між кількістю повідомлень про повітряний рух та рекомендаціями щодо вирішення загрози зіткненням, які генерує модифікація 7.0 TCAS II, при впровадженні скорочених мінімумів вертикального ешелонування суттєво не змінюється. Кількість повідомлень про повітряний рух, які згодом не переходять у видачу рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення, залишається значною. Цей результат вказує на те, що у разі отримання повідомлення про повітряний рух від бортової системи запобігання зіткненням пілотам повітряних суден не обов'язково робити активні дії (наприклад, запитувати інформацію про повітряний рух або дозвіл на виконання маневру).

2.1 Аналіз типових випадків зближення повітряних суден

Як показує практика, найчастішим випадком порушення інтервалів ешелонування між повітряними суднами є горизонтальний політ двох повітряних суден з інтервалом вертикального ешелонування в тисячу футів. Система TCAS II модифікації 7.0 сумісна з такими конфігураціями, тоді як модифікація 6.04a TCAS II видає повідомлення про повітряну обстановку (ТА). Разом з цим було виявлено цілу низку потенційно-критичних конфігурацій, обумовлених поєднанням застосування систем TCAS II у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування.

Передбачається, що видача повідомлень про повітряний рух (ТА) або рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення (РА) відбуватиметься головним чином при дотриманні двох умов:

- похибками у витримуванні значень абсолютної висоти польоту повітряного судна, включаючи помилки, пов'язані зі зміщенням повітряного судна у вертикальній площині, коливання траєкторії та наслідки турбулентності;
- ненавмисним зближенням повітряних суден при виході в горизонтальний політ із маневру набору висоти або зниження на висоті 1000 футів від іншого повітряного судна.

Необхідно пам'ятати, що є специфічний випадок можливого конфлікту повітряних суден, коли вони зближуються з низькою швидкістю. Така конфліктна ситуація може не викликати автоматичного спрацювання бортової системи попередження зіткнень та видачі повідомлень ТА або РА, але в тих випадках, коли система виявляє таке порушення, тривалість повідомлень від бортової системи може становити кілька хвилин, що не є типовим для подібних повідомлень.

Далі ми розглянемо докладний опис кожної конфігурації. Однак слід врахувати, що в певних випадках (наприклад, коли одне повітряне судно виконує горизонтальний політ нижче іншого з коливаннями траєкторії) такі ситуації можуть виникати одночасно, збільшуючи ймовірність видачі бортовою системою попередження зіткнень повідомлень про повітряний рух або рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення.

Застосування стандартного інтервалу вертикального ешелонування в умовах скорочених інтервалів вертикального ешелонування (RVSM).

У такій ситуації беруть участь два повітряні судна, які виконують горизонтальний політ на суміжних (безпосередньо прилеглих один до одного) ешелонах польоту з встановленим інтервалом вертикального

ешелонування 1000 футів. Схема цього стандартного типу зближення повітряних суден за умов застосування модифікації 7.0 системи TCAS II показано на рисунку 2.1. У бортових системах запобігання зіткнень у ситуації повітряних суден, що перебувають у горизонтальному польоті, перевірка висоти здійснюється шляхом порівняння різниці висот між повітряними суднами з допустимим значенням висоти. Якщо відносна висота менша за допустиме значення, то результат перевірки висоти вважається позитивним і бортова система попередження зіткнень видає екіпажу повітряного судна повідомлення TA або RA. При застосуванні модифікації 7.0 TCAS II допустима величина відносної висоти становить 850 футів для видачі повідомлення про повітряний рух (TA) та 700 футів для видачі рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення (RA). Це означає, що при точному витримуванні екіпажами обох повітряних суден параметрів горизонтального польоту на суміжних ешелонах результат перевірки відносної висоти виявляється негативним, і тому ні бортова система запобігання зіткненням не видає повідомлень.

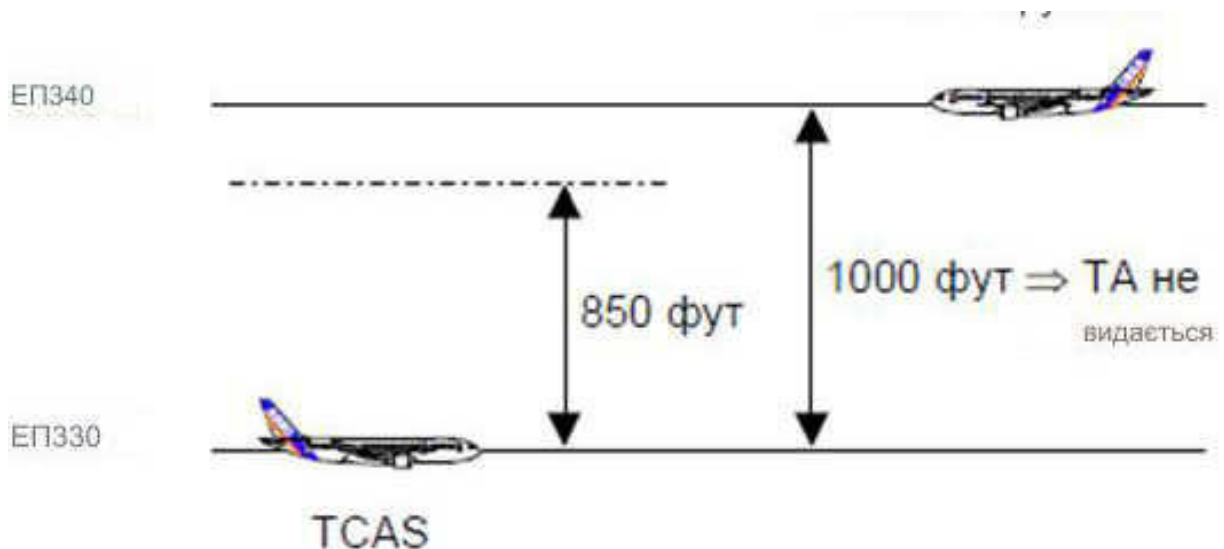


Рис.2.1 Стандартне вертикальне ешелонування в умовах застосування скорочених мінімумів вертикального ешелонування

У рамках застосування традиційних мінімумів вертикального ешелонування (CVSM) стандартна висота між ешелонами становить 2000

футів, що значно перевищує граничне значення для бортових систем попередження зіткнень та унеможливорює видачу сигналів ТА або RA.

За умови, що в повітряному просторі зони управління повітряним рухом усі повітряні судна будуть обладнані модифікацією 7.0 системи TCAS II, жодні повідомлення від бортових систем попередження зіткнень не видаватимуться. Тому на диспетчерах управління повітряним рухом та пілотах повітряних суден така ситуація ніяк не вплине.

Екіпажі повітряних суден, які обладнані модифікацією 6.04a TCAS II, повинні бути підготовлені до того, що в повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування їм доведеться стикатися з великою кількістю небажаних і по суті помилкових повідомлень про повітряний рух (ТА) з боку бортової системи. , викликаних іншими повітряними суднами, що виконують горизонтальний політ на суміжних ешелонах з інтервалом вертикального ешелонування 1000 футів. Екіпажі повітряних суден повинні бути готовими до того, що їм не слід запитувати додаткову інформацію у диспетчерів управління повітряним рухом, і вони не повинні виконувати маневри на підставі лише повідомлень ТА.

Політ повітряних суден у зонах зі скороченими мінімумами вертикального ешелонування є очікуваною ситуацією при управлінні повітряним рухом, хоча може призводити до великої кількості необґрунтованих повідомлень від бортових систем попередження зіткнень для екіпажів повітряних суден. Але існує ще ціла низка випадків, які можуть спровокувати видачу бортовою системою повідомлень. Розглянемо їх докладніше.

Очікувані основні критичні конфігурації.

1. Зсув у вертикальній площині.

У таких ситуаціях беруть участь повітряні судна, які виконують горизонтальний політ суміжних ешелонах польоту. У наведеному випадку зміщення траєкторія кожного повітряного судна дещо зміщена у

вертикальній площині у бік ешелону польоту іншого повітряного судна (рисунок 2.2). В результаті зміщення відносна висота між ними становить менше 1000 футів, і у випадках, коли сумарна величина зсуву перевищує допустимий показник, може статися видача бортовою системою попередження зіткнень повідомлення про повітряний рух.

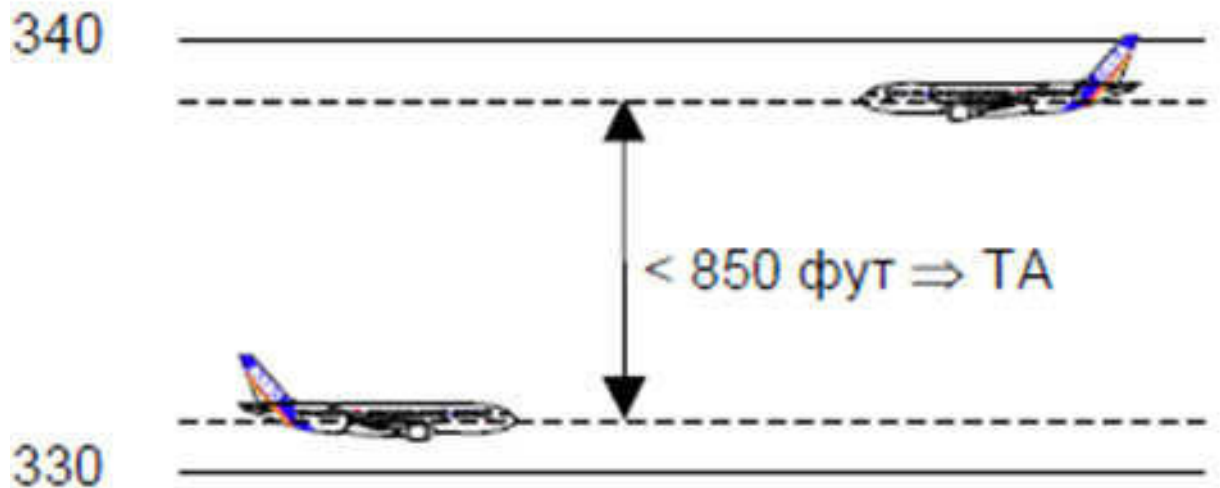


Рис.2.2 Зсув траєкторії повітряних суден у вертикальній площині

У ситуації, коли траєкторії повітряних суден, що беруть участь у конфліктній ситуації, зміщені у вертикальній площині назустріч один одному, то для видачі бортовою системою попередження зіткнень повідомлення про повітряний рух вертикальна дистанція між повітряними суднами повинна бути меншою за допустиме значення висоти для ТА, тобто 850 футів (рисунок 2.2). В результаті перевірка бортовою системою попередження зіткнень значення висоти дає позитивний результат і система видає повідомлення ТА. Таке можливе лише між повітряними суднами, які допущені до польотів у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування, тобто при максимальному вертикальному зміщенні 65 футів. Необхідно не забувати про особливості бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II, у яких значення абсолютної висоти конфліктуючого повітряного судна може незначно відрізнятися від фактичної через дискретизацію (тобто приведення реального значення до

найближчого мінімального. Найбільш доступним прикладом дискретизації можна вважати математичне округлення, при якому, наприклад 3,2 дорівнює 3) переданих даних про висоту, особливо у разі 100-футового інтервалу дискретизації цих даних, при яких значення висоти польоту повітряного судна наводиться до найближчого цілого значення в сотнях футів.

Наприклад, при вертикальному зміщенні двох повітряних суден на 51 фут можуть викликати спрацювання системи та видачу сповіщення про повітряний рух (ТА) при дискретному інтервалі передачі даних про висоту 100 футів. При горизонтальному польоті повітряного судна на висоті 33 949 футів значення абсолютної висоти, зафіксоване системою TCAS II іншого (конфліктуючого) повітряного судна, становитиме 33 900 футів (тобто буде зміщення на 100 футів).

У такому випадку, коли траєкторія повітряного судна, що конфліктує, також зміщена на 51 фут (тобто в нашому прикладі дане повітряне судно здійснюватиме політ на висоті 33 051 футів), відносна висота між повітряними суднами, розрахована системою TCAS II, складе 849 футів сумарний зсув становитиме 151 фут). Так як це значення менше за граничне значення висоти (850 футів), перевірка висоти бортовою системою попередження зіткнень дає позитивний результат і видає повідомлення про повітряний рух.

Мінімальна відносна висота, яку зафіксує система TCAS II, становить щонайменше 835 футів. А максимальна висота для активації повідомлення про рекомендацію щодо вирішення конфліктної ситуації в бортовій системі попередження зіткнень дорівнює 700 футам. В результаті навіть якщо буде зафіксовано зсув двох повітряних суден на 65 футів, що відповідає дозволеному значенню для скорочених мінімумів вертикального ешелонування, і дані про висоту передаються з дискретністю 100 футів, повідомлення про рекомендації пілотам все одно не буде видано.

