

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АНС
д-р техн. наук, проф.

_____ Ларін В.Ю.

« ____ » _____ 2022р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»
за освітньо-професійною програмою
«ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ»

Тема:

**Методика оцінювання ризику втрати норм
ешелонування**

Виконавець:

Іващук Олег Романович

Керівник:

Остроумов Іван Вікторович

Керівники спеціального розділу

д.т.н. проф. Остроумов Іван Вікторович

д.т.н. проф. Шмельова Тетяна Федорівна

Нормоконтролер

Аргунов Геннадій Федорович

Київ-2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Обслуговування повітряного руху»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АНС

_____ В.Ю.

Ларін

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Іващук Олег Романович

1. *Тема дипломної роботи:* **«Алгоритм оцінювання ризику втрати норм ешелонування літаків»** затверджена наказом ректора від "20" вересня 2022 р. № 1594/ст
2. *Термін виконання роботи:* з 05.09.2022 по 30.11.2022.
3. *Вихідні дані до роботи:*.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз структури повітряного простору; Аналіз авіатранспортної системи України; Оцінювання ризиків втрати норм ешелонування; Охорона навколишнього середовища; Охорона праці; Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності; оцінювання ризику втрати норм ешелонування за Методом експертних оцінок.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: контурні графіки результатів даних, таблиці, формули.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін Виконання	Відмітка про виконання
1.	Підготовка та написання 1 розділу «Аналіз структури повітряного простору»	05.09.22-20.09.22	виконано
2.	Підготовка та написання 2 розділу «Аналіз авіатранспортної системи України»	01.10.22-14.10.22	виконано
3.	Підготовка та написання 3 розділу «Оцінювання ризиків втрати норм ешелонування»	15.10.22-28.10.22	виконано
4.	Підготовка та написання 4 розділу «Спеціальний розділ»	29.10.22-10.11.22	виконано
5.	Підготовка та написання 5 розділу «Охорона навколишнього середовища»	11.11.22-16.11.22	виконано
6.	Підготовка та написання 6 розділу «Охорона праці»	17.11.22-22.11.22	виконано
7.	Підготовка презентації та доповіді	23.11.22-30.11.22	виконано

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності	д.т.н. проф. Остроумов Іван Вікторович	24.10.22	9.11.22
4.2. Оцінювання ризику втрати норм ешелонування за методом експертних оцінок	д.т.н. проф. Шмельова Тетяна Федорівна	24.10.22	9.11.22

8. Дата видачі завдання: «_05_» _вересня_ 2022 р.

Керівник дипломної роботи _____ Остроумов Іван Вікторович

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Іващук Олег Романович

(підпис студента)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Алгоритм оцінювання ризику втрати норм ешелонування літаків »: 94 сторінок, 28 малюнка, 7 таблиць ,52 використаних джерел, 1 додаток.

Об'єкт розробки – процес відхилення літального апарату від запланованої траєкторії руху.

Предмет розробки – ризик втрати норм горизонтального ешелонування літального апарату цивільної авіації під час польоту на етапі ешелону.

Мета роботи – підвищення точності визначення ризику втрати норм ешелонування літального апарату цивільної авіації.

Методи дослідження – комп'ютерне моделювання з використанням даних реального повітряного руху отриманих за концепцією автоматичного залежного спостереження.

Безпека є одним із ключових аспектів авіації, один із факторів що підтримує цей параметр на необхідному рівні є ешелонування. При порушенні норм ешелонування зростає ризик зіткнення, що є вкрай небажаним явищем адже несе за собою чисельні людські жертви ,відповідно оцінювання ризику втрати норм ешелонування є важливим. Для виконання оцінювання треба отримати дані стосовно повітряного трафіку в досліджуваному сегменті простору і дані стосовно локації об'єктів аеронавігаційної мережі. В подальшому співставлення отриманих баз даних дозволить оцінити відхилення повітряного корабля від зайнятого маршруту. Використовуючи математичні моделі, зокрема модель ризику зіткнення Рейха, і функцій для обробки даних ми отримаємо значення ризику зіткнення літаків в поперечній площині.

ЦИВІЛЬНА АВІАЦІЯ, ПОВІТРЯНИЙ КОРАБЕЛЬ, РИЗИК, НОРМИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЕШЕЛОНУВАННЯ, БЕЗПЕКА, ПОВІТРЯНИХ РУХ

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ	12
1.1. Організація повітряного простору	12
1.2. Класифікація повітряного простору	13
1.3. Норми ешелонування літальних апаратів	15
Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ.....	25
2.1. Структура повітряного простору	25
2.2. Мережа повітряних трас	27
2.3. Інфраструктура аеропортів	28
2.4. Наземна аеронавігаційна інфраструктура України	29
Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3 ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВТРАТИ НОРМ ЕШЕЛОНУВАННЯ	35
3.1. Концепція ризику	35
3.2. Моделі користувачів повітряного руху при оцінюванні ризиків	35
3.3. Концепція навігації заснованої на характеристиках	38
3.4. Модель оцінювання ризику	40
3.5. Результати комп'ютерного моделювання ризиків.....	43
Висновки до розділу 3	48
РОЗДІЛ 4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	49
4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності ...	49
4.2. Оцінювання ризику втрати норм ешелонування за методом експертних оцінок	49
Висновки до розділу 4	67
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	68
5.1. Основні джерела забруднення навколишнього середовища, при експлуатації комп'ютерів.....	68
5.2. Електромагнітні поля	70
5.3. Дія на організм.....	72
Висновки до розділу 5	74
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	75
6.1. Перелік небезпечних та шкідливих факторів, що виникають під час експлуатації комп'ютера	75
6.2. Розробка технічних заходів, що знижують негативний вплив на технічний персонал.....	79
6.3. Заходи забезпечення пожежної і вибухової безпеки	81
Висновки до розділу 6	83
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	85
ДОДАТОК А	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РЛС - Радіолокаційна система

УПР - Управління повітряним рухом

ADS-B - Automatic Dependant Surveillance – Broadcast

TMA - Terminal Maneuverings Area

ПК – Повітряне корабель

CRM – Collision risk models

ICAO – International Civil Aviation Organization

ПП – повітряний простір

ОПР – організація повітряного руху

GNSS – Global Navigation Satellite System

NM – nautical miles

RNAV – area navigation

RNP – Required Navigation Performance

PBN – Performance based navigation

PDF – Probability Density Functions

TLS – Target Level of Safety

CRM – Collision risk models

VOR – VHF Omnidirectional Range

DME – Distance-Measuring Equipment

NDB – Non-Directional Beacon

CNS – Communications, Navigation and Surveillance

FL – Flight Level

ACAS – Airborne Collision Avoidance System

ВСТУП

На сьогоднішній день авіація є важливим елементом світової економіки. Так в 2018 році авіація перевезла близько 4 мільярдів 322 мільйона пасажирів, вантажів на 58 мільйона тон [1]. Тому ,що року кількість користувачів повітряного простору у світі збільшується. Проте обсяг повітряного простору залишається не змінний , що призводить до збільшення ризику зіткнення літаків між собою [2][3]. За рахунок розвитку цифрових автоматичних систем управління повітряним рухом (УПР) і вдосконалення бортового обладнання повітряний корабель(ПК) вдалося зменшити кількість випадків небезпечного зближення літаків у повітрі і зіткнень самих літаків. За період між 2014-2018 роком на міжнародному рівні стався лише одне зіткнення літаків в повітрі. Проте це не зменшує значущість цих інцидентів адже через участь що най менше двох літаків кількість жертв є надзвичайно великою [6]. Звісно існують системи які призначені підвищити рівень авіаційної безпеки (ACAS і орган УПР) [4-5], але їх задача полягає в недопущенні самого зіткнення .Вони не дають змоги оцінити небезпечність самого повітряного простору ,що не дозволяє робити прогнози небезпечних ситуацій, а також для виявлення потенційних змін у безпеці повітряного простору. Крім того існують фактори які можуть повипливати на дані системи в наслідок чого їх ефективність може бути значно зменшена ,що призведе до зростання рівня загрози. Відповідно є необхідність у створенні системи ,яка перш за все зможе оцінити ризик небезпечного зіткнення літаків на маршруті . Основною метою досліджень, була розробка моделі оцінки ризику зіткнення в повітрі на основі статистичного аналізу попередньо записаних даних про повітряний рух у визначеному обсязі повітряного простору. Ми пропонуємо інтегрований підхід до оцінки ефективності повітряного простору на основі категорії ризику зіткнення в повітрі. Отриманий ризик зіткнення повітря у бічній площині є важливою частиною оцінки загальної безпеки повітряного простору.

Оскільки діюча система повітряного руху функціонує на основі точного підтримання запланованих траєкторій руху всіх ПК в контрольованому повітряному просторі. Траєкторія руху літака базується на використанні затверджених маршрутах польоту та не зайнятих рівнях польоту [2, 3]. Головною складовою авіаційної безпеки є точне дотримання вільного маршруту і рівня польоту. Тому у разі відхилення літака від заздалегідь запланованого маршруту може розглядатися як не безпечно, через високий ризик зіткнення з іншим літаком на паралельному маршруті.

Звісно щоб не дати аварії статися існують різні системи. Так наприклад існує система бортового запобігання зіткненням (ACAS) і диспетчерська служба контролю. Таким чином, ризик зіткнення в повітрі не можна оцінити за частотою виникнення цієї події. Тому на практиці зазвичай використовується імовірнісний метод оцінки ризику.

Імовірнісні методи оцінки ризику, засновані на оцінці ймовірності принаймні двох літаків, розташованих на відстані ближчій за їх геометричні розміри. Значення ризику можна отримати за допомогою комп'ютерного моделювання повітряного руху на основі методу Монте-Карло [7]. Моделювання може враховувати внесок різних факторів, які призводять до конкретних причин, наприклад: умови повітряного руху, несправність бортового обладнання літака, навігаційна інфраструктура [8], спостереження, людський фактор (щодо диспетчера повітряного руху та пілотів) [9], та погодні умови.

Байсова мережа та теорія інформації можуть бути використані для оцінки виникнення зіткнень у повітрі на основі передвісників аварій. У цьому випадку вплив кожного фактору розглядається як дерево розломів, яке може призвести до виникнення в повітрі [10]. Крім того, багато підходів базуються на моделі дерева розломів, яка враховує вплив різних факторів на виникнення зіткнення в повітрі [12].

Інші дослідження зосереджені на моделюванні ризику зіткнення на основі концепції вільних маршрутів (Free Routs) [11]. У цьому випадку кожен користувач повітряного простору може використовувати будь-яку можливу траєкторію в межах заздалегідь визначеного простору. Припускається, що концепція простору вільних маршрутів допомагає спростити комп'ютерне моделювання через відсутність мережі маршрутів, графік повітряного руху та базу даних плану польотів.

Деякі дослідження базуються на тому, що два літаки, які знаходяться на одному рівні і летять в одному напрямку, мають перекриття або тенденцію до накладання своїх поздовжніх вимірів від крихітного до потенційно небезпечного моменту, від початку і до кінця накладання. Оскільки відбулося перекриття бічних вимірювань, це означає, що існує ймовірність зіткнення літаків під час польоту. Але, це дослідження не враховувало бар'єри безпеки, які повинні запобігати подібним ситуаціям. Такі бар'єри включають ACAS та диспетчери повітряного руху (ATC – Air Traffic Control).

Ймовірність відмови ACAS досить мала, але вона існує і може бути викликана наступними факторами:

- Поломка передавача, унеможливорює передачу будь-яких сигналів в тому числі сигналу TCAS.
- Порушення або дублювання режиму S, може вилитися в непередбачену поведінку системи.
- Поломка або збоїв в режимі C призведе до неточної(неповної) роботи TCAS.