А в тому випадку, якщо в аналізованій нами ситуації зі зміщенням відбуватиметься зміщення траєкторії лише одного з повітряних суден, що

беруть участь у конфліктній ситуації, не відбудеться видачі бортовою системою запобігання зіткненням повідомлень ТА або навіть RA, оскільки відносна висота, що реєструється системою TCAS II, становитиме не менше 900 футів навіть при інтервалі дискретизації переданих даних про висоту в 100 футів.

В результаті перевірки висоти буде отримано негативний результат (тобто система не бачитиме повідомлень). Навіть якщо відбудеться зсув обох конфліктуючих повітряних суден на 65 футів, що відповідає допустимому значенню для скорочених мінімумів вертикального ешелонування, і дані про висоту дискретизуються з кроком 25 футів, повідомлення про повітряний рух не буде видано. Погляньмо ще один приклад. Перше повітряне судно виконує горизонтальний політ на абсолютній висоті 33065 футів, а друге повітряне судно - на абсолютній висоті 33935 футів. При застосуванні 25-футового інтервалу дискретизації переданих даних про висоту польоту повітряних суден значення висоти, що сприймається системою TCAS II повітряного судна, що знаходиться на нижньому ешелоні, становить 33 925 фут. Тому мінімальна відносна висота, яку розрахує бортова система попередження зіткнень, дорівнюватиме 860 футів. І в результаті перевірки висоти дасть негативний результат.

Отже, можна дійти невтішного висновку, що з виконання горизонтального польоту повітряних суден на суміжних ешелонах польоту зі зміщенням у вертикальній площині, видача повідомлення про повітряний рух відбуватиметься рідко. Така ситуація реальна лише в тому випадку, коли повітряне судно-порушник передаватиме відомості про висоту з інтервалом дискретизації в 100 футів (невелика частина сучасного авіапарку провідних компаній) або коли траєкторії обох повітряних суден зміщені у вертикальній площині мінімум на величину 51 фут.

В рамках застосування традиційних мінімумів вертикального ешелонування ймовірність видачі повідомлень (ТА та RA) дорівнює нулю, тобто такі повідомлення не можуть бути видані системою. Це пов'язано з

тим, що різниця між інтервалом вертикального ешелонування в 2000 футів і граничною висотою (850 футів для ТА) занадто велика, щоб сумарне зміщення по вертикалі двох повітряних суден, навіть якщо вони відповідають максимальним дозволеним значенням могли вплинути на це.

Навіть у разі отримання від бортової системи попередження зіткнень повідомлення про повітряний рух пілотам повітряних суден немає необхідності уточнювати у диспетчера управління повітряним рухом ситуацію у повітряній ситуації та пілотам не слід виконувати маневри на підставі лише повідомлення ТА. Головне призначення повідомлень ТА полягає у інформуванні екіпажу повітряного судна про можливість появи більш серйозної рекомендації RA. Також пілотам повітряних суден не слід повідомляти авіадиспетчерів про ТА. У правилах ведення радіообміну в повітряному просторі стандартної фразеології для ситуації з повідомленням про ТА не існує і тому в технологіях роботи диспетчерів управління повітряним рухом не передбачено конкретних процедур для подібних випадків.

2. Коливання.

У таких конфліктних ситуаціях беруть участь повітряні судна, які здійснюють горизонтальний політ сусідніми ешелонами. При збереженні заданої висоти їхня траєкторія руху коливається у вертикальній площині і утворює хвилеподібну лінію. В результаті різниця у висоті між цими повітряними суднами може становити менше 1000 футів, і в деяких випадках бортові системи попередження зіткнень можуть видавати повідомлення про повітряний рух (ТА). На рисунку 2.3 ми наводимо приклад такого типу зближення, коли траєкторії обох повітряних суден коливаються щодо ешелонів польоту FL330 та FL340 відповідно.

Коливання траєкторій польоту повітряних суден у вертикальній площині можуть призвести до ситуації, коли різниця висот повітряних суден, що фіксується бортовими системами попередження зіткнень, може бути

меншою за гранично допустиме значення для видачі повідомлення ТА (850 футів). Таким чином, перевірка висоти дає позитивний результат, і екіпажам повітряних суден видається повідомлення про повітряний рух.

Цей тип зближення можливий між повітряними суднами, які допущені до польотів зі скороченими мінімумами вертикального ешелонування, тобто з максимальною амплітудою коливань 65 футів. Не варто забувати, що значення абсолютної висоти конфліктуючого повітряного судна, яке сприймає система TCAS II, може дещо відрізнятись від реального значення через дискретизацію даних про висоту, особливо якщо інтервал дискретизації становить 100 футів.

Мінімальне значення різниці висот між повітряними суднами, яку обробляє система TCAS II, становить щонайменше 835 футів. У той же час максимальна амплітуда коливань, допустима для виконання польотів у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування, становить 65 футів і з урахуванням дискретизації даних про висоту з інтервалом у 100 футів, вона недостатня для видачі рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення активізації такого повідомлення у 700 футів.

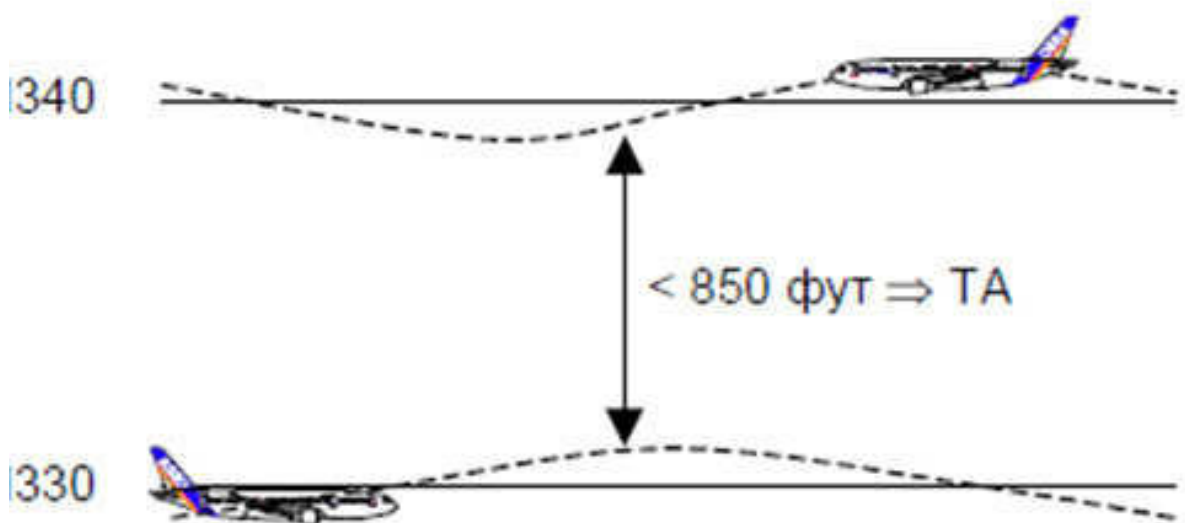


Рис.2.3 Коливання траєкторії повітряних суден у вертикальній площині

На підставі вищесказаного ми можемо зробити висновок, що при виконанні польоту повітряних суден на сусідніх ешелонах в умовах коливання траєкторій у вертикальній площині видача повідомлень ТА є рідкісною подією. У ситуаціях, коли повітряне судно-порушник передає дані про свою висоту з інтервалом дискретизації в 100 футів (відповідає невеликому відсотку парку повітряних суден) або коли амплітуда одночасних протилежно спрямованих коливань траєкторій обох повітряних суден становить щонайменше 51 фут, ймовірність зіткнень повідомлення про повітряний рух підвищується.

У повітряному просторі традиційних мінімумів вертикального ешелонування взагалі не прогнозується видача бортовими системами запобігання зіткненням повідомлень ТА або RA, оскільки різниця між встановленим інтервалом вертикального ешелонування 2000 футів і гранично допустимою відносною висотою (а саме 850 футів для ТА) надто велика. Це означає, що коливання траєкторій повітряних суден навіть якщо їхня амплітуда відповідає максимально допустимим значенням, не зможуть вплинути на цю різницю.

При отриманні від бортової системи попередження зіткнень повідомлення про повітряний рух пілотам повітряних суден не слід уточнювати у диспетчера управління повітряним рухом ситуацію у повітряній ситуації та пілотам не потрібно виконувати маневри на підставі лише повідомлення ТА. Головне призначення повідомлень про повітряний рух від бортової системи попередження зіткнень полягає у інформуванні екіпажу повітряного судна про можливість появи більш серйозної рекомендації RA. Також пілотам повітряних суден не слід повідомляти авіадиспетчерів про ТА. У правилах ведення радіообміну в повітряному просторі стандартної фразеології для ситуації з повідомленням про ТА не існує і тому в технологіях роботи диспетчерів управління повітряним рухом не передбачено конкретних процедур для подібних випадків.

3. Турбулентність.

Порушення, пов'язані з турбулентністю, відбуваються в тих випадках, коли повітряне судно потрапляє в зону атмосферної турбулентності або супутній слід іншого повітряного судна, що призводить до різких відхилень у вертикальній площині з високою миттєвою вертикальною швидкістю і прискоренням у напрямку польоту, що знаходиться на сусідньому ешелоні судна. В результаті розвитку такої ситуації спостерігається велика швидкість зближення повітряних суден у вертикальній площині, що призводить до того, що бортові системи попередження зіткнень на повітряних суднах видають екіпажам повідомлення RA. На рисунку 2.4 схематично показана така ситуація, коли повітряне судно, що знаходиться на нижньому ешелоні польоту, внаслідок попадання в зону турбулентності різко набирає висоту в напрямку повітряного судна, яке виконує політ на вищому ешелоні.



Рис.2.4 Вплив турбулентності на траєкторії повітряного судна у вертикальній площині

Бортова система попередження зіткнень кожну секунду отримує дані про поточну висоту польоту повітряного судна та визначає його вертикальну швидкість. Коли повітряне судно потрапляє у зону сильної турбулентності, що викликає різкі відхилення у вертикальній площині, зокрема у бік іншого повітряного судна, висота польоту швидко змінюється. В результаті розрахунків бортової системи запобігання зіткнень виходить високе значення

вертикальної швидкості повітряного судна. Коли бортова система розраховує висоту польоту за такої високої вертикальної швидкості, час польоту до досягнення ешелону іншого повітряного судна стає меншим від допустимого значень. У цьому випадку перевірка висоти дає позитивний результат і може бути видане повідомлення RA.

У процесі перебування в зоні турбулентності повітряне судно може зазнавати таких прискорень у вертикальній площині, при яких час досягнення ешелону іншого повітряного судна, що розраховується бортовою системою попередження зіткнень, може різко знизитися до величини менше граничного значення часу як для ТА, так і для RA. У цьому випадку бортова система видає рекомендацію RA навіть без попереднього повідомлення ТА.

Логіка роботи бортової системи попередження зіткнень іншого повітряного судна, яке виконує горизонтальний політ вище, буде аналогічною. Бортова система отримує інформацію про висоту повітряного судна-порушника кожну секунду і коли воно фіксує різку зміну висоти польоту повітряного судна-порушника, це призводить до обчислення високої вертикальної швидкості порушника у напрямку до власного повітряного судна, через яку яка перевірка висоти може дати позитивний результат, і тоді видається повідомлення ТА чи RA. Залежно від інтенсивності турбулентності та вертикального прискорення повітряного судна-порушника може відбутися видача рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення навіть без видачі попереднього повідомлення ТА.

При польоті в повітряному просторі традиційних інтервалів вертикального ешелонування застосовуваний інтервал вертикального ешелонування в 2000 футів запобігає більшості повідомлень ТА і RA, які могли бути видані бортовою системою попередження зіткнень через турбулентність, за винятком ситуацій, коли повітряне судно змінює вертикальну швидкість та висоту дуже швидко. Наприклад, для видачі рекомендації щодо запобігання зіткнень вертикальна швидкість, що обчислюється бортовою системою, повинна бути близько 4000 футів на

хвилину, що вдвічі вище, ніж при польотах у зонах скорочених мінімумів вертикального ешелонування.

У ситуаціях, коли пілоту повітряного судна доводиться виконувати маневри, запропоновані бортовою системою попередження зіткнень при отриманні повідомлення рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення і пілот повітряного судна повідомляє про ці маневри диспетчеру управління повітряним рухом, останній не повинен давати екіпажу повітряного судна вказівки, а лише надавати за необхідності або на запит екіпажу повітряного судна.

Далі ми розглянемо, який вплив має надання повідомлень бортовими системами попередження зіткнень на процес управління повітряним рухом авіаційними диспетчерами.

2.2 Експлуатаційні наслідки роботи бортових систем попередження зіткнень для авіадиспетчера

Якщо при обслуговуванні польотів у зоні відповідальності диспетчера управління повітряним рухом усі повітряні судна будуть оснащені модифікацією 7.0 TCAS II, то ці системи не генеруватимуть повідомлення ТА або RA при виконанні горизонтальних польотів повітряних суден на суміжних ешелонах з інтервалом 1000 футів, передбачених у повітря мінімумів вертикального ешелонування.

Як було сказано вище в нашій роботі, прогнозується, що при використанні скорочених мінімумів вертикального ешелонування кількість повідомлень ТА і RA, що видаються бортовими системами попередження зіткнень на ешелонах вище за FL290, може зрости. Це може відбуватися внаслідок зближень, викликаних факторами, які ми докладно розглянули у попередньому підрозділі нашої роботи (зсув, коливання та турбулентність).

Втім, навіть при використанні скорочених мінімумів вертикального ешелонування не очікується істотного збільшення кількості повідомлень про

повітряний рух і рекомендацій щодо запобігання зіткнень від бортових систем попередження зіткнень, порівняно з традиційними мінімумами вертикального ешелонування за умови сумлінного виконання екіпажами повітряних суден контролю з боку служб обслуговування повітряного руху.

З використанням скорочених мінімумів вертикального ешелонування однорідність повітряного простору підвищується рівня ешелону польоту FL420, оскільки використовуються однакові вертикальні інтервали ешелонування. В результаті робочі характеристики бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II стають більш уніфікованими на менших висотах, у той час як у повітряному просторі традиційних норм вертикального ешелонування, де вертикальний інтервал вище за ешелон польоту FL290 становить 2000 футів, ця система має свою специфіку.

Далі розглянемо, які ж експлуатаційні наслідки для диспетчера управління повітряним рухом може мати отримання екіпажем повітряного судна повідомлення про повітряний рух (ТА) від бортової системи попередження зіткнень.

Можливе збільшення кількості повідомлень про повітряний рух в умовах скорочених мінімумів вертикального ешелонування не викликатиме додаткових складнощів для диспетчерів управління повітряним рухом, оскільки від екіпажів повітряних суден взагалі не потрібно повідомляти авіадиспетчера про таке сполучення, а у авіадиспетчерів, у свою чергу, не передбачені які або процедури (як і стандартна фразеологія радіообміну) з цього приводу. Єдине, що на запит екіпажу повітряного судна диспетчер управління повітряним рухом може надати додаткову інформацію про динамічну повітряну обстановку.

Введення скорочених мінімумів вертикального ешелонування може спровокувати кількість повідомлень ТА при виконанні польотів на ешелонах вище FL290, що може викликати більше запитів від пілотів повітряних суден на отримання інформації про повітряну обстановку. Ця проблема особливо актуальна для повітряних суден, обладнаних модифікацією TCAS II 6.04a,

оскільки вона видає більше подібних повідомлень порівняно з бортовими системами запобігання зіткненням модифікації 7.0.

На відміну від ситуацій, коли екіпажі повітряних суден одержують повідомлення про повітряний рух від бортових систем, отримання рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення призводить до активних дій пілотів з управління повітряним судном і зачіпає безпосередній процес керування повітряним рухом з боку авіадиспетчера.

Очевидне деяке збільшення кількості рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення на ешелонах польоту вище FL290 при використанні скорочених мінімумів вертикального ешелонування може призвести до зростання активності пілотів повітряних суден щодо виконання цих рекомендацій. Водночас це не означає, що відповідні повітряні судна порушуватимуть параметри руху, зазначені в їх диспетчерських дозволах. Сучасні бортові системи TCAS II версії 7.0 видають такі рекомендації RA, які дозволяють уникати вертикальних маневрів та відповідають диспетчерським дозволам. Також варто врахувати, що очікувана кількість рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення на ешелонах вище FL290 буде меншою, ніж у діапазоні від ешелону польоту FL250 до ешелону FL290.

Оскільки в зоні скорочених мінімумів вертикального ешелонування очікується, що більшість повітряних суден повинна бути обладнана бортовою системою попередження зіткнень, рекомендації RA, що видаються системою рівня TCAS II, координуватимуться між системами повітряних суден, що беруть участь у конфлікті. Таким чином, якщо пілоти повітряних суден дотримуються рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення та дотримуються диспетчерських дозволів, фактичні відхилення траєкторій повітряних суден будуть обмежені у випадках, коли потрібно змінити маршрут. Питання координації між різними версіями TCAS II у процесі видачі ними рекомендацій RA відображені в Стандартах та рекомендованій практиці Міжнародної організації цивільної авіації для бортових систем попередження зіткнень (SARPS ICAO).

Якщо при виконанні отриманих рекомендацій RA пілот повітряного судна робить надлишкові дії для виконання, що може призвести до значного погіршення ситуації з повітряним рухом через зменшений вертикальний інтервал між ешелонами польоту в секторах зі скороченими мінімумами вертикального ешелонування, ймовірність вимушеного зближення з третім повітрям що не бере участі в початковій ситуації) вважається низькою, як це відбувається в просторі з традиційними вертикальними мінімумами вертикального ешелонування. У разі одночасного виникнення загрози зіткнення від кількох повітряних суден, система TCAS II використовує логічну програму для визначення рекомендацій RA з урахуванням усіх повітряних суден, що створюють загрозу зіткнення.

У ситуаціях, коли пілот повітряного судна повідомляє про виконання маневрів відповідно до рекомендацій бортової системи попередження зіткнень щодо вирішення загрози зіткнення з іншим повітряним судном, диспетчер управління повітряним рухом не має права видавати вказівок на зміну траєкторії польоту повітряного судна доти, доки пілот повітряного судна не повідомить про поновлення умов, заданих в останній диспетчерській вказівці чи дозволі. Однак, диспетчер управління повітряним рухом повинен надавати інформацію про повітряний рух при необхідності або на запит екіпажу повітряного судна. При наданні екіпажам повітряних суден інформації про повітряний рух авіадиспетчери повинні мати на увазі, його сприйняття ситуації взаємного розташування повітряних суден у вертикальній площині є менш точною, ніж оцінка TCAS II.

Під час зміни курсу повітряним судном через виконання рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення диспетчер управління повітряним рухом не відповідає за забезпечення необхідної відстані між цим повітряним судном та іншими повітряними суднами. Якщо виникає ситуація, яка може призвести до появи нової конфліктної ситуації (наприклад, зближення при горизонтальному польоті на висоті 1000 футів від іншого повітряного судна), авіадиспетчери можуть надавати екіпажам повітряних суден інформацію про

повітряний рух і ця інформація не є приводом для невиконання рекомендацій від бортової системи попередження зіткнень. Для запобігання можливої появи нових RA у разі горизонтального польоту на висоті 1000 футів від іншого повітряного судна, пілоти повинні знижувати вертикальну швидкість (до значення не вище 1000 футів за хвилину) перед наближенням до заданого ешелону польоту.

2.3 Експлуатаційні наслідки роботи бортових систем попередження зіткнень для екіпажів повітряних суден

У повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування при виконанні польотів повітряними суднами, обладнаними бортовими системами TCAS II версії 7.0 немає видачі TA або RA для горизонтальних польотів на сусідніх ешелонах при використанні вертикального ешелонування в 1000 футів. Однак можливе деяке збільшення кількості повідомлень TA і RA на висотах вище за ешелон польоту 290 при використанні скорочених мінімумів вертикального ешелонування. Для повітряних суден, допущених до польотів у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування, при виконанні горизонтальних польотів з дотриманням вертикального ешелонування 1000 футів по відношенню до інших повітряних суден в умовах заняття заданого ешелону після набору висоти або зниження, а також в умовах турбулентності окремі RA. Крім того, у разі допущення екіпажами повітряних суден похибок у дотриманні висоти можуть видаватися повідомлення про повітряний рух. Результати проведених Європейською організацією безпеки повітряної навігації досліджень показали, що при застосуванні модифікації сучасних модифікацій бортових систем TCAS II можна очікувати видачі до 47 TA і до 3 RA на кожні 1000 годин польоту. Ці співвідношення нижче відповідних показників для діапазону висот ешелону польоту FL250 - ешелону польоту FL290.

Для повітряних суден, обладнаних ранніми версіями бортових систем попередження зіткнень, наприклад модифікацією 6.04a TCAS 2, кількість повідомлень про повітряний рух буде значно вищою (приблизно 1 повідомлення на 1 годину польоту) при ситуації з горизонтальним польотом з використанням інтервалу вертикального ешелонування 1000 . Прогнозована кількість рекомендацій щодо вирішення загрози зіткнення буде приблизно вдвічі вищою, ніж для повітряних суден із сучасними модифікаціями бортових систем попередження зіткнень.

Екіпажі повітряних суден в обов'язковому порядку повинні бути повідомлені про те, яка модифікацію бортової системи TCAS II встановлена на їхньому повітряному судні і повинні мати відповідну підготовку для роботи з модифікацією, що використовується.

Для екіпажів повітряних суден важливо розуміти, що виконання польотів у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування не відрізняється в плані дій, які очікуються від них при видачі ТА або RA у повітряному просторі традиційних мінімумів вертикального ешелонування, які виконуються пілотами під час польотів. Дії пілотів залишаються незмінними, незалежно від модифікації системи TCAS II і типу повітряного простору.

Пілотам повітряних суден не слід запитувати інформацію про повітряний рух при отриманні від бортової системи попередження зіткнень повідомлення про повітряний рух та не виконувати маневри лише на його основі. Це правило діє у всіх класах повітряного простору, включаючи повітряний простір скорочених мінімумів ешелонування.

Розподіл обов'язків між пілотом, який здійснює безпосереднє керування повітряним судном, та іншим пілотом відбувається наступним чином:

- пілот, що здійснює безпосереднє керування повітряним судном, повинен продовжувати контролювати політ і бути готовим до ухвалення всіх необхідних дій відповідно до будь-яких

рекомендацій бортової системи попередження зіткнень щодо вирішення загрози зіткнення;

- пілот, який не здійснює управління повітряним судном, повинен давати відомості про місцезнаходження та характер руху інших повітряних суден, що відображаються на індикаторі TCAS II, а також застосовувати цю інформацію як додатковий засіб для візуального виявлення повітряного судна-порушника.

При отриманні від бортової системи запобігання зіткнень рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення пілоти повітряного судна в більшості випадків слідують інструкціям своїх авіакомпаній з виконання польотів (якщо такі є), які, як правило, наказують виконувати всі рекомендації RA, навіть якщо інформація про повітряний рух відсутня візуальне виявлення повітряного судна-порушника неможливе. У разі раптового повідомлення RA пілотам повітряного судна доведеться діяти без попередньої інформації про повітряний рух. Під час виконання рекомендації RA від бортової системи попередження зіткнень обов'язки між пілотом, що безпосередньо управляє повітряним судном, і пілотом, що не управляє повітряним судном, розподіляються таким чином:

- пілот, який здійснює безпосереднє керування повітряним судном, повинен виконувати дії з керування повітряним судном відповідно до рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення від бортової системи попередження зіткнень;
- пілот, який не керує повітряним судном, повідомляє необхідні дані про місцезнаходження інших повітряних суден, аналізує інформацію про повітряну обстановку, що відображається на індикаторі, та відстежує дії, вжиті відповідно до рекомендацій бортової системи попередження зіткнень.

Пілотам категорично забороняється здійснювати маневри у напрямку, протилежному зазначеному у рекомендації бортової системи. Якщо повітряне судно-порушник також обладнане системою TCAS II (що є

стандартним випадком у європейському просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування), маневр у протилежному напрямку стає небезпечним, оскільки обидві рекомендації RA, спрямовані на вибір напрямку маневру ухилення, формуються з урахуванням спільної роботи бортових систем попередження зіткнень обох повітряних суден і не суперечать один одному.

Як тільки поточна робоча обстановка дозволить, пілоти повітряного судна зобов'язані доповісти диспетчеру управління повітряним рухом, за керівництвом якого вони виконують політ, про всі маневри, які виконуються відповідно до рекомендацій бортової системи попередження зіткнень.

Зміна траєкторії польоту обмежується до мінімуму, необхідного для виконання рекомендацій RA.

У разі зміни параметрів польоту, що містяться у вказівках диспетчера управління повітряним рухом, при виконанні рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення пілоти повітряного судна повинні максимально швидко відновити умови попереднього вирішення або вказівки, як тільки конфліктна ситуація буде усунена, та негайно повідомити про це відповідний орган управління рухом. Оскільки диспетчер керування повітряним рухом не відповідає за забезпечення ешелонування повітряних суден, які відхиляються від заданих траєкторій польоту при виконанні рекомендацій RA, необхідно, щоб після завершення виконання рекомендацій RA пілоти відновили параметри польоту, зазначені в попередньому диспетчерському дозволі.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЬ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮЮЧОГО КОМПЛЕКСУ

Детально вивчивши питання функціонування бортових систем попередження зіткнень і ті дії, які роблять екіпажі повітряних суден та диспетчери управління повітряним рухом у разі видачі екіпажам повідомлень від бортових систем, ми можемо перейти до основного завдання нашої роботи - розробки алгоритмів для впровадження механізмів роботи бортових систем попередження у тренажер авіадиспетчерів на прикладі моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера. Провівши аналіз поставленого завдання, ми вважаємо, що модель використання бортових систем попередження зіткнень повітряними судами для моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера складатиметься з трьох частин:

- модель активації на повітряному судні системи попередження зіткнень;
- модель вибору рішення бортовою системою попередження зіткнень для парирування ситуації;
- індикація на індикаторі огляду авіадиспетчера виконання екіпажами повітряних суден рекомендації бортової системи попередження зіткнень.