ATC отримує дані із систем спостереження і на їх основі робить висновки про повітряну обстановку та приймає рішення щодо вирішення конфліктів. Однак у людських технічних стосунках слабким місцем є сама людина, оскільки вона має помилки. Людина часто робить помилки в моменти найбільшого і найменшого стресу. Тому конфліктна ситуація, що виникла через помилку ATC, найімовірніша, коли навантаження на неї найбільше або найменше.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

1.1. Організація повітряного простору

Літаки літають у повітряному просторі це зона від земної чи водної поверхні до висоти 100 км. Над водною територією приналежність повітряного простору тій чи іншій країні визначається 12 морськими милями від берегової лінії країни. Все що знаходиться далі від берега є міжнародним повітряним простором проте для забезпечення контролю і безпеки та чи інша країна за міжнародним договором може взяти відповідальність за безпеку польотів над цим міжнародним повітряним простором.

Взагалі повітряний простір можна розділити на:

- Контрольований повітряний простір це простір де орган УПР надає послуги диспетчерського обслуговування.
- Неконтрольований повітряний простір це простір де послуги диспетчерського обслуговування не надаються.

Крім того в середині контрольованого повітряного простору виділяють райони і зони для кращої взаємодії і управління повітряним рухом . Так є наступні зони які наведені на рис. 1.1.

Щодо районів польотної інформації то бічні межі області в якій вони діють повинні окреслюватися так ,щоб повітряні маршрути починалися і закінчувалися в середині або на межі області. FIR(Flight Information Region) стосовно горизонтальних меж то їх нема якщо в повітряному просторі відсутній верхній район польотної інформації. Якщо UIR присутній то його нижня межа стає верхньою межею для FIR і вона повинна збігатися з ешелонами польоту по правилам візуальних польотів(ПВП) відповідно до таблиць ешелонів ІКАО [37].



Рисунок 1.1 – Основні елементи структури повітряного простору

Стосовно диспетчерських зон а також вузловий диспетчерський район повинні встановлюватися таким чином щоб можна було розмістити там повністю або частково траєкторії польотів по приладам (ППП) для яких бажано забезпечити сервісами служби керування повітряним рухом, беручи до уваги можливості навігаційних засобів, які зазвичай використовуються в цій місцевості.

1.2. Класифікація повітряного простору

Існує класифікація повітряного простору на класи від А до G . В залежності від класу який присвоїли повітряному простору залежить які обмеження по швидкості, радіозв'язку, правилам польотів і видів обслуговування ОПР діють в даному просторі.

Згідно з міжнародними документами [37] класифікація повітряного простору є наступна :

Клас А: Дозволені польоти тільки по ППП всім літакам надається ешелонування і диспетчерське обслуговування. Обмежень по швидкості нема, двосторонній радіообмін і необхідний диспетчерський дозвіл.

Клас В: Дозволені польоти по ППП і ПВП всім літакам надається ешелонування і диспетчерське обслуговування. Обмежень по швидкості нема, двосторонній радіообмін і необхідний диспетчерський дозвіл.

Клас С: Дозволені польоти по ППП і ПВП. Для літаків ППП надається ешелонування від літаків по ППП і ПВП, а також диспетчерське обслуговування. Обмежень по швидкості для ППП немає. Для літаків по ПВП надається диспетчерське обслуговування для ешелонування від літаків по ППП і польотна інформація щодо трафіку літаків по ПВП. Є обмеження швидкості до 250 вузлів(450 км/год) інструментальної швидкості нижче висоти 1000 футів над рівнем моря для польотів по ПВП. Двосторонній радіозв'язок і необхідність диспетчерського дозволу для всіх літаків.

Клас D: Дозволені польоти по ППП і ПВП. Для літаків по ППП надається диспетчерське обслуговування щодо ешелонування від літаків по ППП і польотна інформація щодо трафіку літаків по ПВП. Для літаків по ПВП нема ешелонування але є польотна інформація щодо ППП і ПВП . Є обмеження по швидкості до 250 вузлів(450 км/год) інструментальної швидкості нижче висоти 1000 футів над рівнем моря для польотів по ПВП і ППП. Двосторонній радіозв'язок і необхідність диспетчерського дозволу для всіх літаків.

Клас Е: Дозволені польоти по ППП і ПВП. Для літаків по ППП надається диспетчерське обслуговування щодо ешелонування від літаків по ППП і польотна інформація щодо трафіку якщо це доцільно. Для літаків по ПВП нема ешелонування але є польотна інформація щодо трафіку якщо це доцільно. Є обмеження по швидкості до 250 вузлів(460 км/год) інструментальної швидкості нижче висоти 1000 футів над рівнем моря для польотів по ПВП і ППП. Для польотів по ППП обов'язковий двосторонній зв'язок і необхідність

диспетчерського дозволу. Для польотів по ПВП не потрібний двосторонній зв'язок і диспетчерський дозвіл.

Клас F: Дозволені польоти по ППП і ПВП. Для літаків по ППП ешелонування не надається але надається інформація про рух якщо є доцільна. Для ПВП ешелонування не надається але є польотно інформаційне обслуговування. Є обмеження по швидкості до 250 вузлів(460 км/год) інструментальної швидкості нижче висоти 1000 футів над рівнем моря для польотів по ПВП і ППП. Для польотів по ПВП і ППП не потрібний двосторонній зв'язок і диспетчерський дозвіл.

Клас G: Дозволені польоти по ППП і ПВП. Ешелонування не надається але усім літкам надається польотно інформаційне обслуговування. Є обмеження по швидкості до 250 вузлів(460 км/год) інструментальної швидкості нижче висоти 1000 футів над рівнем моря для польотів по ПВП і ППП. Для ППП необхідний двосторонній зв'язок диспетчерського дозволу не треба. Для польотів по ПВП не потрібний двосторонній зв'язок і диспетчерський дозвіл [1].

1.3. Норми ешелонування літальних апаратів

Зі зростанням об'ємів повітряного трафіку зростає ризик зіткнення між літаками ,тому для не допущення цього необхідно створити певний орган управління який буде відповідати за цю функцію – ним став орган диспетчерського управління.

На авіадиспетчера покладаються три основні задачі це:

- Недопущення зіткнення між літаком і літаком а також перешкодою в повітрі;
- Недопущення зіткнення між літаком і літаком а також перешкодою на площі маневрування;
- Забезпечити ефективність ,економічність, регулярність і безпеку повітряного руху.

Для виконання поставлених задач орган диспетчерського управління має такий інструмент управління як ешелонування літаків між собою відповідно до

норм і правил міжнародного законодавства [2]. Існує три типи ешелонування : повздовжнє, вертикальне і бічне.

Вертикальне ешелонування здійснюється за рахунок призначення літакам ,що виконують політ, різних ешелонів або абсолютних висот. Мінімум вертикального ешелонування складає 0,3 км нижче 290 ешелону польоту і 0,6 км на цьому ешелоні або вище ,якщо в повітряному просторі нема зони RVSM(Reduced Vertical Separation Minimal) ,в іншому випадку 0,3 км нижче 410 ешелону і 0,6 км на ньому або вище. Літаку може бути виданий дозвіл на заняття ешелону польоту який раніше займав інший літак у випадку якщо попередній повітряний корабель доклав про його звільнення і немає сильної турбулентності, літак що летить вище не виконує набір висоти в крейсерському режимі і різниця в льотно-технічних характеристиках повітряних кораблів такі, що можливо зменшення мінімуму ешелонування.

Горизонтальне ешелонування включає в себе бічне і повздовжнє. Бічне ешелонування базується на тому щоб відстань між літаками на маршрутах була не менше відстані встановленої навігаційної неточності плюс захисний резерв. Бічне ешелонування можна забезпечувати різними способами. Один з них є орієнтація по одним і тим самим або різним географічним точкам, який означає що диспетчер орієнтуючись на сповіщення екіпажів літаків про знаходження над різними географічними точками з підтвердженням цього візуальними або орієнтуванням по навігаційним засобам. Наступним засобом є використання різних засобів аеронавігації ,перш за все мова піде про використання таких наземних засобів як: NDB(Non-Directional Beacon), VOR(VHF Omnidirectional Range) або GNSS(Global Navigation Satellite System) на перетинаючись лініях шляху або маршрутах УПР. Бокове ешелонування літаків в цьому випадку забезпечується, якщо [2]:

Для VOR і NDB умови практично однакові, єдина різниця це те що для VORкутова різниця буде складати 15 градусів а для NDB 30 градусів , такий параметр як відстань від радіоточки до літака буде 15 NM (рис.1.2).

Для GNSS/GNSS: базове ешелонування буде наступним, різниця між лініями шляху заміряна в спільній точці між 15-135 градусами, відстань від спільної точки, якщо літаки знаходяться між ешелонами 10-190 15 NM, а якщо між 200-600 ешелонам 23 NM.

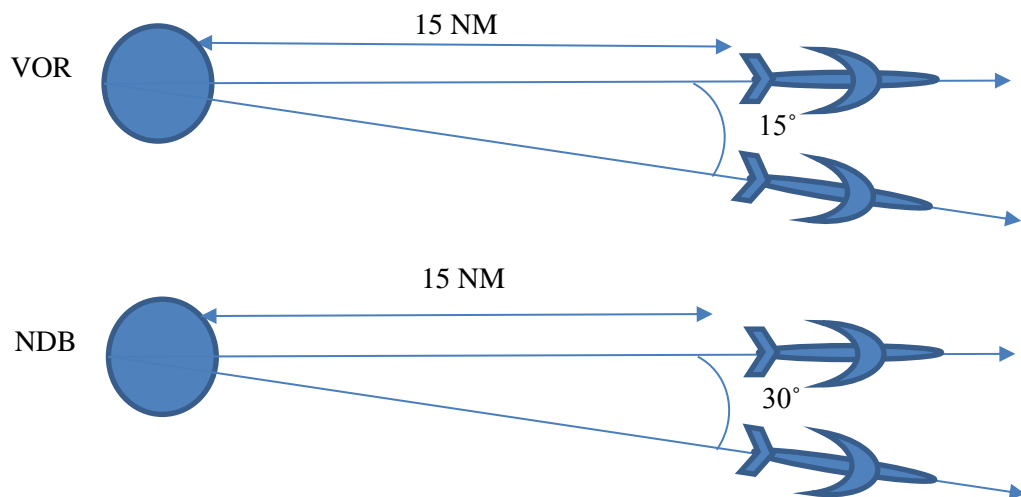


Рисунок 1.2 – Бокове ешелонування літаків у випадку застосування VOR і NDB

Для VOR/GNSS: якщо один літак використовує VOR і приближається чи віддаляється від точки, а другий на GNSS то умови ешелонування такі самі як для GNSS/GNSS.

Наступний спосіб – використання різних засобів і методів навігації. Таким чином, бокове ешелонування ПК з використанням різних навігаційних засобів здійснюється шляхом недопущення перекриття захисних зон повітряного простору, встановлених для відповідного навігаційного засобу.

Бокове ешелонування літаків при підльоті чи вильоті з аеропортів використовуючи SID/STAR ,встановлюється [2] :

- Коли відстань між лініями шляху, які використовують зональну навігацію з похибкою в 1 NM , RNP APCH або RNP AR APCH не менше 13 км.
- Коли відстань між лініями шляху, які використовують RNP 1, RNP APCH або RNP AR APCH не менше 9,3 км.

- І звісно у випадку коли захисні зони ліній шляху не пересікаються а також повністю взяті до уваги експлуатаційні погрішності, неточності обладнання а також нюанси рельєфу місцевості і її урбаністику.

У межах конкретного повітряного простору діє певний RNP, бічні ешелони між літаками розраховуються за рахунок того, що вони літають по осьовій лінії на паралельних або на маршрутах які не перетинаються. Якщо RNP не визначено, то в таких ситуаціях бічне ешелонування забезпечується наступним чином:

- Для мінімального розділення відстані між лініями шляху 50 NM треба застосовувати зональну навігацію типу : RNAV 10, RNP 4 або RNP 2.

- Для мінімальної відстані 23 NM треба застосовувати зональну навігацію типу : RNP 4 або RNP 2. В цьому варіанті контроль здійснюється за допомогою ADS-C яка передає повідомлення при бічному відхиленні 5 NM.

- Для відстані 15 NM треба застосовувати RNP 2 або обладнанням GNSS. Обов'язково має бути задіяний зв'язок «диспетчер-пілот».