Далі ми розглянемо перелічені компоненти докладніше. Однак спочатку нам необхідно вивчити рекомендації Міжнародної організації цивільної авіації щодо навчання диспетчерів управління повітряним рухом роботи з повітряними суднами, які обладнані бортовими системами попередження зіткнень. Це допоможе визначити ключові аспекти, на які слід звернути увагу при розробці нашої моделі та по можливості визначити напрямки для проведення подальших досліджень у рамках обраної нами тематики.

3.1 Підготовка диспетчерів управління повітряним рухом для управління повітряними судами, обладнаними БСПЗ

Спираючись на досвід використання бортових систем попередження зіткнень, Міжнародна організація цивільної авіації рекомендує розробити та затвердити офіційні навчальні програми для диспетчерів повітряного руху. Впровадження цих програм покликане допомогти покращити здатність диспетчерів керування повітряним рухом до дій у ситуаціях, коли екіпажі повітряних суден виконують рекомендації від бортових систем попередження зіткнень за рахунок виконання таких завдань:

1. розуміння можливостей та принципів функціонування бортових систем попередження зіткнень та особливостей їх функціонування;
2. прогнозування прийняття рішень бортовими системами попередження зіткнень стосовно реальної повітряної обстановки;
3. знання та розуміння ролі, завдань та пілотів повітряних суден та диспетчерів управління повітряним рухом при вирішенні конфліктних ситуацій в умовах застосування бортових систем попередження зіткнень;
4. аналіз доцільності застосування бортових систем попередження зіткнень у парируванні конфліктних ситуацій.

Навчання з особливостей управління повітряним рухом в умовах застосування бортових систем запобігання зіткненням має відбуватися на всіх етапах підготовки авіаційних диспетчерів, починаючи з початкової підготовки здобувачів вищої освіти (курсантів) та закінчуючи спеціальними заходами щодо підвищення рівня безпеки польотів після серйозних авіаційних подій та інцидентів. Безперервність навчання можливо забезпечити за рахунок проведення регулярної підготовки із застосуванням тренажерів керування повітряним рухом або з використанням

автоматизованих навчальних систем, включаючи дистанційні засоби підготовки.

Згідно з Документом 9863 Міжнародної організації цивільної авіації "Посібник з бортової системи попередження зіткнень (БСПЗ)" початкове навчання авіадиспетчерів повинно включати вивчення наступних теоретичних матеріалів:

- історична частина - огляд історії появи та розвитку бортових систем попередження зіткнень;
- визначення - термінологія та основні визначення, що використовуються Міжнародною організацією цивільної авіації для бортових систем попередження зіткнень;
- інформація щодо системи попередження зіткнень - структура системи, її функціональні можливості, обмеження та розвиток ситуацій, які пов'язані з бортовими системами попередження зіткнень;
- стандарти для бортових систем попередження зіткнень - аналіз міжнародних та національних вимог щодо особливостей обладнання повітряних суден бортовими системами попередження зіткнень;
- експлуатаційні вимоги та правила застосування бортових систем попередження зіткнень – як для пілотів повітряних суден, так і для диспетчерів керування повітряним рухом;
- особливості функціонування бортових систем попередження зіткнень в умовах актуальної системи організації повітряного руху – досвід практичної експлуатації та шляхи вирішення проблемних ситуацій;

Наведений теоретичний матеріал може бути використаний для проведення інформаційних заходів, спеціальних брифінгів або групових обговорень між спеціалістами служби обслуговування повітряного руху та членами льотних екіпажів повітряних суден у підрозділах служби управління

повітряним рухом. Мета таких заходів — обмін досвідом експлуатації бортових систем запобігання зіткненням як з боку служби руху, так і з боку авіаційних компаній.

Після стадії теоретичного інструктажу слід провести початкові практичні заняття, що включають виконання вправ на тренажері авіадиспетчерів або моделювання конкретних ситуацій, пов'язаних з бортовими системами попередження зіткнень, для їх вивчення та аналізу.

Проведення практичної підготовки на диспетчерському тренажері з бортовими системами попередження зіткнень спричинене необхідністю отримання авіадиспетчером реальних навичок операцій в умовах виникнення таких ситуацій при керуванні повітряним рухом.

На додаток до початкової підготовки, згаданої вище, необхідно включити завдання щодо відпрацювання конфліктних ситуацій в умовах застосування бортових систем попередження зіткнень у практичні заняття авіадиспетчерів на етапі тренажерної підготовки. Формування навчальних завдань має бути спрямоване на ознайомлення диспетчерів управління повітряним рухом з різними видами конфліктів, пов'язаними з цими системами, та варіантами їх розвитку під час виконання пілотами повітряних суден рекомендацій бортових систем. Також важливо, щоб авіадиспетчери практикувалися у правильному виконанні дій та коректному радіообміні з екіпажами повітряних суден. Після завершення ситуації, пов'язаної з бортовими системами попередження зіткнень, диспетчер управління повітряним рухом зобов'язаний проконтролювати повернення повітряних суден, які брали участь у конфліктній ситуації та виконували рекомендації бортових систем попередження зіткнень, до попередніх параметрів польоту відповідно до раніше виданих диспетчерських вказівок, або їх адаптацію до змін динамічній повітряній обстановці.

Необхідно, щоб диспетчери управління повітряним рухом постійно підтримували допустимий рівень компетентності у питаннях особливостей обслуговування повітряного руху під час використання бортових систем

запобігання зіткненням. Таким чином, вивчення теорії та практики бортових систем попередження зіткнень має бути частиною процесу регулярного оновлення інформації з безпеки польотів та аварійних ситуацій для всіх діючих авіадиспетчерів, у тому числі з використанням автоматизованих навчальних систем.

У разі серйозного інциденту, постачальник аеронавігаційних послуг мав би провести брифінг або інший інформаційний захід з питань безпеки польотів, на якому були б розглянуті всі експлуатаційні та технічні аспекти ситуації, що склалася. Брифінг повинен пройти якнайшвидше після події, щоб внести ясність у питання, пов'язані з розвитком конфліктної ситуації та виявленими аварійними факторами, причому участь у такому заході зацікавлених сторін є обов'язковою.

У зв'язку з серйозним впливом застосування бортових систем попередження зіткнень на подальший розвиток методів використання повітряного простору та правил польотів може знадобитися спеціальна підготовка по бортових системах попередження зіткнень перед впровадженням нових структур повітряного простору або процедур управління повітряним рухом. Обсяг, терміни та зміст такої підготовки безпосередньо залежить від складності та масштабу запланованих змін, і її результати можуть вплинути на весь процес розробки, навіть якщо спочатку прямий зв'язок із застосуванням бортових систем попередження зіткнень не був явним.

Очевидно, що для можливості правильно і своєчасно реагувати на ситуації, коли пілоти повітряних суден дотримуються рекомендацій бортових систем попередження зіткнень, диспетчери управління повітряним рухом повинні бути поінформовані про типи інформації, яку надає пілотам бортова система попередження зіткнень, та про інструктивно-методичні матеріали пілотам повітряних суден під час їх підготовки за цими системами. Документ 8168 Міжнародної організації цивільної авіації Правила аеронавігаційного обслуговування «Виробництво польотів повітряних суден», Розділ 3 Частина

VIII Тома I «Правила виробництва польотів» містить основні процедури використання бортових систем попередження зіткнень екіпажами повітряних суден. Європейська організація з безпеки повітряної навігації (Євроконтроль) у 2022 році випустила документ «Керівництво з бортових систем попередження зіткнень», яке також дає вичерпну інформацію щодо застосування таких систем.

У разі отримання повідомлення про повітряний рух (ТА) від бортової системи попередження зіткнень видано, пілотам повітряного судна наказується провести візуальний пошук повітряного судна-порушника, що викликало видачу такого сполучення. У разі, якщо в результаті візуального пошуку пілотах вдалося виявити і впізнати повітряно-судно-порушник, необхідно забезпечити візуальне ешелонування. При цьому відповідно до вимог програм підготовки екіпажів повітряних суден горизонтальні маневри не повинні виконуватися тільки на основі інформації, отриманої від індикатора бортової системи попередження зіткнень. Допускається маневри з невеликими змінами вертикальної швидкості при наборі висоти або зниженні або аналогічні невеликі коригування швидкості повітряного судна, якщо це не суперечить вказівкам диспетчера управління повітряним рухом.

При отриманні від бортової системи попередження зіткнень рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення пілотам повітряного судна слід негайно вдаватися до дій, наведених у рекомендації тільки якщо це не створює небезпеки для безпечного виконання польоту. Це означає, що іноді екіпаж повітряне судно може діяти всупереч інструкціям, отриманим раніше від диспетчера управління повітряним рухом або ігнорувати їх. У процесі підготовки пілотів повітряних суден звертається особлива увага на такі моменти :

1. категорично забороняється виконувати маневри, протилежні тим, що містяться в рекомендації бортової системи попередження зіткнень, оскільки це може призвести до зіткнення повітряних суден, що конфліктують;

2. в обов'язковому порядку повідомити диспетчера служби управління повітряним рухом про виконання рекомендацій бортової системи попередження зіткнень, як тільки з'явиться така можливість. До початку виконання маневрів запобігання загрозі зіткнення повідомляти авіадиспетчера про це не потрібно;
3. бути готовим до негайних дій щодо зменшення відхилень від дозволених диспетчером управління повітряним рухом у разі зняття бортовою системою рекомендації RA або зниження рівня до TA;
4. при виконанні дії, наданих рекомендацією бортової системи, по можливості виконувати отримані раніше вказівки від диспетчера управління повітряним рухом, якщо вони не суперечать рекомендаціям бортової системи;
5. після вирішення ситуації з виконанням рекомендацій від бортової системи попередження зіткнень, негайно вжити заходів щодо повернення до раніше отриманих від авіадиспетчера параметрів польоту або виконувати змінені вказівки авіадиспетчера.

Далі ми проаналізуємо вимоги, викладені у "Посібнику з бортової системи попередження зіткнень" Міжнародної організації цивільної авіації (Документ 9863), до дій диспетчерів управління повітряним рухом у разі виникнення ситуації з лікуванням екіпажем повітряного судна рекомендацій RA. Саме аналіз цих вимог дозволить нам визначити необхідні вимоги та розробити алгоритми для автоматизованої оцінки дій авіадиспетчерів у подібних ситуаціях.

Слід звернути особливу увагу на те, що правила обслуговування повітряного руху, що застосовуються до повітряних суден, обладнаних системою попередження зіткнень, аналогічні тим, що використовуються для повітряних суден, що не має такої системи у складі бортового обладнання. Зокрема, методи запобігання зіткненням, забезпечення необхідного ешелонування та надання інформації у разі виникнення потенційно-конфліктних ситуацій у польоті, а також рекомендації щодо вирішення

конфліктних ситуацій відповідають стандартним правилам обслуговування повітряного руху та не враховують особливості повітряних суден, обладнаних бортовими системами попередження зіткнень. У Правилах аеронавігаційного обслуговування "Організація повітряного руху" (документ 4444 Міжнародної організації цивільної авіації) описано процедури дій для диспетчерів управління повітряним рухом, які використовуються в період дії рекомендацій RA.

Проаналізувавши вимоги керівних документів, вважаємо, що з організації тренажерної підготовки для ситуацій із застосуванням бортових систем попередження зіткнень, необхідно враховувати такі моменти. При отриманні повідомлення від пілота повітряного судна про виконання маневрів, понесених бортовою системою попередження зіткнень у разі отримання рекомендації RA, диспетчер управління повітряним рухом повинен виконувати наступні інструкції:

1. підтвердити отримання повідомлення екіпажу повітряного судна про маневри та рекомендації RA, використовуючи слово "ЗРОЗУМІВ" (ROGER ");
2. **за жодних обставин не робити спроб втручання в політ будь-якого з повітряних суден, що беруть участь у конфліктній ситуації;**
3. **до того моменту, поки екіпаж повітряного судна не повідомить про припинення виконання рекомендацій RA і про повернення до параметрів польоту, запропонованих раніше авіадиспетчером, диспетчеру управління повітряним рухом заборонено видавати будь-які дозволи або вказівки для будь-якого залученого до ситуації повітряного судна**
4. негайно надавати інформацію про повітряний рух екіпажам повітряних суден у разі потреби або на запит екіпажів.

Диспетчер управління повітряним рухом не несе відповідальності за забезпечення норм ешелонування повітряних суден, що беруть участь у

конфліктній ситуації, з моменту відхилення повітряного судна від заданих параметрів польоту відповідно до рекомендації RA. Після отримання та підтвердження диспетчером управління повітряним рухом доповіді екіпажу повітряного судна про те, що його повітряне судно знову виконує політ відповідно до заданого дозволу або вказівки, та видасть альтернативний дозвіл чи вказівку, що підтверджується пілотом, авіадиспетчер знову бере на себе відповідальність за забезпечення ешелону. повітряного судна. Особливу увагу у процесі підготовки диспетчерів управління повітряним рухом слід звернути на те, що використання бортових систем запобігання зіткненню не викликає змін у існуючому розподілі обов'язків пілотів повітряних суден та авіадиспетчерів. У таблиці 3.1 наводиться перелік дій пілотів повітряних суден та диспетчерів управління повітряним рухом на різних стадіях конфліктної ситуації з використанням бортових систем попередження зіткнень. Проаналізувавши вимоги вищевказаних керівних документів Міжнародної організації цивільної авіації та Євроконтролю, ми змогли сформулювати перелік вимог до моделі застосування бортових систем попередження зіткнень у диспетчерському тренажері:

1. Для моделі екіпажів повітряних суден передбачити обов'язкову видачу повідомлення (радіообмін або через лінію передачі даних) про початок виконання маневрів, пов'язаних з отриманням рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення від бортової системи попередження зіткнень. В обов'язковому порядку необхідно забезпечити індикацію міток або формулярів супроводу для повітряних суден, які виконують такі маневри, на індикаторі повітряної обстановки тренажера. Ми вважаємо, що оптимальним варіантом буде автоматичне включення такої індикації в автоматизованій системі керування повітряним рухом під час отримання повідомлення від екіпажу повітряного судна.

2. Оскільки диспетчер управління повітряним рухом повинен підтвердити прийняття інформації від екіпажу повітряного судна про виконання маневрів, пов'язаних із роботою бортової системи попередження

зіткнень, потрібно внести зміни до існуючого інтерфейсу видачі команд. Передбачається, що для повітряних суден, що активували повідомлення про виконання рекомендацій RA в інтерфейсі видачі команд (або, як варіант на формулярі супроводу), буде передбачена кнопка "підтвердити", яка повідомить систему про прийняття такої інформації та видасть відповідне повідомлення в модуль радіообміну між авіадиспетчером та екіпаж повітряного судна.

3. Після доповіді екіпажу повітряного судна диспетчеру управління повітряним рухом заборонено видавати вказівки екіпажам повітряних суден, які виконують маневри, вказані рекомендаціями RA. Таким чином, при видачі будь-якої команди екіпажу повітряного судна, що активував режим виконання рекомендацій RA (навіть якщо авіадиспетчер ще не підтвердив отримання такого повідомлення від екіпажу повітряного судна - дивись попередній пункт) будь-яка команда для цього повітряного судна повинна вважатися помилковою та ігноруватися екіпажами. Необхідно передбачити фіксацію помилкових команд авіадиспетчера у автоматичній системі фіксації порушень. У зв'язку з цим необхідно зауважити, що у стандартному інтерфейсі введення команд (простий інтерфейс введення команд Simple Command Interface - SCI) відсутня можливість видачі неправильних вказівок екіпажам повітряних суден. Але складніший варіант інтерфейсу введення команд (фразеологічний інтерфейс) дозволяє контролювати правильність і логічність команд диспетчера і фіксувати помилкові команди.

4. Як ми з'ясували, диспетчер управління повітряним рухом не відповідає за забезпечення ешелонування між повітряними суднами, що виконують маневри, пов'язані з виконанням рекомендацій RA від бортових систем попередження зіткнень. Тому порушення правил ешелонування між такими судами мають бути зафіксовані та відображені на індикаторі повітряної обстановки (як правило зміною кольору відповідних формулярів супроводу повітряних суден), але вони не враховуватимуться автоматичною системою фіксації порушень як помилки авіадиспетчера. Можливо, що для

таких конфліктних ситуацій та порушень слід передбачити окрему категорію помилок. Слід зазначити, що відповідальність за дотримання норм ешелонування між іншими повітряними суднами залишається на авіадиспетчері.

Таблиця 3.1

Взаємодія «екіпаж повітряного судна – диспетчер управління повітряним рухом» в конфліктній ситуації із застосуванням БСПЗ

екіпаж повітряного судна	Авіадиспетчер
Консультативна інформація про повітряний рух (ТА)	
Забороняється вживати маневр у відповідь на видачу лише консультативної інформації про повітряний рух (ТА)	Зберігає відповідальність за забезпечення ешелонування при управлінні повітряного руху
Повинен бути готовий до відповідних дій, якщо буде видана RA, проте, наскільки це практично можливо, пілоти не повинні запитувати інформацію про повітряний рух	При надходженні запиту від екіпажу <u>ПС</u> необхідно надати інформацію про повітряний рух
Рекомендація по вирішенню загрози зіткнення (RA)	
Повинен негайно діяти у відповідь на RA і здійснювати зазначений маневр, якщо тільки такі дії не створять загрозу безпечного виконання польоту	Не повинен робити спроби змінити траєкторію польоту повітряного судна, що виконує RA
Повинен виконувати RA, навіть якщо виник конфлікт між RA і зазначенням служби УПР по маневруванню	Не повинен видавати жодного дозволу або вказівки залученим в ситуацію повітряним судам до тих пір, поки пілот не доповість про повернення до умов виданих службою УПР дозволу або вказівки
Забороняється маневрувати в напрямку протилежному значенням RA, так само як забороняється підтримувати вертикальну швидкість зі знаком протилежним значенням RA	Повинен підтвердити отримання донесення про RA повідомленням "ПОНЯЛ" ("ROGER")
При відхиленні від вказівки або дозволу служби УПР при відповіді на будь-яку RA	За запитом від екіпажу <u>ПС</u> повинен надати інформацію про повітряний рух

повинен: - як тільки це дозволить робоче навантаження екіпажу, повідомити відповідний пункт УПР про відхилення; - негайно інформувати службу УПР, що екіпаж не в змозі виконувати дозвіл або вказівка, що входить в протиріччя з RA	
Повинен невідкладно виконувати будь-які наступні RA видані БСПЗ	Знімає з себе відповідальність за забезпечення ешелонування між даними повітряним судном та іншими повітряними судами, порушеними в результаті прямих наслідків маневру у відповідь на RA
Повинен обмежувати зміни траєкторії польоту до мінімального ступеня необхідної для виконання RA	
Завершення конфліктної ситуації	
По завершенні конфліктної ситуації негайно повернутися до умов польоту відповідно до попереднього вказівкою або дозволу служби УПР	Прийняти на себе відповідальність за забезпечення ешелонування всіх порушених повітряних суден, після того як підтвердить: - донесення пілота про те, що його повітряне судно знову виконує політ відповідно до виданого службою УПР дозволом або зазначенням, і видасть альтернативне вирішення або вказівку, що підтверджено пілотом; або - донесення пілота про те, що його повітряне судно знову виконує політ відповідно до виданого службою УПР дозволом або зазначенням
Повідомити службу УПР про початок дій по поверненню до діючого дозволу або відновлення польоту відповідно до дозволу служби УПР	

5. Після завершення ситуації, пов'язаної з повітряними суднами, які здійснюють маневри згідно з рекомендацією RA від бортових систем попередження зіткнень, диспетчер управління повітряним рухом знову бере на себе відповідальність за забезпечення ешелонування цих повітряних суден. Екіпаж повітряного судна видає повідомлення про припинення виконання маневру (через радіообмін або лінію передачі даних), додаткову індикацію на формулярах супроводу повітряних суден, що виконують ці маневри, слід видалити. Усі обмеження (заборона видачу команд, скасування відповідальності за дотримання правил ешелонування) знімаються. Додаткових дій щодо підтвердження завершення ситуації від авіадиспетчера не передбачається.

Як засіб реалізації запропонованих нами моделей ми плануємо використовувати моделюючий комплекс роботи авіадиспетчера, який розроблявся і застосовувався в процесі навчання здобувачів вищої освіти (курсантів) у Льотній академії Національного авіаційного університету. Це пов'язано з доступністю інформації щодо можливостей та особливостей роботи цього комплексу та можливістю консультацій з розробниками програмної реалізації комплексу.

3.2 Алгоритм активації бортової системи попередження зіткнень

До складу моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера входить модуль, який відповідає за прогнозування розвитку динамічної повітряної обстановки - система випереджаючого моделювання. Точніше сказати, модуль не прогнозує, а послідовно розраховує розвиток повітряної обстановки заданої з дискретністю (за замовчуванням 1 секунда часу вправи) при дотриманні умови, що в проміжку часу, для якого проводиться розрахунок повітряної обстановки, не надходить будь-яких вказівок від диспетчера управління повітряним рухом. Проте повітряні судна точно дотримуються вже виданих вказівок авіадиспетчера та запропонованого

маршруту польоту, тобто можуть змінювати курс, швидкість та висоту польоту відповідно до запланованих у завданні. Основним завданням розробки системи випереджуючого моделювання було завдання виявлення порушень встановлених норм ешелонування повітряних суден. В актуальній версії моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера результати роботи системи випереджаючого моделювання найнаочніше представлені в модулі прогнозування конфліктних ситуацій (який фактично виконує роль системи підтримки прийняття рішень) і в системі автоматичної фіксації порушень, яка дозволяє відобразити виявлені порушення ешелонування повітряних суден за допомогою формулярів супроводу на індикаторі повітряної обстановки. Основними перевагами системи випереджаючого моделювання можна вважати:

- висока можливість визначення порушень інтервалів ешелонування між повітряними суднами;
- точне прогнозування часу настання конфліктної ситуації (порушення встановлених мінімумів ешелонування);
- низьке споживання обчислювальних ресурсів під час проведення прогнозування.

До складу вищезазначеного модуля прогнозування конфліктних ситуацій входять три підсистеми:

1. Відображення інформації про потенційно-конфліктні ситуації (ПКС) на екрані індикатора динамічної повітряної обстановки авіадиспетчера.
2. Модуль підтримки прийняття рішень для диспетчера управління повітряним рухом, яка може виконувати такі функції: виявлення та класифікація потенційно-конфліктної ситуації, визначення повітряних суден, що беруть участь у ПКС, підготовка пропозицій щодо вирішення потенційно-конфліктної ситуації.
3. Модуль оцінки своєчасності прийняття рішень під час парування потенційно-конфліктних ситуацій.

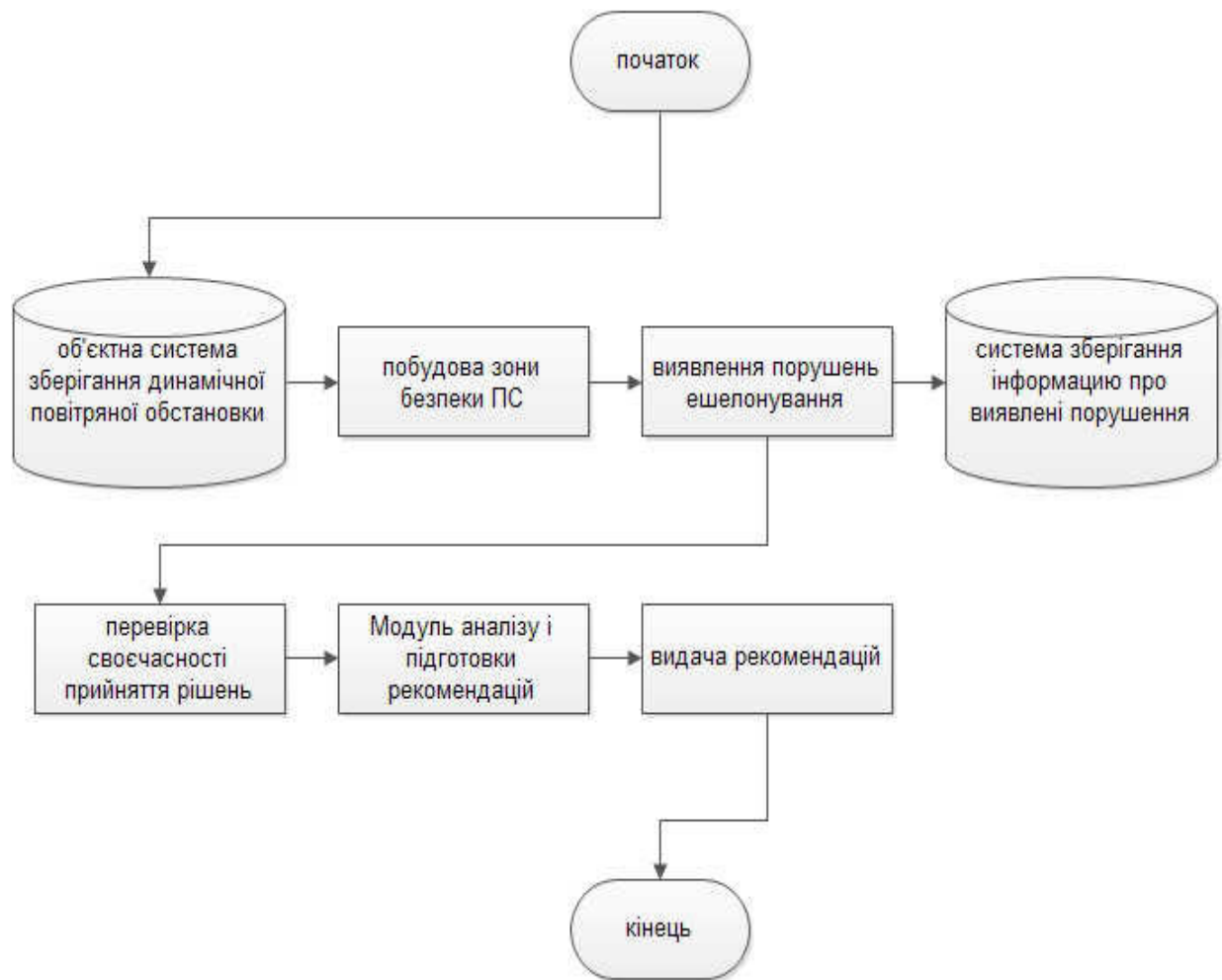


Рис.3.1 Загальний алгоритм роботи системи випереджаючого моделювання

При формуванні рекомендації щодо вирішення потенційно-конфліктних ситуацій у моделювальному комплексі роботи авіадиспетчера використовується модульна система випереджуючого моделювання. Загальний алгоритм роботи цієї системи показано на рисунку 3.1. Завдяки можливостям цієї системи ми можемо визначити момент, коли необхідно активувати бортову систему попередження зіткнень у створюваній нами моделі.