- Для відстані 7 NM, яка застосовується тоді коли один з літаків набирає висоту або знижується з перетином ешелону іншого літака, застосовувати навігаційну характеристику RNP 2 або обладнанням GNSS. Обов'язково має бути задіяний прямий безперервний зв'язок «диспетчер-пілот».

- Для відстані 20 NM, яка застосовується тоді коли один з літаків виконує маневр по набору висоту або зниження , причому з перетином ешелону іншого літака ,проте не задіяний прямий безперервний зв'язок «диспетчер-пілот», необхідно застосовувати навігаційну характеристику RNP 2 або обладнання GNSS.

Якщо лінії шляху перетинаються то в такому випадку бокове ешелонування повітряних кораблів що виконують по ним політ встановлюється у відповідності до наступних положень:

Бокове ешелонування літака забезпечується доки він не досягне точки бокового ешелонування розташованого на встановленій відстані яка вимірюється перпендикулярно до маршруту іншого літака з числом лінією шляхам

є перетинання. Це стосується як випадків коли маршрути сходяться так і тоді коли вони розходяться.

Зазвичай такий тип ешелонування застосовуються для ліній шляху ,які перетинаються не залежно від кута перетину, єдине що для точок бічного ешелонування необхідно використати наступні значення: для навігації RNAV 10 ешелонування має бути 50 NM, для навігації RNP 4 ешелонування 23 NM, для навігації RNP 2 ешелонування 15 NM.

Ще одним типом повздовжню ешелонування є таке що засновано на часовому інтервалі між літаками ,який ні при яких обставинах не був менше розрахункового мінімуму. Повздовжню ешелонування літаків, що прямують один за одним або лінії шляху яких розходяться може забезпечуватися різними методами один з них це управління швидкостями в тому числі зв'язаними з числом Маха.

Мінімуми повздовжнього ешелонування засновані на часі. У випадку якщо літаки летять на одному ешелоні і рухаються по одній і тій лінії шляху(лінії шляху одного напрямку кутова різниця між якими менше 45 але більше 315 градусів) ешелонування може бути різним , приклад наведено нижче на рис 1.3.

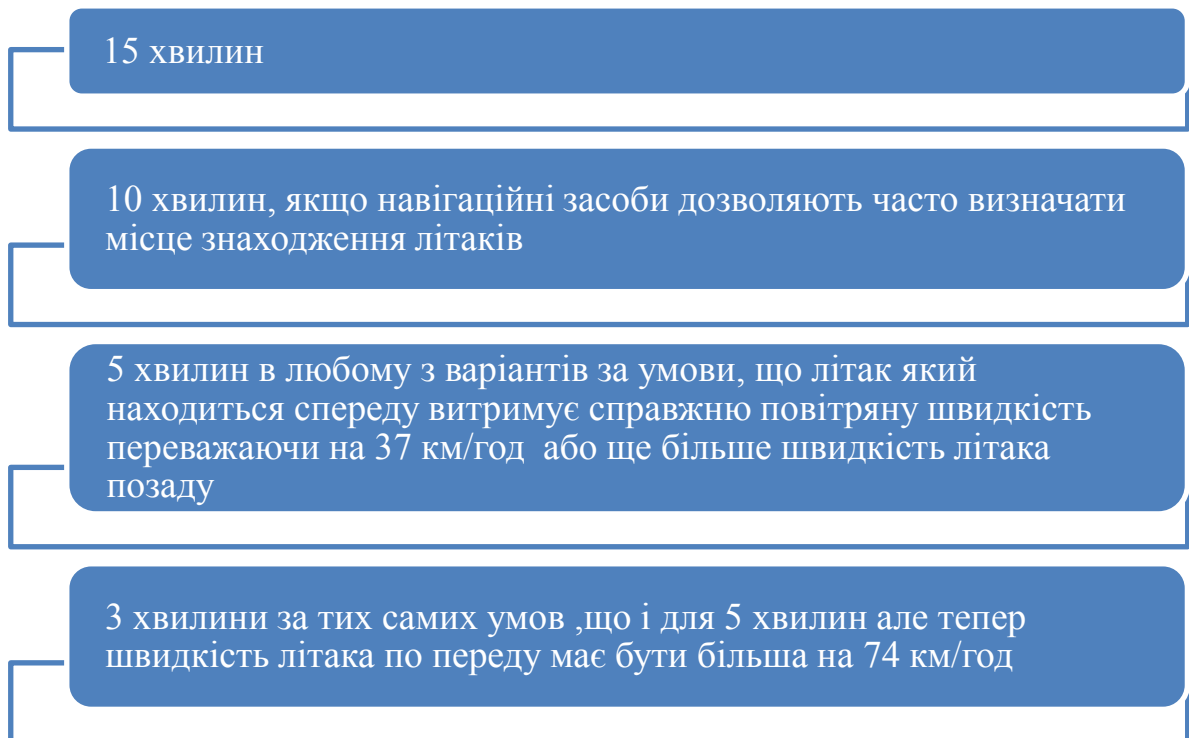


Рисунок 1.3 – Мінімуми повздовжнього ешелонування засновані на часі

Якщо повітряні літаки летять на пересікаючись лініях шляху, то мінімум повздовжнього ешелонування буде 15 хвилин у місці перетину ліній шляху або 10 хвилин якщо засоби навігації дозволяють з встановленою частотою визначати місцеположення і швидкість літака.

У випадку якщо один з літаків набирає чи знижує висоту по тій самій лінії шляху, що і інший літак повздовжнє ешелонування має бути: не менше 15 хвилин в продовж виконання всього маневру від його початку до закінчення і якщо не можливо забезпечити вертикального ешелонування, 10 хвилин у випадку що наземні навігаційні засоби або супутникової навігації ,які дозволяють достатньо часто визначати місце положення і швидкості для того щоб диспетчер міг контролювати ситуацію. Також застосовується ешелонування в 5 хвилин при умові що початок маневру починається в межах десяти хвилин після донесення про проліт спільної точки, яка визначається наземними засобами.

Якщо лінії шляху пересікаються то ешелонування буде 15 хвилин при умовах що не можливо забезпечити вертикального ешелонування, чи 10 хвилин за умови що нема ешелонування і є наземні навігаційні засоби ,що знову повторюючись до вже вище наведеного способу ешелонування визначають місцеположення і швидкість.

Повітряні кораблі які летять на протилежних напрямках і нема бокового ешелонування забезпечується вертикальне на протязі 10 хвилин до і після розрахункового часу коли літаки повинні були пройти один біля одного.

Є повздовжнє ешелонування яке засноване на відстані так само як вертикальне і бокове. В цьому випадку повздовжнє ешелонування засноване на витримуванні відстані між повітряними літаками яка визначається за допомогою DME і інших навігаційних характеристик.

Літаки що знаходяться на одному крейсерському рівні і кутова різниця між їхніми напрямками менше 45 але більше 315 градусів ешелонуються один від одного на наступну відстань:

- 20 NM ;

- 10 NM при виконанні будь-якої наступної умови що перший літак має на 20 км/год більшу істинну швидкість ніж попередній.

Вище згадані відстані застосовуються при виконанні наступної умови ,а саме ,що кожний ПК використовує або тільки одну спільну станцію DME, що розташована на лінії шляху, або одну станцію DME і спільну точку для випадку коли один літак використовує DME а інший GNSS, і крайній варіант це тоді коли обидва літаки використовують одну і ту ж саму точку шляху при польоті по GNSS обидвома ПК.

Для літаків що набирають висоту або знижуються і знаходяться на одній лінії шляху, за відсутності вертикального ешелонування ,мінімум повздовжнього ешелонування складає 19 км при умовах, що кожен літак використовує станцію DME якщо обидва літака використовують DME, станцію DME і спільну точку за умови що один літак використовує DME а інший GNSS або одну і ту саму точку шляху якщо обидва літака використовують GNSS; один літак повинен витримувати визначний ешелон в момент відсутності вертикального ешелонування.

Ешелонування визначається одночасним надходженням даних про DME або GNSS від повітряного корабля.

У випадку якщо літаки на лініях шляху що мають протилежні напрямки то якщо вони використовують станцію DME яка розташована на маршруті, або якщо вони мають зміщену чи спільну точку шляху, тоді можна дозволити одному з літаків набір висоти або зниженню до ешелону іншого повітряного корабля за умови, що вони розійшлися і знаходяться на відстані 10 NM один від одного.

Існує також мінімум повздовжнього ешелонування який використовує число Маха і базується на часі. Звісно коли ми говоримо про число Маха ми в першу чергу думаємо про турбореактивні літаки , такі ПК при переході на таку швидкість можуть її змінити тільки з дозволу органу УПР, але звісно в екстреній ситуації можна тимчасово змінити і без дозволу проте після стабілізації ситуації або по можливості, треба повідомити про це диспетчера, задля того щоб він міг приймати подальші рішення володіючи повнотою інформації. Також треба

відмітити що у випадку коли літак не може набрати встановлену швидкість Маха, пілот повинне проінформувати про це орган УПР.

Вище згаданий метод ешелонування з застосуванням швидкостей Маха просто так використати не вийде, для цього необхідно виконання наступних умов:

- ПК повинні бути під контролем одного диспетчерського пункту і їх маршрути розходяться ;
- Між літаками є часовий інтервал який гарантується тим що при прольоті конкретного спільного пункту відправляють донесення, після прольоту цього пункту літаки летять на одному маршруті або по маршрутам що розходяться.

Мінімуми ешелонування для цього методу наведені на рис. 1.4.

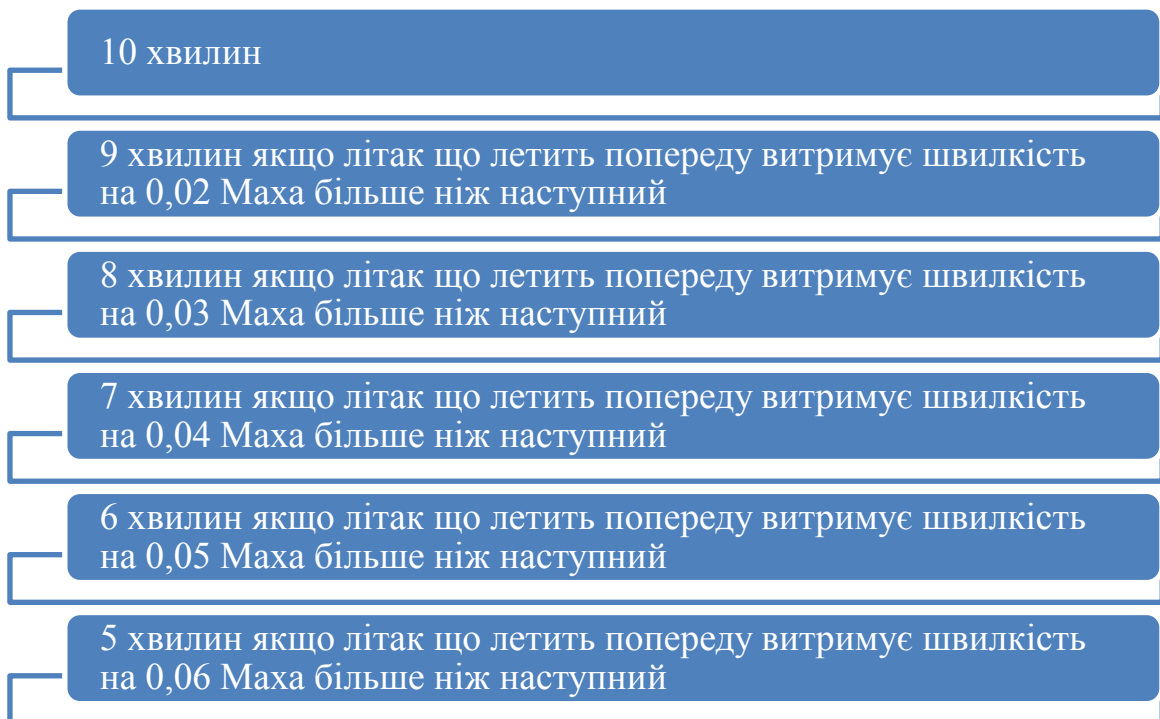


Рисунок 1.4 – Мінімуми ешелонування засновані на часі і методі Маха

Іноді ситуація складається так що використовувати метод Маха з основою на часі не дуже зручно, для такого випадку передбачено можливість заміни ешелонування методу Маха з часовим інтервалом в 10 хв на ешелонування засноване на відстані а саме 80 NM звісно лінія шляху повинна бути одна, а також виконуватися наступні умови:

- Має бути спільна точка щоб літаки могли повідомляти відстань від неї або до неї;
- якщо літаки виконують набір висоти або зниження а інший літак повинен залишатися на своєму ешелон в момент коли вертикального ешелонування немає.