На основі інформації про роботу бортових систем попередження зіткнень, розглянутої нами у другому розділі нашого проекту, ми вважатимемо моментом активації бортової системи попередження зіткнень

(RA) час, який становить 35 секунд до виникнення події «Порушення встановлених безпечних інтервалів» (CPA).

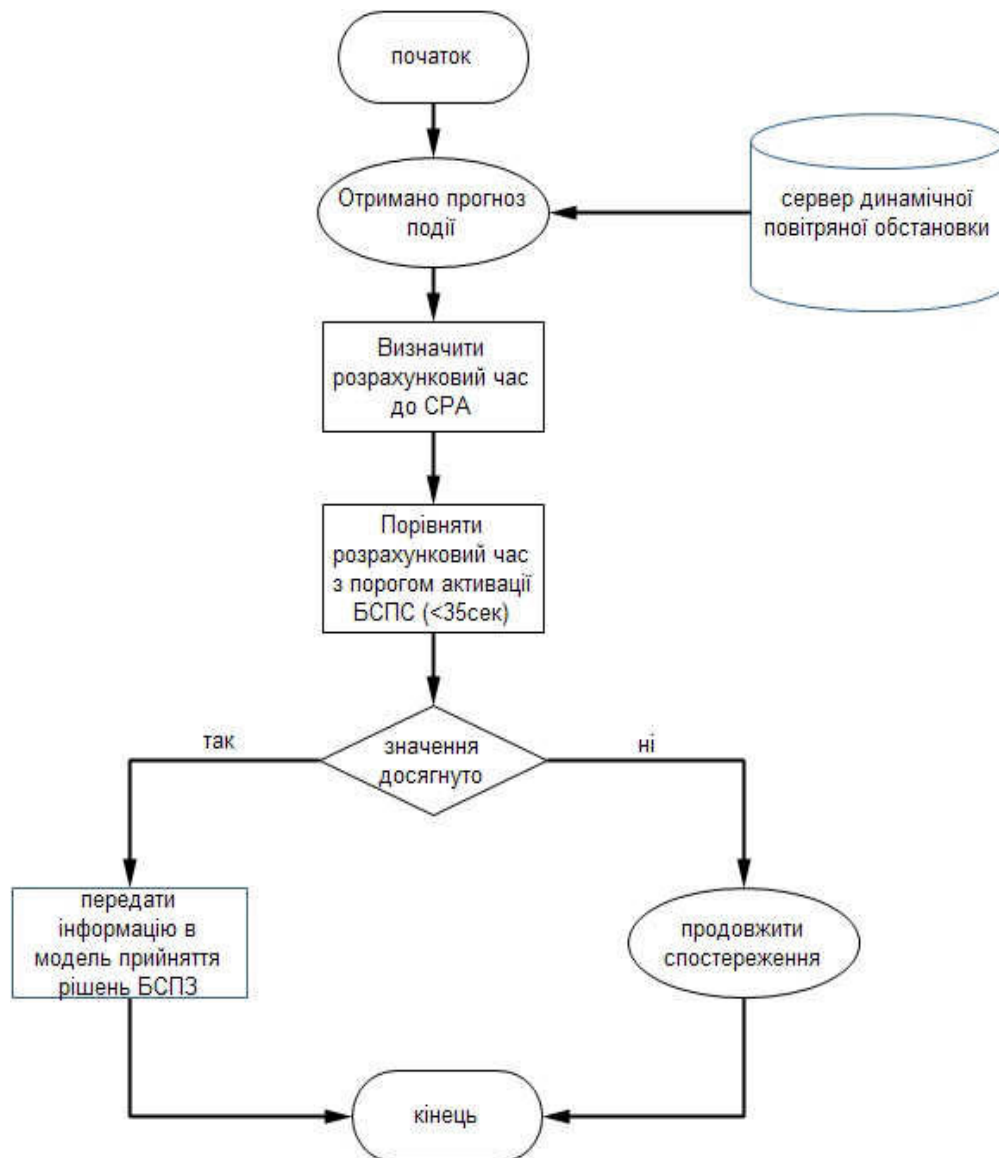


Рис.3.2 Система аналізу і видачі інформації БСПЗ для моделюючого комплексу

Наступним важливим фактором, що впливає на ухвалення рішення про те, як бортовій системі попередження зіткнень діяти в цій ситуації, є визначення взаємного розташування повітряних суден та тенденції їх зближення. Залежно від двох можливих варіантів положення повітряних суден у конфліктній ситуації — проходження повітряних суден у горизонтальному польоті або проходження в режимі набору висоти або зниження одним (або обома) повітряними суднами — алгоритм активації

бортової системи попередження зіткнень видасть інформацію про параметри взаємодії повітряних суден та одну із двох можливих ситуацій. Загальна схема алгоритму роботи системи аналізу та видачі інформації бортової системи попередження зіткнень для моделюючого комплексу показана на рисунку 3.2. Тепер ми маємо час, коли нам необхідно активувати бортову систему попередження зіткнень та алгоритм розпізнавання конфліктної ситуації бортовою системою. Наступний крок - визначення дій екіпажу повітряного судна, що бере участь у конфліктній ситуації.

3.3 Алгоритм прийняття рішень для екіпажів повітряних суден

Як рекомендований маневр вирішення конфліктної ситуації при активізації бортової системи попередження зіткнень ми будемо використовувати розподіл повітряних суден по висотах польоту для забезпечення необхідних вертикальних інтервалів ешелонування. Загальний алгоритм вибору операцій для рекомендації щодо вирішення загрози зіткнення від бортової системи попередження зіткнень показано на рисунку 3.3. Розглянь схему алгоритму докладніше. При виявленні конфліктної ситуації перевіряється умова: чи обидва повітряні судна перебувають у режимі горизонтального польоту? У позитивному випадку (обидва повітряні судна в режимі горизонтального польоту) першому повітряному судну дається вказівка набрати висоту до найближчого ешелону польоту, без урахування його напрямку, а друге повітряне судно отримує вказівку знизитися до найближчого ешелону польоту незалежно від його напрямку. У негативному випадку, тобто коли одне або обидва повітряні судна перебувають у змінному профілі польоту, тоді повітряному судну, яке знаходиться на більшій висоті, дається вказівка набрати висоту до найближчого ешелону польоту, без урахування його напрямку, а другому повітряному судну дається вказівка знизитися до найближчого ешелону польоту незалежно від його напрямку. В рамках діючої моделі польоту

повітряних суден у моделювальному комплексі роботи авіадиспетчера визначення режиму польоту повітряного судна (горизонтальний політ або політ у режимі набору висоти або зниження) не становить складності та полягає в порівнянні поточного рівня польоту повітряного судна та заданого рівня, що практично не вимагає обчислювальних ресурсів.

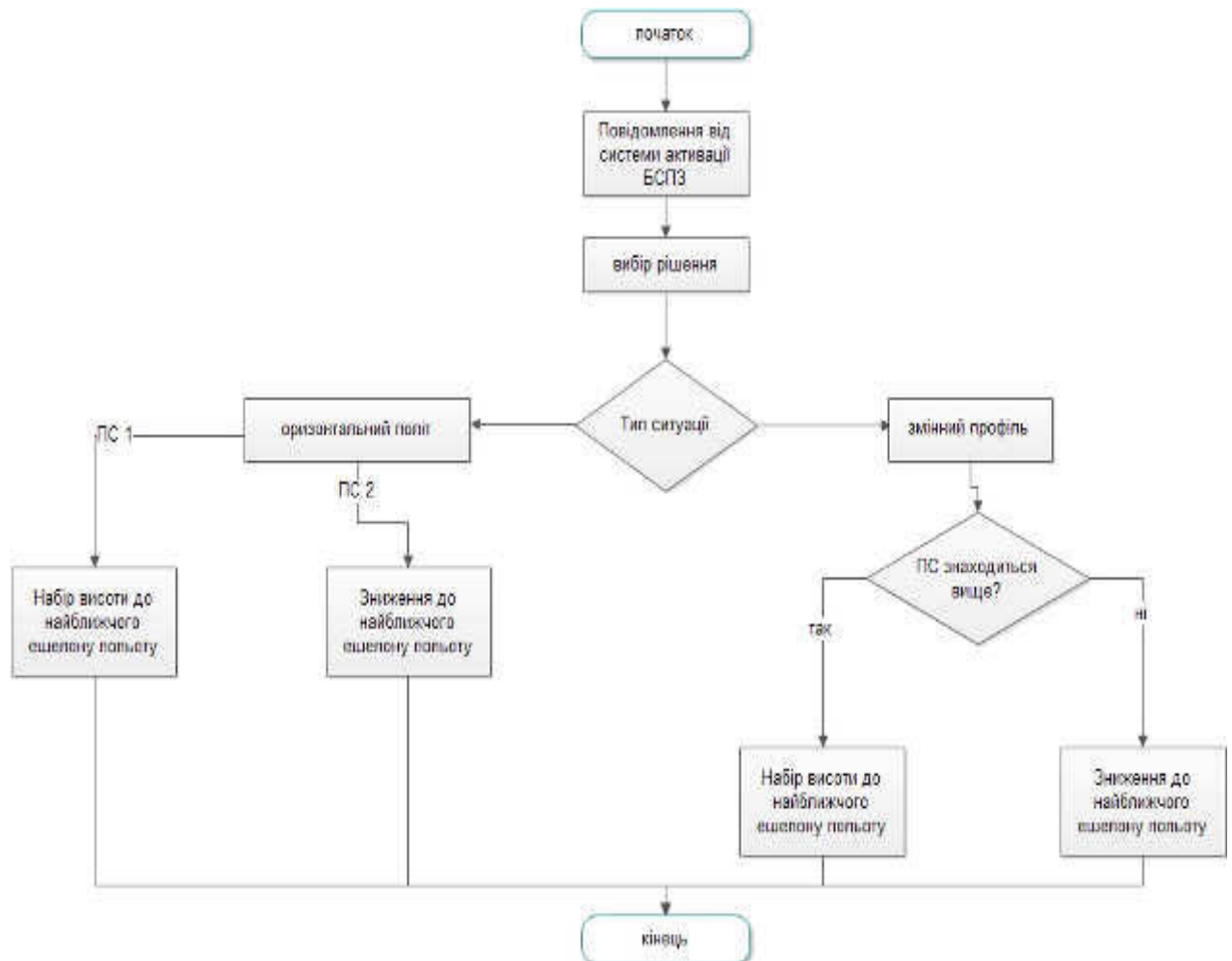


Рис.3.3 Загальна схема алгоритму вибору рішення для бортових систем попередження зіткнень