Взагалі цей метод передбачає отримання одночасно або протягом короткого проміжку часу повідомлень стосовно відстані від певного об'єкта .

Висновки до розділу 1

В даному розділі розглянуто основні елементи і класифікацію повітряного простору а також розібрали мінімуми ешелонування основані на відстані , часі і числі Маха згідно з документацією ІСАО. Даний розділ дозволяє зрозуміти як побудований повітряний простір та як диспетчер повітряного руху може виконувати своє завдання по забезпеченню безпеки авіаційного руху. Крім того наведено все те що прописано в міжнародних документах тому тепер можна перейти до аналізу повітряного простору України .

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

2.1. Структура повітряного простору

Перш за все треба відмітити що Україна як правова держава і суб'єкт міжнародного права ратифікувала ряд міжнародних авіаційних договорів і є членом ключових міжнародних авіаційних організацій таких як ІСАО (International Civil Aviation Organization), ІАТА (International Air Transport Association) відповідно при розробці українського законодавства в авіаційній сфері ми дотримуємося їх вимог і стандартів. Повітряний простір над територією України а також прибережних водах і над відкритим морем де відповідальність за забезпечення ОПР покладено на Україну є повітряним простором нашої держави. Оскільки ми являємося членами Євроконтроль відповідно до українського законодавства наш повітряний простір є складовою частиною повітряного простору ЕСАС (European Civil Aviation Conference).

Сама структура виглядає наступним чином є верхній(ешелон 275 і вище) та нижній (нижче від ешелону 275). Структура повітряного простору України має наступні елементи[3] ті про які я вже згадував раніше FIR, UIR, СТА, УТА, ТМА, СТР, АТЗ, АФІЗ, FIZ.

Крім того, є зони та райони УПР відомчих органів УПР (АТСЗ, АТСА) і звісно маршрути ОПР до яких входять спеціально виділені маршрути ОПР для перетинання державного кордону, спеціально встановлені зони та маршрути. Існує також поняття про небезпечний для цивільної авіації простір до нього входять заборонені зони, зони обмеження польотів і небезпечні зони.

Також в світі розвивається концепція яка дозволить користувачам повітряного простору самостійно планувати свій маршрут в межах певної частини певного сектора, району чи зони він називається повітряний простір вільних маршрутів (FRA).

Існує зона з особливим режимом злітно посадкова смуга, яка знаходиться біля забороненої зони або державного кордону та прибережної зони. Також треба

сказати про зону, що перетинає державний кордон (СВА) яка є обмеженим або тимчасово зарезервованим ПП для виконання певних операційних завдань.

Для виконання певних оперативних завдань один авіаційний уповноважений орган може запросити визначений об'єм повітряного простору що на тимчасовій основі перейде під його юрисдикцію, є тимчасово зарезервовані зони (TRA – Temporary Reserved Airspace), де дозволяється транзит ПК через цю зону і тимчасово відокремлені зони (TSA – Temporary Segregated Area), де не дозволяється транзит ПК через цю зону.

Не можна не згадати що в Україні також є класифікація повітряного простору проте ми маємо тільки 3 класи C, D і G. По висоті вони ділять наш повітряний простір наступним чином від землі до 1500 м включно клас G який рахується як не контрольований повітряний простір так як диспетчерські дозволи і ешелонування не надаються. Від 1500 м до 2900 м включно клас D який уже є контрольованим повітряним простором і все необхідне міжнародними правилами обслуговування надається в повному обсязі . І нарешті від 2900 м до ешелону 660 клас C також контрольований повітряний простір всі необхідні по міжнародному законодавству послуг надається. Звісно це загальний поділ повітряного простору зони і райони які були описані вище мають свої встановлені межі як горизонтальні так і вертикальну і в межах цих зон можуть бути встановлені інші категорії ПП (рис. 2.1.).

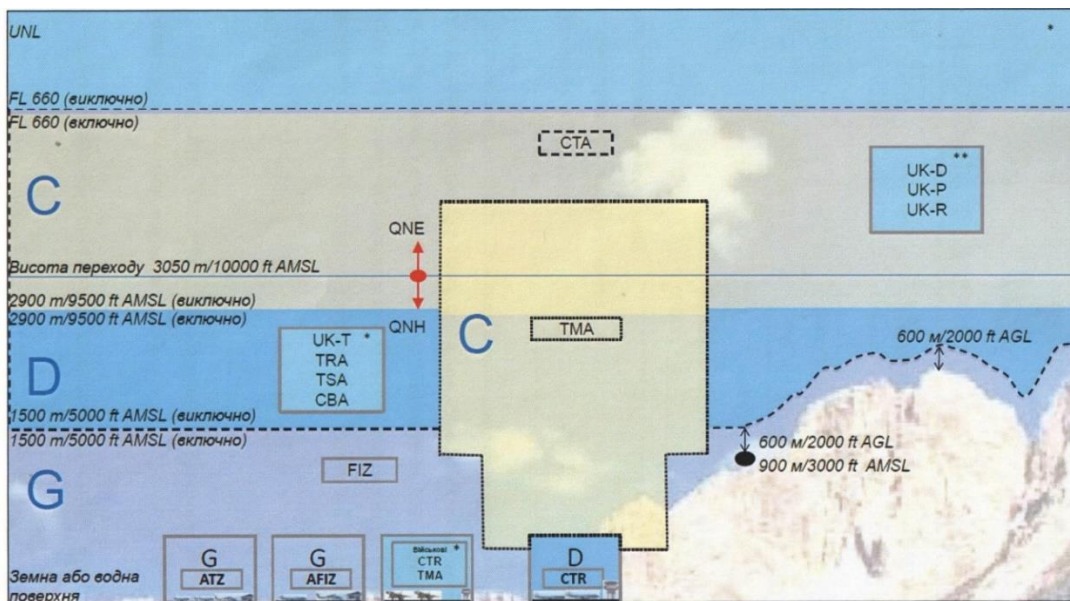


Рисунок 2.1 – Структура повітряного простору України

2.2. Мережа повітряних трас

Говорячи про цивільну авіацію яка знаходиться в контрольованому повітряному просторі то ми повинні зазначити що її рух відбувається за повітряними маршрутами з яких складається мережа повітряних трас (рис. 2.2). Ця мережа складається з радіонавігаційних маяків, маршрути ведуть від одного маяка до іншого і таким образом користувач повітряного простору може вилетівши з одного аеропорту дібратися до іншого використовуючи ці маршрути. Вони мають як горизонтальні так і вертикальні межі, перші встановлюються відповідно до можливостей веронавігаційного обладнання на ділянці маршруту а інші визначаються місцевістю.

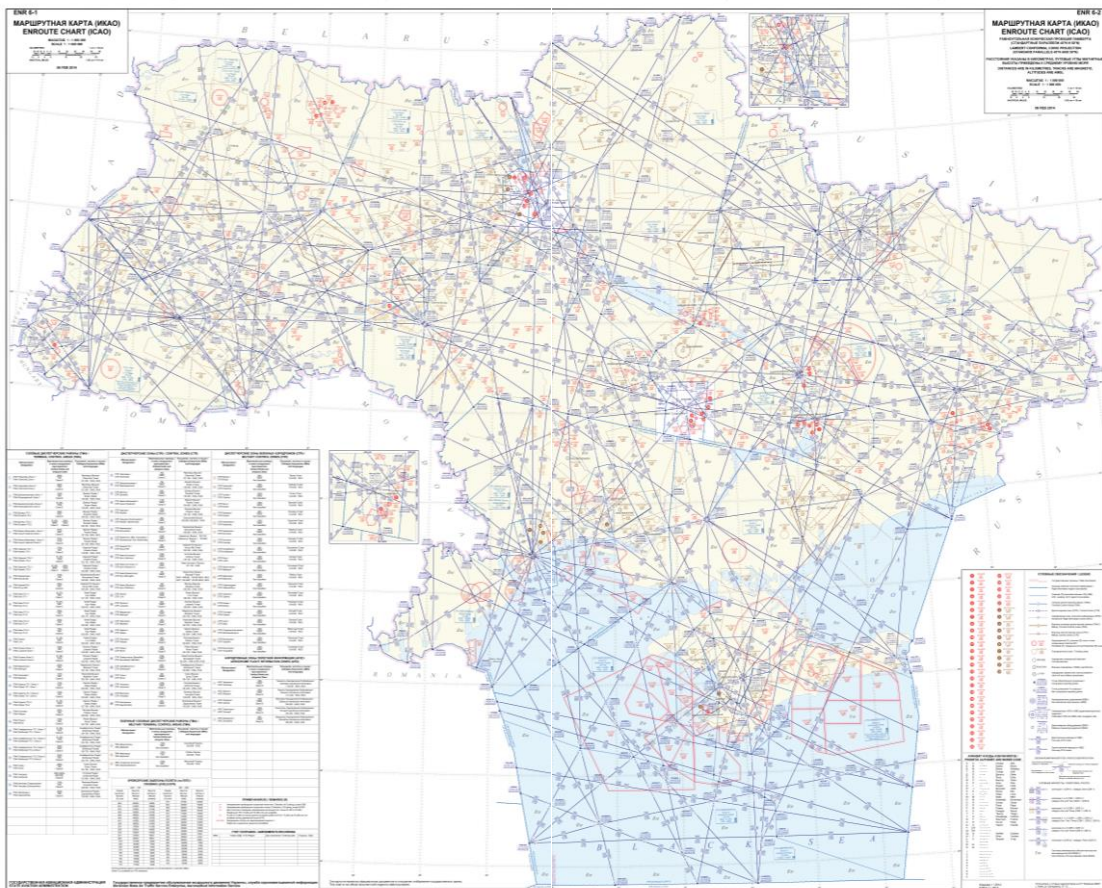


Рисунок 2.2 – Мережа повітряних маршрутів в Україні

Загалом вертикальні межі можуть бути в межах діапазону від 0 м до 660 FL (20400 м) відстань між ешелонами 300 м до 290 FL, взагалі FL починається з висоти 3050 м (висота переходу з відносної висоти на абсолютну висоту). Якщо

в повітряному просторі є зона RVSM то між 290 FL і 410 FL висота ешелону буде і даліше 300 м ,якщо такої зони немає то висота ешелону 600 м від 290 FL до 660 FL. На території України маршрути мають спрямованість на захід і схід через один ешелон тобто всі парні ешелони мають напрям на захід а непарні на схід. Основна маса маршрутів розташована в класі C так як з підвищенням висоти зростає ефективність використання палива, менша частина в класі D і сама маленька в класі G (рис. 2.3). В Україні існують також умовні маршрути вони є трьох категорій які по діляться по степені використання.

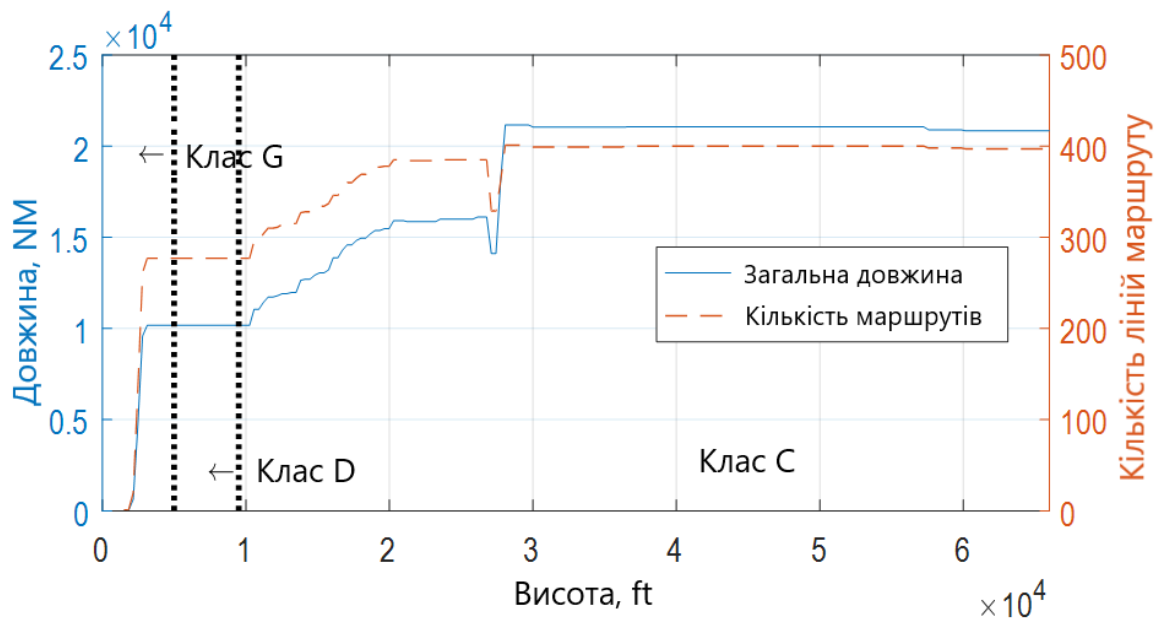


Рисунок 2.3 – Графік розподілу маршрутів за висотою

2.3. Інфраструктура аеропортів

Україні в спадок від радянського союзу залишилася розвинута мережа аеропортів як регіонального так і міжнародного рівня. Зокрема можна відмітити, що такі аеропорти як Бориспіль, Львів, Сімферополь і Донецьк були або є важливими транспортними хабами основним і найбільшим є Бориспіль. На жаль після початку гібридної війни 2014 року аеропорт Донецьку більше не функціонує а Сімферополь є незаконно окупованим Російською Федерацією, тому Україна, як провайдер аеронавігаційних послуг відповідно до міжнародних зобов'язань закрила повітряний простір над територією Криму. Аеропорти були передбачені в кожній області України до початку повномасштабного вторгнення

залежне і незалежне тобто те яке потребує відповіді від ПК чи ні самі поширеним зараз є системи ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) ця система дозволяє отримувати дані про місце положення літака, як пілотам, які перебувають в цьому пристрої, так і диспетчерам в диспетчерських вишках. Ця технологія підтримується на території України і в даному дослідженні будуть задіяні дані отримані з цього джерела інформації. Комунікація відбувається за допомогою радіостанцій які використовує диспетчерський орган для зв'язку з ПК. До Українського простору входять 5 районів польотної інформації Львівська, Київська, Одеська, Дніпро і Сімферопольське тільки в перших чотирьох районах знаходиться близько 309 радіонавігаційних точок які виконують свої функції по допомозі в організації потоку повітряного руху. В ході дослідження опираючись на дані щодо цих точок і теорії графів можна отримати наступні графіки які демонструють завантаженість точок, їх важливість з різних позицій.

Використовуючи теорію графів ми представляємо що вершини графа це радіонавігаційні точки а края це маршрути що їх з'єднують. Відповідно маючи базу даних повітряної мережі України можна створити одиничну матрицю розміри якої відповідають кількості вершин а значення матриці буде або нуль, або один відповідно до наступної умови, якщо між двома радіонавігаційними точками є маршрут то значення буде 1, якщо нема значить 0. Відповідно можна зробити зважену мережу графів де вагою буде дистанція маршруту, яку ми отримуємо через розрахунок відстані між двома вершинами що задані між собою адже ми маємо координати цих вершин (радіонавігаційних точок) і відповідно представивши їх в єдиній системі координат можна порахувати відстань маршруту.

Використовуючи вище сказану матрицю можна створити граф який показує завантаженість радіонавігаційної точки через кількість маршрутів що з нею з'єднані що допомагає оцінити де на території України є місця з максимальним навантаженням на елемент мережі і відповідно є вразливою точкою (рис. 2.5.).

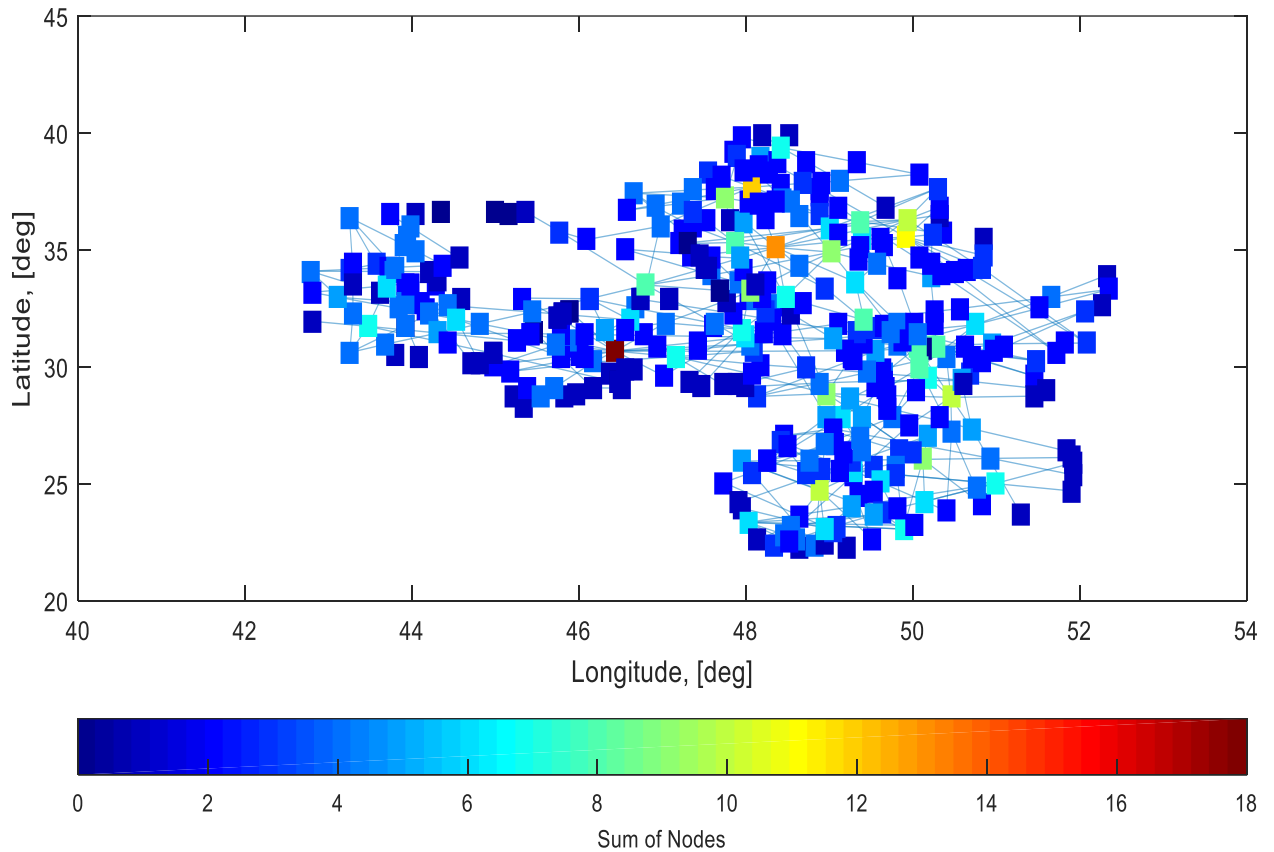


Рисунок 2.5 – Ступінь завантаженості точки через кількість маршрутів що з нею з’єднані

Для розрахунку наступного зваженого графу треба використати попередню матрицю і перемножити на матрицю геометричних дистанцій отриманих за допомогою координат приклад формули наведений нижче;

$$A = R * D, \quad (2.1)$$

де R – одинична матриця наявності маршруту між вершинами, D – матрицю геометричних дистанцій.

Наведений нижче графік (рис. 2.6) демонструє те що кількість точок навантаження не сильно відрізняється від попереднього графіку і більшість з них співпадають. В теорії графів такий граф називається зважений адже кожному ребру надано певне значення.

Проте можливості теорії графів цим не закінчуються. Ми можемо також визначити такий параметр як центральність за близькістю що вказує на частоту

використання точки як транзитної при прокладенні найкоротшого маршруту між іншими точками мережі.

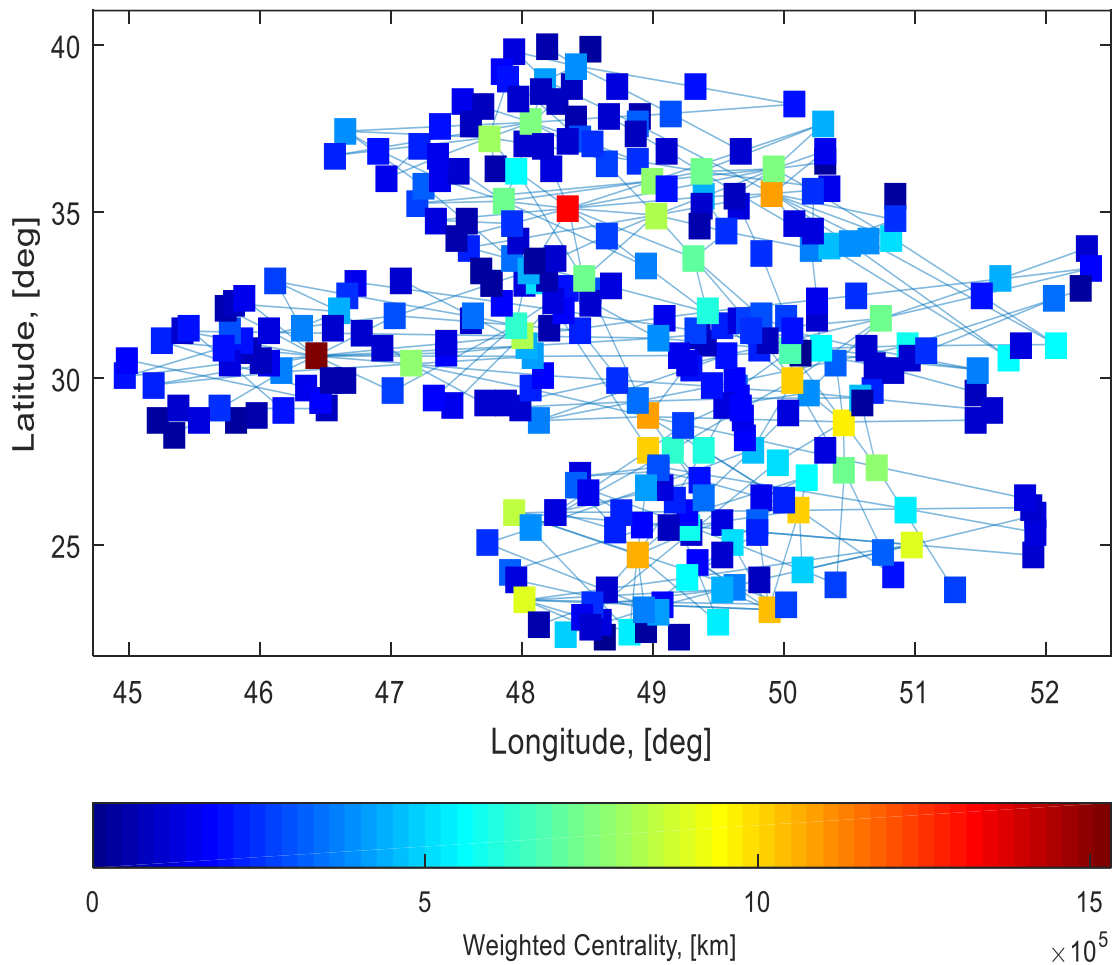


Рисунок 2.6 – Зважений граф мережі України

В нашому випадку ми реалізуємо це маючи базу точок і маршрутів ми можемо вибрати дві радіонавігаційні точки та визначаємо яка кількість маршрутів між ними є і третю довільну точку після чого визначаємо скільки маршрутів між першими двома точками мають транзит через третю і так поступово перебрати всю мережу. Формула для розрахунків буде наступна:

$$b_i = \sum \frac{p_{a,b}(i)}{p_{a,b}}, \quad (2.2)$$

де $p_{a,b}$ — кількість шляхів між a і b ; $p_{a,b}(i)$ — кількість шляхів, що перетинають i -ту точку шляху.