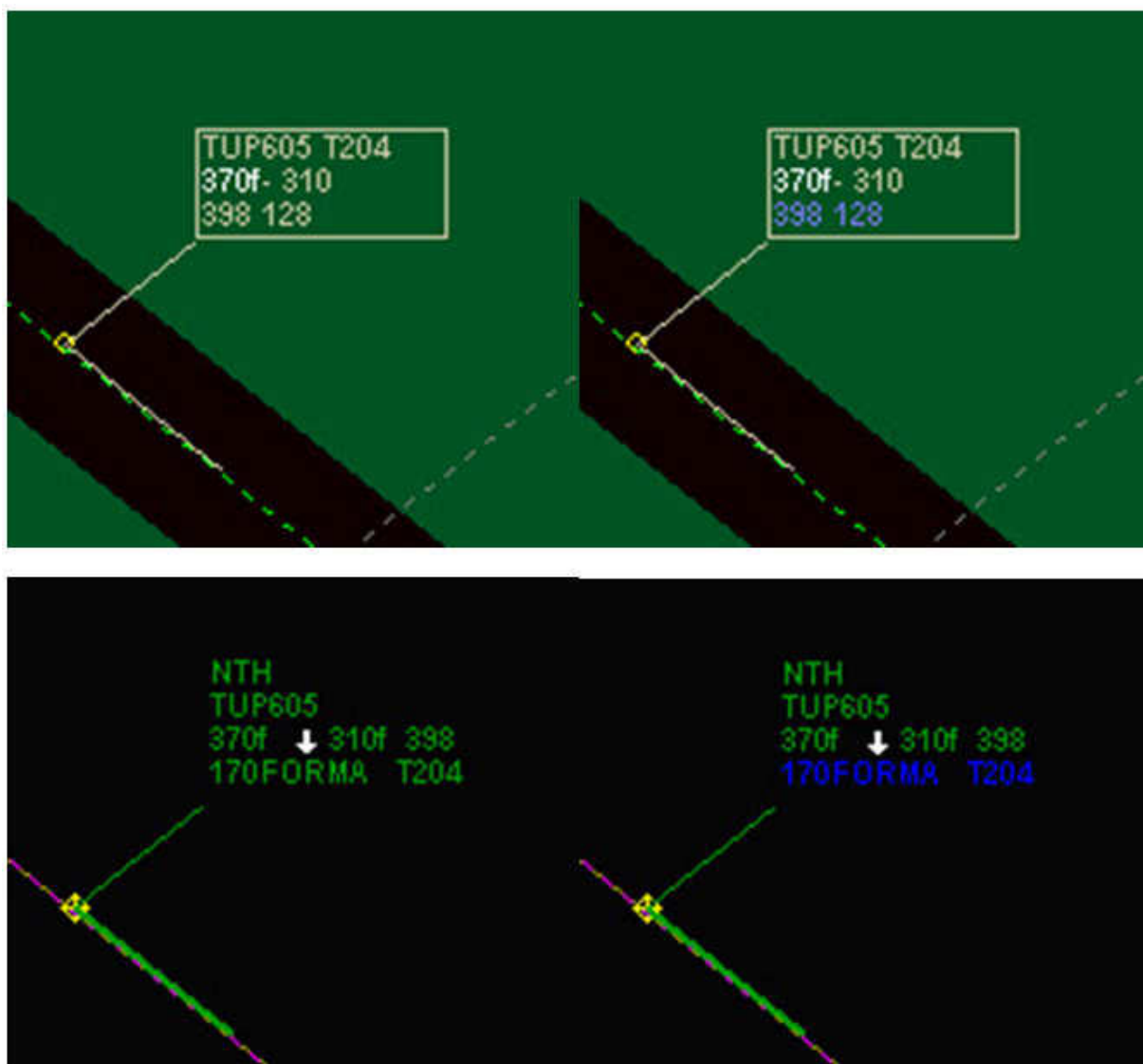
Згідно з вимогами документів Міжнародної організації цивільної авіації при виконанні маневрів, передбачених рекомендацією РА бортової системи попередження зіткнень, екіпаж повітряного судна зобов'язаний доповісти про це диспетчеру управління повітряним рухом. У моделювальному комплексі роботи авіадиспетчера ми можемо використовувати такі способи оповіщення:

- голосове повідомлення від екіпажу повітряного судна через систему радіообміну;
- індикація виконання рекомендації від бортової системи запобігання зіткнень екіпажем повітряного судна (наприклад, у формулярі супроводу повітряного судна на індикаторі повітряної обстановки);
- комбінація двох раніше описаних способів.

Ми вважаємо за доцільне використовувати комбінацію способів голосового повідомлення та індикації на екрані повітряної обстановки, оскільки така комбінація дозволить привернути увагу авіадиспетчера на початку такої події (голосове повідомлення) і нагадувати про ситуацію на всій її тривалості. У моделювальному комплексі роботи авіадиспетчера передача голосових повідомлень від екіпажів повітряних суден організована у вигляді показу повідомлення в табло радіообміну (із зазначенням позивного повітряного судна та часу видачі повідомлення) та відбувається у порядку їх надходження до черги повідомлень. Черга організована наступним чином: повідомлення вишиковуються в послідовний ланцюжок відповідно до того, коли їх відправили екіпажі повітряних суден. Якщо один пілот повітряного судна встигає поставити в чергу більше одного повідомлення, попередні повідомлення від цього повітряного судна виключаються з черги. Це робиться для скорочення черги повідомлень, що є актуальним для завдань з високою інтенсивністю польотів. Відтворення повідомлень відбувається в тому порядку, в якому вони надійшли, спочатку програватимуться ранні повідомлення. Такий алгоритм формування ланцюжка повідомлень може призвести до ситуацій, в яких аварійні або термінові повідомлення від екіпажів повітряних суден можуть бути видалені з ланцюжка повідомлень або може пройти неприпустимо великий проміжок часу до видачі авіадиспетчеру.

Як вирішення цієї проблеми ми пропонуємо ввести категорію терміновості для аварійних та термінових повідомлень. Повідомлення з

присвоєною категорією терміновості будуть розміщені на початку черги повідомлень (дотримуючись черговості за наявності у черзі повідомлень з категорією терміновості) і вони видаються першими. Таке вдосконалення моделі видачі повідомлень від екіпажів повітряних суден дозволить авіадиспетчеру отримувати важливі повідомлення з мінімальною затримкою за часом і зменшить можливість видалення системою видачі повідомлень.



ис.3.4 Формуляри без індикації та з індикацією виконання інструкцій бортових систем попередження зіткнень

Наступний варіант надання диспетчеру управління повітряним рухом інформації про повітряні судна, що виконують рекомендації бортових систем попередження зіткнень, це візуальне відображення на індикаторі повітряної

обстановки. З метою зменшення необхідних змін у існуючій моделі виведення візуальної інформації (а саме формулярів супроводу повітряних суден) ми пропонуємо змінювати колір тексту в нижньому рядку формуляра (рис. 3.4). Колір індикації на малюнку обраний умовно, в реальній ситуації колір індикації повинен бути включений у відповідні схеми кожної моделі інтерфейсу автоматизованої системи управління повітряним рухом. На рисунку 3.4 показані варіанти індикації для інтерфейсів автоматизованих систем керування повітряним рухом «Аеротехніка «Анастасія-2» та INDRA AIRCON-2000.

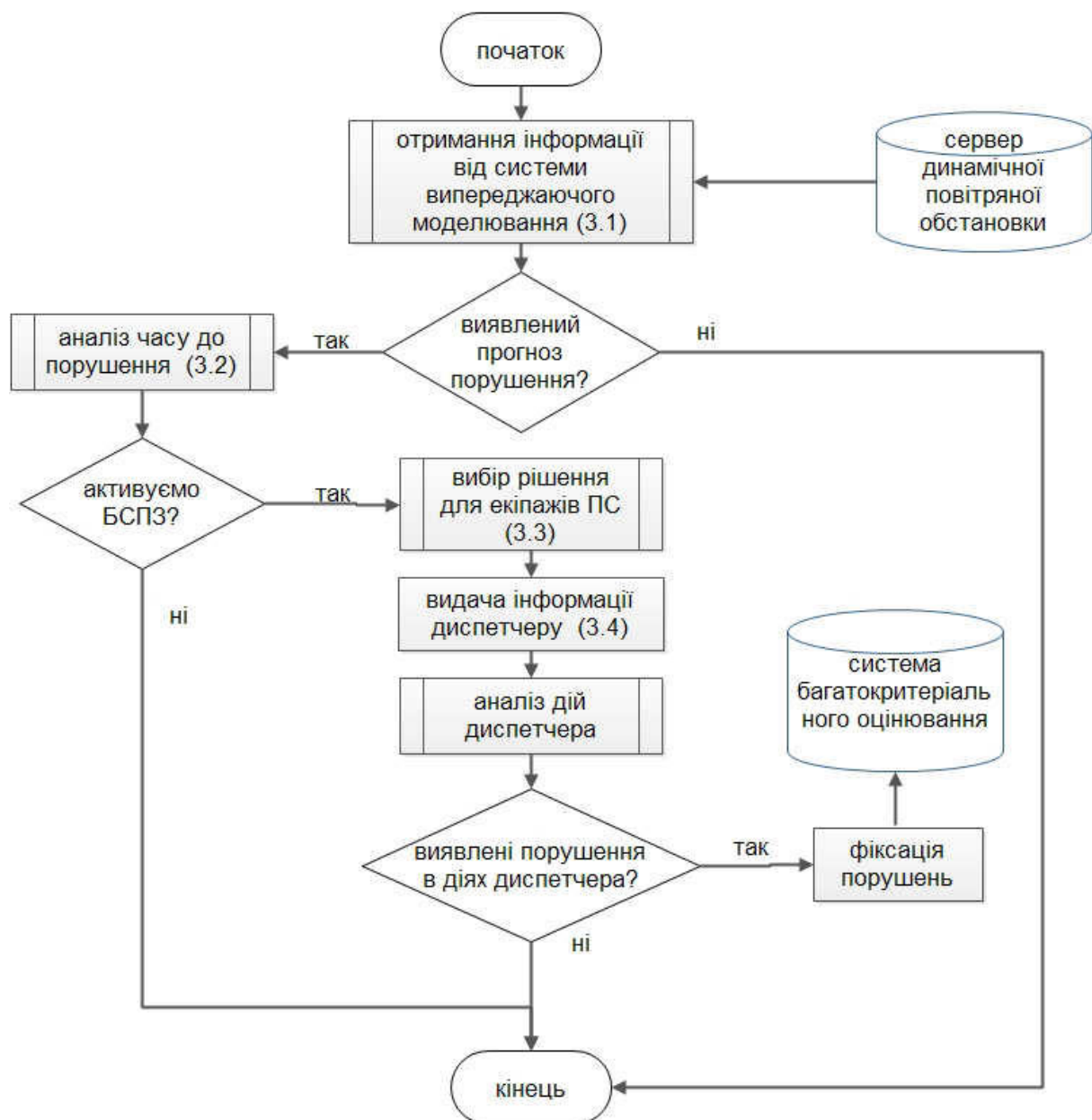


Рис.3.5 Загальний алгоритм функціонування моделі

У той момент, коли екіпаж повітряного судна починає виконання маневрів, здійснених бортовою системою попередження зіткнень, видається мовленнєве повідомлення в систему радіообміну та активується індикація у формулярі супроводу повітряного судна. Вимикається індикація після завершення маневру. Під час виконання маневру, заданого бортовою системою, екіпажі повітряних суден ігнорують вказівки авіадиспетчера. Якщо диспетчер управління повітряним рухом видає вказівки екіпажам повітряних суден, які перебувають у режимі виконання маневрів, пов'язаних із рекомендаціями бортової системи попередження зіткнень, це вважатиметься порушенням. Актуальна версія моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера вже дозволяє фіксувати помилкові команди диспетчера управління повітряним рухом. Один із способів реакції екіпажів повітряних суден на команди авіадиспетчера в цій ситуації – повідомлення про неможливість виконання команди.

Підсумком нашої роботи став алгоритм функціонування моделі бортових систем запобігання зіткненням для моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера. Загальна схема алгоритму показано малюнку 3.5. Розглянемо алгоритм докладніше:

1. Кожен момент часу виконання вправи система випереджаючого моделювання здійснює аналіз повітряної обстановки і виявляє потенційно-конфліктні ситуації. У разі виявлення потенційно-конфліктної ситуації отримуємо інформацію від системи випереджуючого моделювання із зазначенням позивних повітряних суден, що беруть участь у конфліктній ситуації (прогнозованому порушенні інтервалів ешелонування) та часу до події. Схема алгоритму цього кроку показано малюнку 3.1.

2. Аналізуємо час, що залишився на початок події (схема алгоритму малюнку 3.2). У випадку, якщо час, що залишився, менший або дорівнює значенню для активації бортових систем попередження зіткнень (35 секунд), проводимо активацію моделі бортових систем попередження зіткнень.

3. Вибираємо метод розв'язання загрози зіткнення для екіпажів повітряних суден, що у конфліктній ситуації (схема алгоритму малюнку 3.3).

4. Видаємо диспетчеру управління повітряним рухом інформацію про виконання екіпажами повітряних суден операцій, пов'язаних із рекомендаціями бортових систем попередження зіткнень. Інформація надається у вигляді мовного повідомлення (відображення тексту повідомлення на екрані та через систему мовних повідомлень), а також візуально у формулярах супроводу відповідних повітряних суден на індикаторі повітряної обстановки (рисунок 3.4).

5. Якщо під час виконання екіпажами повітряних суден рекомендацій від бортових систем попередження зіткнень авіадиспетчер видає цим повітряним суднам команди, то фіксуємо таке порушення. Порушення передаються в систему автоматичної фіксації порушень моделюючого комплексу для аналізу та оцінки.

6. Після закінчення виконання екіпажами процедур від бортових систем знімаємо всі раніше накладені обмеження та індикації.

В результаті проведених досліджень та отриманих результатів щодо нашого моделювання бортових систем попередження зіткнень у тренажерах авіадиспетчерів ми можемо запропонувати такі напрямки для подальшого аналізу цієї теми:

1. Моделювання ситуацій при умисному чи випадковому невиконанні рекомендацій бортових систем попередження зіткнень з боку екіпажів повітряних суден та аналіз впливу таких випадків на роботу авіадиспетчерів та безпеку польотів.

2. Створення алгоритмів для визначення та аналізу порушень диспетчерів управління повітряним рухом, при видачі команд екіпажам повітряних суден у ситуаціях з використанням бортових систем запобігання зіткненням. Передбачається, що не всі команди авіадиспетчера можуть впливати на виконання рекомендацій бортових систем.

3. Розробка рекомендацій для створення вправ щодо відпрацювання дій в обстановці застосування бортових систем попередження зіткнень для тренажерної підготовки авіадиспетчерів.

ВИСНОВКИ

1. Вивчено історію розвитку бортових систем попередження зіткнень а також розглянуто основні принципи роботи системи видачі інформації про повітряний рух і попередження зіткнень TCAS II та історія розвитку цих систем;

2. Розглянуто типові випадки зближення повітряних суден у повітряному просторі скорочених мінімумів вертикального ешелонування, а саме зміщення у вертикальній площині, коливання та вплив турбулентності, а також експлуатаційні наслідки цих зближень для екіпажів повітряних суден та диспетчерів служби управління повітряним рухом під час видачі повідомлень бортових систем запобігання зіткненням TCAS;

3. Вивчено систему випереджаючого моделювання, яка виконує функції прогнозування конфліктних ситуацій, та на її основі запропоновано алгоритм активації бортових систем попередження зіткнень для використання у моделюючому комплексі роботи авіадиспетчера;

4. На основі аналізу алгоритмів роботи бортових систем попередження зіткнень рівня TCAS II розроблено алгоритм вибору рішення для екіпажів повітряних суден при отриманні від бортової системи сполучення про загрозу зіткнення між повітряними суднами. Алгоритм пропонує маневри у вертикальній площині за аналогією до бортових систем TCAS II. Горизонтальні маневри не передбачені;

5. Запропоновано рекомендації до вдосконалення існуючої моделі видачі повідомлень від екіпажів повітряних суден та введенню індикації виконання екіпажами повітряних суден вказівок бортових систем попередження зіткнень для моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера. Запропоновано доповнення до системи фіксації порушень для врахування помилкових дій авіадиспетчера у ситуаціях із застосуванням бортових систем попередження зіткнень. Запропоновано напрямки для подальших досліджень з цієї тематики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Словник з міжнародної цивільної авіації / Doc 9713. 3-е вид. Монреаль: ICAO, 2007. 832 с.
2. Оцінка спостереження з використанням систем ADS-B та мультилатерації з метою забезпечення обслуговування повітряного руху та рекомендації щодо їх впровадження / Циркуляр ICAO №326-AN/188. Монреаль: ICAO, 2013. 46 с.
3. Safety Regulation Group. CAP 718. Human Factors in Aircraft Maintenance and Inspection (previously ICAO Digest No. 12) / Safety Regulation Group. TSO: 2002. 56 p.
4. Додаток 2 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію. Правила польотів. / 10-е вид. Монреаль: ICAO, 2005. 80 с.
5. Процедура польоту у сліді (ІТР) з використанням радіомовного автоматичного залежного спостереження (ADS-B) / Циркуляр ICAO №325-AN/187. Монреаль: ICAO, 2013. 40с.
6. Додаток 4 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію. Аеронавігаційні карти. / 11-е вид. Монреаль: ICAO, 2009. 176 с.
7. Додаток 11 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію. Обслуговування повітряного руху. / 13-е вид. Монреаль: ICAO, 2001. 114 с.
8. Керівництво з методики планування повітряного простору для визначення мінімумів ешелонування / Doc 9689 – AN/953. Монреаль: ICAO, 1998. 230с.
9. Єдині принципи моделювання ризику зіткнення в обґрунтування Посібника з методики планування повітряного простору для визначення мінімумів ешелонування / Циркуляр ICAO №319-AN/181. Монреаль: ICAO, 2009. 74с.
10. Керівництво із запобігання авіаційним подіям. / Doc 9422-AN/924. 1-е вид. Монреаль: ICAO, 1984. 150 с.

11. Міжнародна організація цивільної авіації. Річна доповідь ради. / Doc 9921. Монреаль: ICAO, 2010. 218 с.
12. Ron Westrum. Human factors experts beginning to focus on organizational factors in safety / Ron Westrum. // ICAO Journal. 1996. vol. 51 #8. p. 6-7.
13. Організація повітряного руху. Правила аеронавігаційного обслуговування / Doc 4444. 16-е вид. Монреаль: ICAO, 2016. 508 с.
14. Авіаційні правила України «Обслуговування повітряного руху», ЗАТВЕРДЖЕНО Наказ Державної авіаційної служби України 16 квітня 2019 року № 475, Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 04 липня 2019 р. за № 727/33698. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0727-19#n16> (дата звернення 21.10.2024).
15. Авіаційні правила України «Організація повітряного руху», Затверджено Наказ Державної авіаційної служби України 09 грудня 2021 року № 1920, Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 07 лютого 2022 р. за № 165/37501. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0165-22> (дата звернення 21.10.2024).
16. Авіаційні правила України «Правила використання повітряного простору України». затверджені наказом Державної авіаційної служби України, Міністерства оборони України 11 травня 2018 року № 430/210, Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14 вересня 2018р. за № 1056/32508. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18#Text> (дата звернення 21.10.2024).
17. Авіаційні правила України “Загальні правила польотів у повітряному просторі України”, затверджені наказом Державної авіаційної служби України, Міністерства оборони України від 06.02.2017 № 66/73, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 23.05.2017 за № 654/30522. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0654-17#Text> (дата звернення 21.10.2024).

18. Методичні рекомендації щодо дослідження ролі людського фактору під час розслідування авіаційних подій та інцидентів / Національне бюро з розслідування транспорту. URL: https://nbaai.gov.ua/wp-content/uploads/2020/09/human_factor.pdf (дата звернення 21.10.2024).
19. Вивчення людського фактора під час авіаційних подій та інцидентів / Циркуляр ICAO №240-AN/144. Монреаль: ICAO, 1993. 76 с.
20. Людський фактор під час управління повітряним рухом / Циркуляр ICAO №241. Монреаль: ICAO, 1993. 39 с.
21. Людський фактор в управлінні та організації / Циркуляр ICAO №247 - Монреаль: ICAO, 1994. 35 с.
22. Основні принципи обліку людського фактора у системах організації повітряного руху (ATM) / Doc 9758 – AN/966. Монреаль: ICAO, 2000. 149 с.
23. Збірник документації «Пропускна спроможність сектора ОПР РДЦ (ДОП)» / Державне підприємство обслуговування повітряного руху України, 22.06.2010, Київ 2010. 27 с.
24. Настанова з управління безпекою польотів (НУБП). / Doc 9859 AN/474. 3-є вид. Монреаль: ICAO, 2013. 300с.
25. Прогноз розвитку повітряного транспорту до 2025 року. / Циркуляр ICAO 313 - AT/134, Монреаль: ICAO, 2007. 165 с.
26. Керівництво щодо створення та роботи авіаційних навчальних центрів. / Doc 9401 AN/921. 1983. 103 с.
27. Людський чинник. Підготовка льотного екіпажу: оптимізація роботи екіпажу в кабіні (CRM) та льотна підготовка в умовах, наближених до реальних (LOFT): збірник матеріалів № 2. / Циркуляр ICAO 217-AN/132.– Монреаль: ICAO 1989. 73 с.
28. Харченко В.П. Аеронавігація: навч. посіб. / Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2008. 272 с.

29. Харченко В.П., Луппо О. Є., Аргунов Г. Ф., Закора С. А. Ризики зіткнення та ешелонування повітряних кораблів : навч. посіб. / Київ: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2011. 340 с.
30. Керівництво з розслідування авіаційних подій та інцидентів. Частина I. Організація та планування. / Doc 9756 AN/965. Монреаль: ICAO, 2015. 162 с.
31. ICAO Statistical Yearbook - Civil Aviation Statistics of the World 1998-1999. / Doc 9180. 2001. 74 р.
32. Додаток 13 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію. Розслідування авіаційних подій. / 11-е вид. Монреаль: ICAO, 2016. 74 с.
33. Посібник з представлення даних про авіаційні події та інциденти (Настанова ADREP) / Doc 9156 AN/900. Монреаль: ICAO, 1987. 94 с.
34. Мелтон К.Е. Помилка людини в авіації може бути навмисною, ненавмисною або відображає рівень кваліфікації / Бюлетень ICAO, Офіційне видання міжнародної організації цивільної авіації, 1988. №4(12).
35. Керівництво з навчання у сфері людського чинника / Doc 9683 AN/950. Монреаль: ICAO, 1998. 370 с.
36. Документація до сесії Асамблеї у 2013 році. Річна доповідь ради / Doc 9975 AN/950. Монреаль: ICAO, 2011. 186 с.
37. Глобальна дорожня карта безпеки польотів. Стратегічний план дій щодо безпеки польотів / ICAO, Партнерство «Безпека польотів», 2008.
38. Матеріали 11-ої аеронавігаційної конференції. / ICAO, ANConf 11-WP 2063/11/03, 2003 р.
39. Самойлов В.Д., Березніков В.П., Писаренко О.П. Автоматизація побудови тренажерів та навчальних систем: Київ: Наукова думка, 1989. 200 с.
40. Петрунін М.В. Вдосконалення методів формування вправ для тренажерної підготовки авіадиспетчерів: Пояснювальна записка дипломного проекту. ЛА НАУ, 2013.

41. Биковцев І.С., Дем'янчук В.С., Клименко В.О. Ефективність використання повітряного простору України авіаційним транспортом.: Київ: ДП ОПР України, 2008. 368 с.
42. Cardosi Kim M., Elizabeth D. Murphy. Human Factors in the Design and Evaluation of Air Traffic Control Systems: United States Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, John A. Volpe National Transportation Systems Administration, Cambridge, MA, 1995. (DOT/FAA/RD-95/3 DOT-VNTSC-FAA-95-3.)
43. Керівництво з кваліфікаційної системи підготовки та оцінки персоналу з електронних засобів для забезпечення безпеки повітряного руху / Doc 10057. Монреаль: ICAO, 2017. 208 с.
44. Isaac A., Ruitenberg B. Air Traffic Control: Human Performance Factors: Ashgate Publishing Ltd., Aldershot, Hants, UK, 1999. (ISBN 0-291-39854-5.)
45. Hopkin, V. Human Factors in Air Traffic Control, Taylor&Francis Ltd, London, UK, 1995. (ISBN 0 7484 03574.)
46. Reason, J.T. Managing the risks of organizational accidents: Ashgate Publishing Ltd. Aldershot, Hants, UK, 1997. (ISBN 1-84014-104-2 or 1-84014-105-0.
47. Людський чинник. Експлуатаційні наслідки в обладнаних передовою технікою кабінах екіпажу: збірник матеріалів № 5. / Циркуляр ICAO 234-AN/142. Монреаль: ICAO, 1992. 53 с.
48. Правила аеронавігаційного обслуговування. Підготовка персоналу. / ICAO Doc 9868. Montreal: ICAO, 2006. 90 p.
49. Бабін І.А. Експлуатаційні наслідки спрацьовування бортових систем попередження зіткнень для авіадиспетчера / «*PROSPECTS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE CONDITIONS OF THE MODERN WORLD*»: матеріали XXVII Міжнародн. наук.-практ. конф., June 12-14, 2024, Rotterdam, Netherlands, International Scientific Unity, 2024. 266 p.

50. The International Civil Aviation Organization prescribes that an Airborne Collision Avoidance System - ACAS II / Eurocontrol ACAS Guide, March 2022. 144 p.

51. Правила аеронавігаційного обслуговування «Виробництво польотів повітряних суден», Том I «Правила виробництва польотів» / Doc 8168 OPS/611. Монреаль: ICAO, 2006. 396 с.

52. Керівництво з бортової системи попередження зіткнень (БСПЗ) / Doc 9863 AN/461. Монреаль: ICAO, 2012. 254 с.