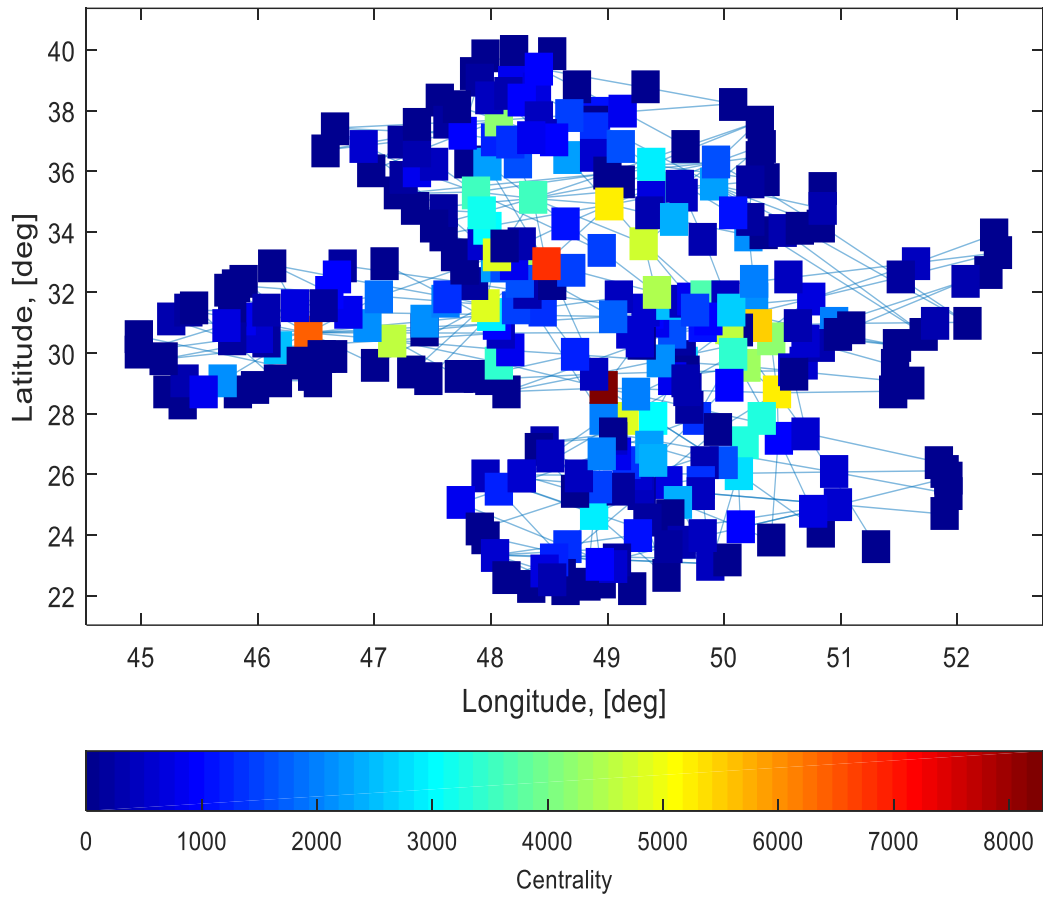


Рисунок 2.7 – Граф центральності за близькістю повітряної мережі
України

Висновки до розділу 2

В даному розділі розглядається структура повітряного простору , мережа повітряних трас , інфраструктура аеропортів України , також представлені графіки отримані за допомогою теорії графів які також дозволяють оцінити мережу повітряних трас і радіонавігаційних точок. Використовуючи дану теорію отримані наступні результати загальна довжина маршрутів мережі становить 43152 км. Пункти «Одеса», «Дніпро» та «Бедьба» виявилися найбільш навантаженими в мережі при дослідженні ступеня завантаженості точки через кількість маршрутів що з нею з'єднані, зваженості мережі і центральності за близькістю.

РОЗДІЛ 3 ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВТРАТИ НОРМ ЕШЕЛОНУВАННЯ

3.1. Концепція ризику

Треба зазначити що життя є життя тому нажаль без трагічних моментів не обійтися. Як показує практика на сьогодні час більше 65 % авіа катастроф відбувається через помилку людини до 25 % через технічну несправність і до 10 % через інші зовнішні фактори. Все це вплинуло на те ,що постало логічне питання ,як не просто вирішити конфлікт коли він виник ,а як його не допустити. Так багато вчених які досліджують ризики пропонують свої праці однією з цих праць є модель швейцарського сиру Джеймса Ризона, вона представляє всю систему захисту як багато шарову систему у якій є «дири» тобто недоліки в захисті і якщо потенційний конфлікт потрапляє до такої «дири» то він проходить шар захисту. Проте наступний шар може не мати недоліків в тому аспекті що мав попередній тому успішно зупиняє потенційний конфлікт не даючи йому розвиватися . Якщо і цей шар має проблеми в даному аспекті то потенційний конфлікт знову успішно проходить далі і так з кожним шаром. У випадку якщо потенційний конфлікт пройшов усі шари він стає конфліктом і може призвести до катастрофи. ІКАО було введено у авіації таку величину як Target Level of Safety (TLS). Ця величина встановлює те що в повітряному просторі повинна гарантуватися безпека польотів не менша ніж встановлене значення і характеризується кількістю авіа зіткнень за одиницю часу. В документах ІКАО зазначає що допустимий рівень цього значення є 5×10^{-9} за годину.

3.2. Моделі користувачів повітряного руху при оцінюванні ризиків

Будь-якого повітряного користувача будемо представити як три вимірний геометричний об'єкт. Самі поширеними представленнями є сфера, еліпс і коробка. Межами цього об'єкта є геометричні розміри конкретного користувача повітряного простору або використовувати мінімуми ешелонування які були задіяні на даній ділянці повітряного простору. Взагалі все вище наведене можна віднести до Collision risk models (CRM) яка схвалена ІКАО для того щоб можна було змоделювати ризик зіткнення. Ця тематика активно вивчалася вченими і є

ті чи інші приклади моделей самі відомі це: Хсу CRM, Андерсон CRM, Рісе CRM і Рейх CRM. Остання модель є самою добре відомою тому саме його ми розберемо, так якщо взяти два однакові літака то можна представити їх як дві коробки розміри яких є середніми параметрами літака, відповідно при накладанні цих коробок відбувається зіткнення. Проте ми розглядаємо тільки ризик зіткнення відповідно від базується на мінімумах ешелонування адже саме їх підтримка органами УПР забезпечує безпеку повітряного простору і унеможливлення зіткнень ПК в даному середовищі. Відповідно коробочка буде представлена параметрами довжина λ_x , ширина λ_y і висота λ_z які відповідатимуть мінімумам ешелонування (рис. 3.1.). Центром коробки буде сам літак тому відповідно відстань від нього до будь якої межі коробочки буде порівнювати половині від мінімумів ешелонування в даному секторі. Якщо межі коробочок двох літаків накладаються то ми розуміємо що один з мінімумів ешелонування порушений відповідно є небезпечна ситуація яка призведе до можливого зіткнення літаків, якщо не вжити запобігливих заходів по відновленню стандартів ешелонування. Є хороша формула для розрахунку ризику при використанні моделі коробки називається вона формула Рейха вона використовує ймовірність бічного перекриття для розрахунку шансу зіткнення в інших напрямках .

$$R = P_{xy}P_z\left(1 + \frac{\lambda_x*v_y}{\lambda_y*v_x} + \frac{\lambda_x*v_z}{\lambda_z*v_x}\right), \quad (3.1)$$

де P_{xy} – ймовірність бокового перекриття; P_z – ймовірність вертикального перекриття; v_x, v_y, v_z – відносні швидкості по осях між літаками.

Відносні швидкості будуть різними адже в залежності від ситуації і умов, швидкість по одному з векторів може бути рівна нулю. Значення v_x і v_y залежать від конкретної геометрії конфлікту в бічній площині, і їх розрахунок базується на середній відносній швидкості в конкретному повітряному просторі.

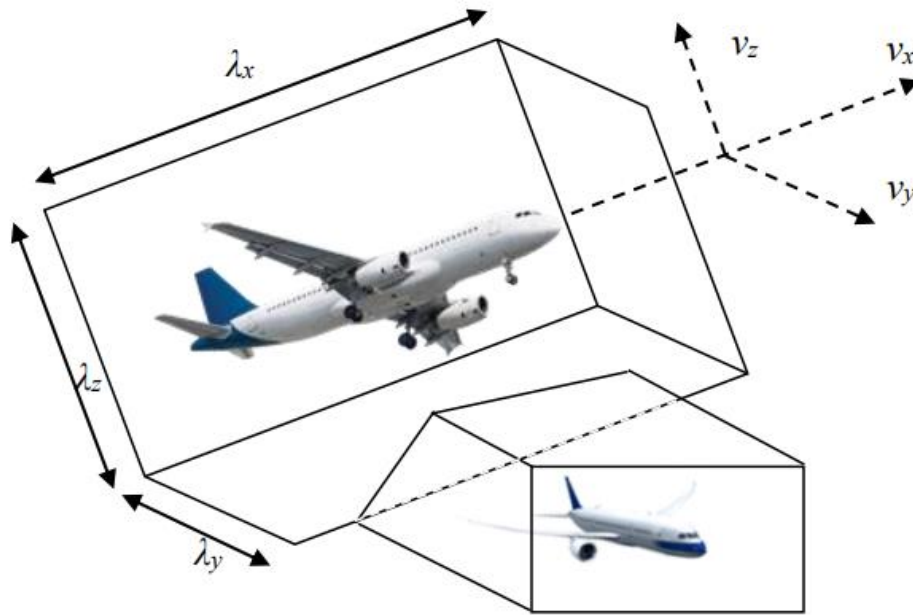


Рисунок 3.1 – Приклад моделі ПК в коробці

Ймовірність бічного та вертикального перекриття можна оцінити за допомогою функції щільності ймовірності (PDF) а саме якщо припустити що таке перекриття відбувається при виході літака за межі повітряного коридору що виражається в шансі літака відхилитися від центральної лінії маршруту на встановлену відстань. Для оцінки ризиків в аеронавігаційній системі зокрема в представленому форматі як функцію щільності ймовірностей можна використати функція подвійної експоненціальної щільності [48], Лапласіан, Функція нормальної щільності, Експоненціальна функція густини, Фреше, Вейбулл, Гумбель [49] , Узагальнений розподіл Парето [34] .

Вертикальне відхилення можна рахувати відхилення літака від занятого ешелону на таку відстань яка передбачена правилами і може рахуватися як зміна поточного ешелону на інший і оцінюється за допомогою радару. Відповідно ведучи спостереження за висотою літака на певній ділянці маршруту ми отримуємо статичні дані які потім використаємо при покращенні PDF відповідно до гістограми відхилень літака. В цьому дослідженні ми можемо використати дані отримані при дослідженні групи планування північноатлантичних систем для звичайної системи повітряного руху [50] ця ймовірність вертикального перекриття становить $P_z = 0,48$.

3.3. Концепція навігації заснованої на характеристиках

Навігація буда однією із фундаментальних основ без якої не можна уявити сучасну авіацію адже щоб літак долетів до місця призначення треба розуміти де він знаходиться . Відповідно з розвитком технічної думки можливості і потреб авіації розвивалася і навігація. Якщо з появою радіомаяків навігація відбувалася по принципу летіти від одного маяка до іншого то з плином часу і розвитком технологічних можливостей утворилася концепція зональної навігації (RNAV) .Вона дозволяє летіти в зоні дії наземних або супутникових навігаційних засобів, але при цьому будувати більш прямий маршрут до цілі з зоною допустимого відхилення при умові що ПК може витримувати ця зону навколо маршруту на протязі 95 % часу польоту. Наземні навігаційні засоби які будуть використовуватися це VOR і DME ,а супутникові це GNSS які визнанні ICAO як ті що можуть використовуватися для авіаційної навігації. Також коли ми говоримо про RNAV не можна не згадати і про RNP вони фактично однакові єдина різниця між ними це те що в останньому є оповіщення щодо точності навігаційних засобів і відповідно їх моніторинг. Звісно зональна навігація дозволяє виконувати польоті значно зручніше з використанням меншої кількості палива і формувати повітряний потік набагато компактніше проте основою для RNAV є обладнання. Тобто при впровадженні необхідного сертифікату треба було отримати певні конкретні типи обладнання для підтримки необхідного рівня безпеки. Тому згодом була розроблена альтернатива концепція по визначенню необхідного сертифікату а саме навігація заснована на характеристиках (PBN). Ця концепція є переходом від навігації заснованій на датчиках до навігації заснованій на характеристиках. Цими характеристиками для бортового обладнання RNAV буде точність, цілісність, експлуатаційна готовність, непереривністю і функціональністю.

Основні навігаційні функціональні вимоги до сертифікацій RNAV/ RNP є наступні:

- Постійно відзначати положення літака відносно лінії шляху;

- Індикація відстані, пеленгу, швидкості часу до активної точки маршруту;
- Функцію збереження навігаційних даних;
- Функція індикації відмови системи RNAV.

Виходячи зі змін які несе в собі перехід до PBN , концепція повітряного простору теж повинна пройти певні видозмінення. ICAO вже давно визначила стратегічні цілі які є основою для концепції повітряного простору . До цих цілей належать: безпека польотів, пропускну спроможність, ефективність, оточуюче середовище і доступність. Останнє можна на практиці використати шляхом зниження мінімумів заходу на посадку порівняно з стандартними схемами ,щоб забезпечити доступ в аеропорт навіть при поганій погоді , це в свою чергу може призвести до того що на злітно-посадочній смузі буде забезпечено захід з використанням RNP. Для реалізації цих цілей використовують певні інструменти реалізації, до яких в авіації відносять зв'язок, навігацію, спостереження ОПР , організація повітряного руху і процесу польотів.

Існують наступні навігаційні специфікації що використовуються в RNAV/RNP:

- RNAV 10 – 50 NM,
- RNP 4 – 23 NM,
- RNP 2 – 15 NM,
- RNP 2 – 7 NM,
- RNAV 1 – 7 NM,
- RNP 1 – 5 NM.

Звісно кожен специфікацію бажано використовувати на тому чи іншому етапі польоту щоб забезпечити максимальну безпеку ,ефективність , пропускну спроможність і економічність. Так допустим специфікація RNAV 10 використовується над океанічними/віддаленими маршрутами те саме стосується RNP 4. Для континентальних польотів використовується RNAV 1, RNP 2. Для польотів в зоні аеродрому використовується RNAV 1 і RNP 1.

3.4. Модель оцінювання ризику

Зіткнення двох літаків в авіації є надзвичайною трагедією, тому можливість створити модель для оцінки ризику цієї катастрофи для її уникнення є дуже важливим. Для створення цієї моделі треба розглянути як суму ризику зіткнення в горизонтальному плані та ризику зіткнення в вертикальному плані. Для їх обчислення нам підійде Probability Density Functions (PDF). Імовірність потрапляння літака в певний регіон можна представити як область під PDF, яка обмежена мінімумами ешелонування (рис.3.2).

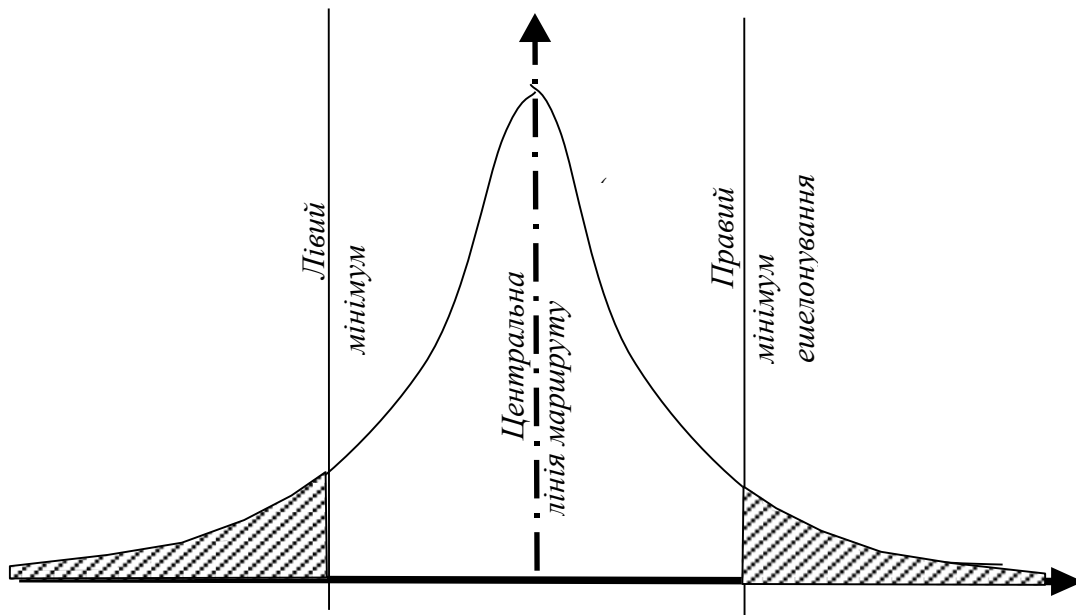


Рисунок 3.2 – PDF поперечного відхилення літака

Ризик перекриття двох літаків можна оцінити як максимальну ймовірність окремої пари наступним чином:

$$R = \max_{i=1, n-1} \left(\int_{\lambda_i} \rho_i(x) \right), \quad (3.2)$$

де λ_i – межа безпеки i -го літака; n – кількість користувачів повітряного простору, які зараз знаходяться в тому самому повітряному просторі.

Інтервали безпеки визначаються конкретним типом повітряного простору на основі мінімумів ешелонування та розраховуються на основі відомих координат літака.

PDF відхилення літака від визначеної точки повітряного простору можна отримати на основі відомого рекомендованого рівня мінімумів ешелонування. У цьому випадку можна використовувати припущення нормальної функції щільності ймовірності з нульовим середнім значенням і середнім стандартним відхиленням, оціненим за правилом «Двох сигм» за допомогою мінімумів поділу, щоб отримати 95 % довірчого діапазону.

У разі наявності даних про відхилення літака від певної траєкторії, PDF можна оцінити статистично. У цьому випадку можна використовувати наступний PDF-файл:

$$\rho_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3.3)$$

– Функція подвійної експоненціальної щільності:

$$\rho_D(x) = \frac{1-\alpha}{2a_1b_1\Gamma(b_1)} \exp\left(-\left|\frac{x-\mu}{a_1}\right|^{b_1^{-1}}\right) + \frac{\alpha}{2a_2b_2\Gamma(b_2)} \exp\left(-\left|\frac{x-\mu}{a_2}\right|^{b_2^{-1}}\right), \quad (3.4)$$

– Функція потрійної одновимірної узагальненої щільності помилок:

$$\rho_T(x) = \frac{\alpha}{2a_1b_1\Gamma(b_1)} \exp\left(-\left|\frac{x-\mu}{a_1}\right|^{\frac{1}{b_1}}\right) + \frac{\beta}{2a_2b_2\Gamma(b_2)} \exp\left(-\left|\frac{x-\mu}{a_2}\right|^{\frac{1}{b_2}}\right) + \frac{1-\alpha-\beta}{2a_3b_3\Gamma(b_3)} \exp\left(-\left|\frac{x-\mu}{a_3}\right|^{\frac{1}{b_3}}\right), \quad (3.5)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt,$$

де μ – середнє значення; σ – середнє стандартне відхилення; a_i – масштабна змінна; b_i – параметр форми; $\Gamma(x)$ – гамма-функція Ейлера; α і β – вагові параметри.

Сума вагових коефіцієнтів обмежується наступним:

$$0 \leq \alpha + \beta \leq 1.$$

Коефіцієнти масштабу та форми повинні відповідати:

$$1 \leq a \leq \infty; 0,5 \leq b \leq 1.$$

Давайте розглянемо випадок рівних ймовірностей відхилень у лівій та правій сторонах для покращення продуктивності обчислень:

$$\mu = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3; -\infty \leq \mu \leq \infty.$$

Коефіцієнти ваги, масштабу та форми оцінюються за статистикою незапланованих відхилень літака від очищених траєкторій методом максимальної вірогідності.

Під сумуючи всю інформацію можна вивести алгоритм для розрахунку ризику зіткнення літаків у визначеному сегменті простору. Структурна схема алгоритму представлена на (рис.3.3).

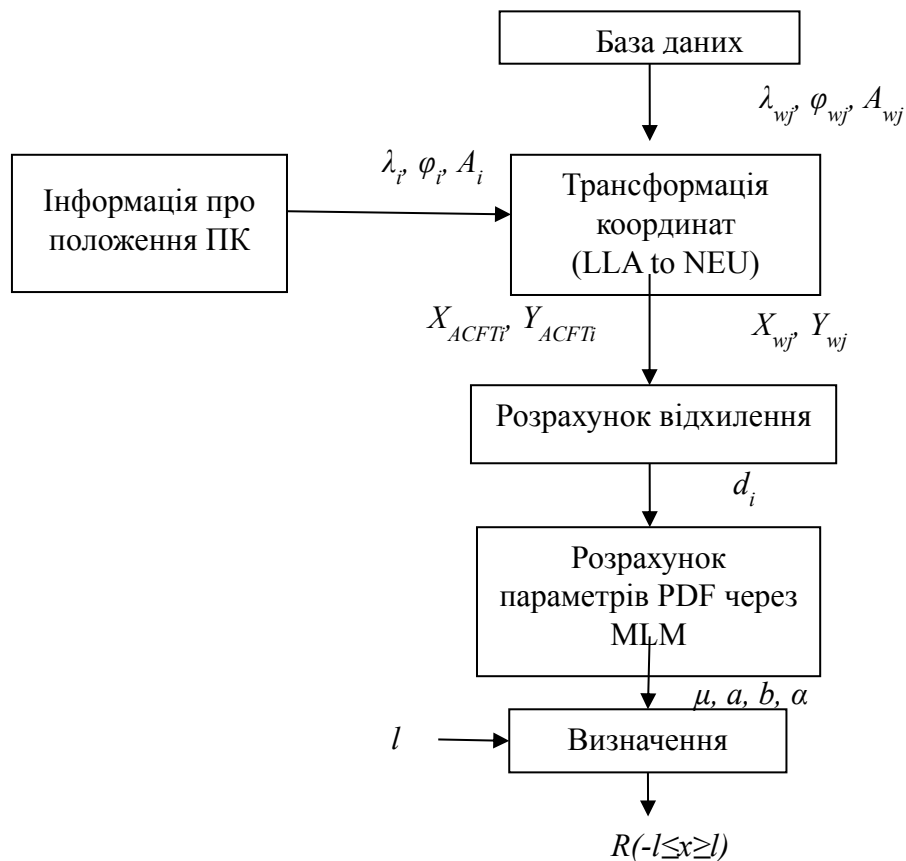


Рисунок 3.3 – Структурна схема алгоритму оцінки ризику

В процесі дослідження ми розглядаємо конкретний повітряний простір з його правилами, структурою простору і мережею повітряних маршрутів. Відповідно ми можемо отримати дані стосовно відхилення літаків від цих маршрутів конвертувавши дані щодо положення літака і точки маршруту в єдину

систему координат (можна NED або NEU) з опорною точкою в місці літака або в одному з двох місцеположень. Найкращою моделлю геоїда для дослідження є WGS84 яку можна використовувати як еталон при розрахунку висоти літака. Далі ми берем отримані матриці координат літаків (X_{ACFT} , Y_{ACFT}) і порівнюємо їх з координатами пунктів маршруту (X_w , Y_w) для отримання значення відхилення.

Отримана матриця відстаней буде накопичувати значення протягом вибраного часового періоду. MLM використовується для пристосування DUGED до статистичних даних. Ризик втрати ешелонування літака оцінюється за допомогою формули Рейха (3.1) за розрахунковими значеннями μ , a , b , α та значенням мінімумам ешелонування для літака у вибраному сегменті повітряного простору. Метод може працювати у реальному часі накопичуючи результати аналізу за встановлений період. Співвідношення ризику між поточним станом та послідовністю виходу із тривалого навчання вказує на потенційну здатність оцінювати зміни в безпеці повітряного простору:

$$K = R_{1m} / R_{24h}, \quad (3.6)$$

де R_{24h} – це ризик за останні 24 години; R_{1m} – це ризик для останньої хвилини.

Значення $K > 1$ можуть свідчити про погіршення безпеки повітряного простору; значення $K \leq 1$ вказує на стабільний рівень безпеки. У випадку виявленого рівня погіршення безпеки можуть бути реалізовані деякі дії з управління повітряним рухом, наприклад, обмеження навантаження в повітряному просторі або збільшення мінімумів поділу.

3.5. Результати комп'ютерного моделювання ризиків

Відповідно до основних правил повітряного простору, кожен користувач контрольованого повітряного простору повинен бути обладнаний автоматичним обладнанням незалежного спостереження-мовлення (ADS-B). Відповідно до регламенту ADS-B, кожен користувач повинен ділитися своїм місцем розташування з іншими користувачами повітряного простору.

Основне регулювання, необхідне для використання модифікованого бортового передавача радіолокаційної маякової системи управління повітряним

рухом у режимі “1090ES”. Передані дані на частоті 1090 МГц включають звіти про місцезнаходження від усіх користувачів повітряного простору навколо. Ці звіти можуть отримувати програмно визначене радіо (SDR) та декодуватися певним програмним забезпеченням. Місцезнаходження користувача передається у форматі даних широти, довготи та висоти (WGS-84). Отримані за допомогою ADS-B „дані” про повітряний рух є результатом позиціонування на борту, яке виконує Глобальна навігаційна супутникова система. Крім того, кожен передавач передає звіт про позицію в несинхронізованому режимі з різною частотою повторення, що залежить від налаштувань передавача. Один SDR дає можливість отримувати звіти про місцезнаходження від численних користувачів повітряного простору з радіусом максимальної довжини лінії зв'язку, яка приблизно дорівнює 300 НМ для дуже високочастотного спектру. Таким чином, один SDR охоплює дані про повітряний рух у колі радіусом 300 НМ. Мережа СПЗ може бути використана для отримання вибірки даних по довгій території.

Ми використовуємо дані про повітряний рух, записані SDR, протягом 30 хвилин 23 квітня 2019 року. Статистична обробка даних відхилень літаків від мережі українських маршрутів надається на основі цифрової бази даних польотних маршрутів та накопичених даних про повітряний рух від SDR. Отримана навчальна вибірка включає відхилення всього повітряного руху незалежно від фази польоту в межах досліджуваного обсягу повітряного простору.

Цифрова база даних польотних маршрутів налічує 331 точку маршруту в межах повітряного простору України. Ці шляхові точки є точками з'єднання прямих рейсів. У нашій базі даних 497 прямих маршрутів між двома пунктами. Загальна довжина досліджуваних маршрутів польотів становить 20840 НМ для висот понад 30000 футів. Виявлення відхилення користувачів повітряного простору від мережі маршрутів польотів базується на знаходженні мінімальної відстані між літаком і кожною лінією мережі. Загальну довжину польотних маршрутів у досліджуваному обсязі можна використати як основну характеристику повітряного простору України (рис.3.4).

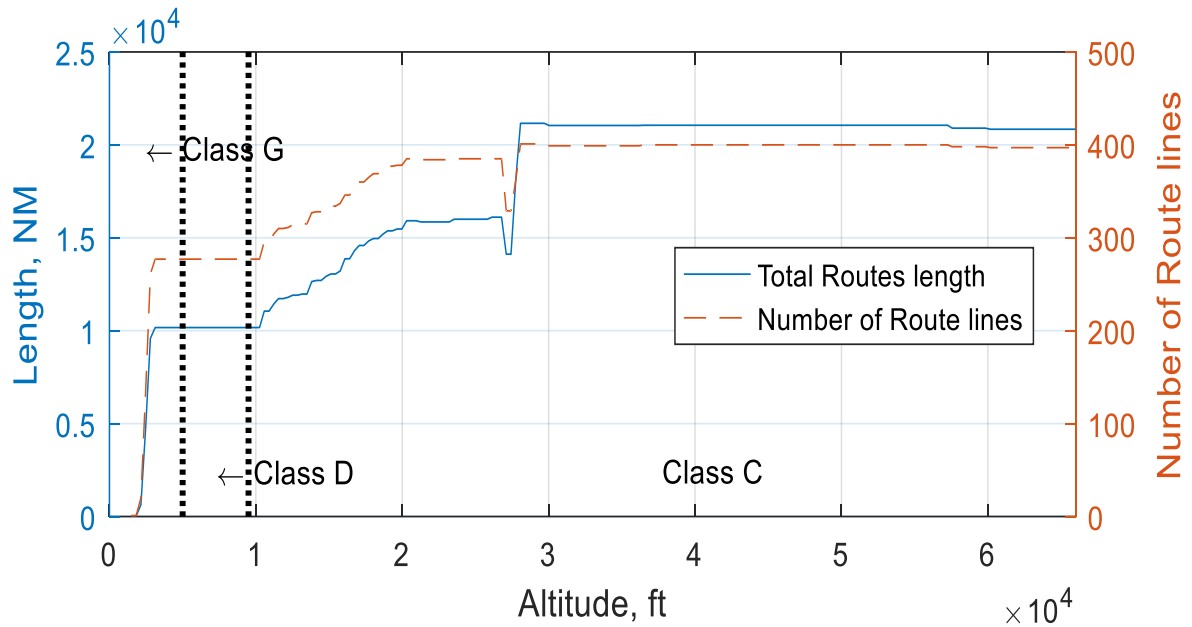


Рисунок 3.4 – Довжина польотних маршрутів на різних висотах повітряного простору України

Відповідно до вище наведеного малюнку основна частина української маршрутної мережі знаходиться у класі С. У нижній частині повітряного простору класу С (від 1850 м до FL 275) загальна довжина доріг вказує на тенденцію до збільшення, але вище кількість маршрутів та їх загальна довжина все ще приблизно постійний. Існує невелика частина системи повітряного руху в класі G через місцеві рейси та загальне використання авіації. Клас D отримує постійні значення для всіх малих висот завдяки перетину областей контролю терміналу.

Гістограма розрахункових відхилень у поперечній площині, накопичена за 30 хвилин вхідних даних про повітряний рух, представлена на рис. 3.5. Кількість навчальної вибірки - 2723 вимірювання. Ми використовуємо ширину бункера, рівну 1 НМ. Середнє значення дорівнює -786 м, а стандартне відхилення - 7924 м.

Після встановлення TUGED до вхідної навчальної вибірки параметри $\rho(y)$ оцінюються: $\alpha = 0,59$; $\beta = 0,03$; $\mu = 0$; $a_1 = 10,19$; $a_2 = 8,35$ $a_3 = 1$; $b_1 = 0,75$; $b_2 = 0,99$; $b_3 = 0,99$.

Ймовірність поперечного перекриття, оцінена (3.2), залежить від ширини моделі λ_y , що стосується специфікації аеронавігації та мінімуму розділення. Розподіл P_{xy} представлений на рис. 3.6.

Вхідна вибірка даних про повітряний рух дає нам $P_{xy} = 0,13$ для специфікації RNAV1.

Тоді ризик зіткнення повітря у бічній площині можна оцінити за (3.1). Модель літака використовується для задоволення вимог RNAV 1, що діють нижче FL 290 ($\lambda_x = 12964\text{м}$, $\lambda_y = 55560\text{м}$, $\lambda_z = 300\text{м}$).

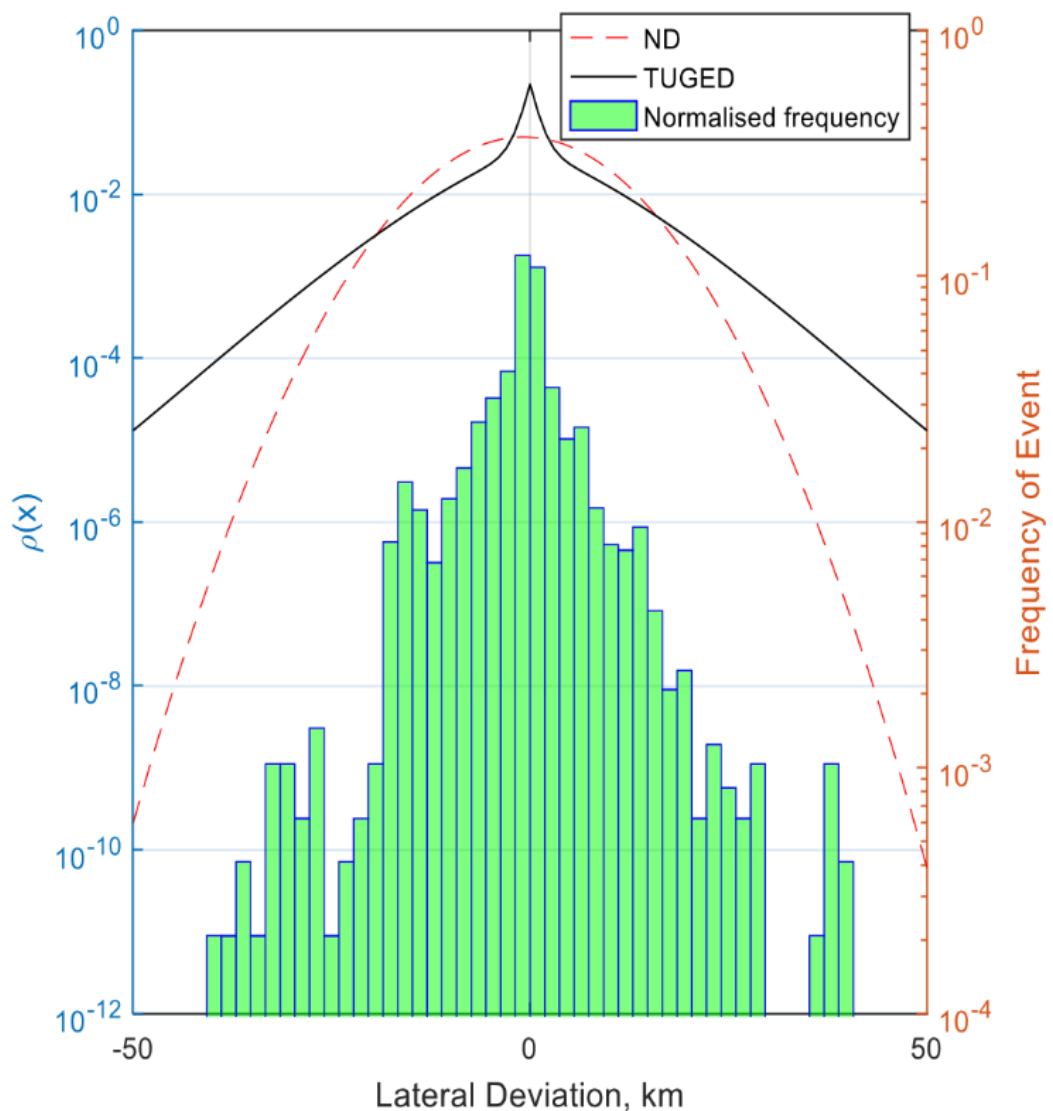
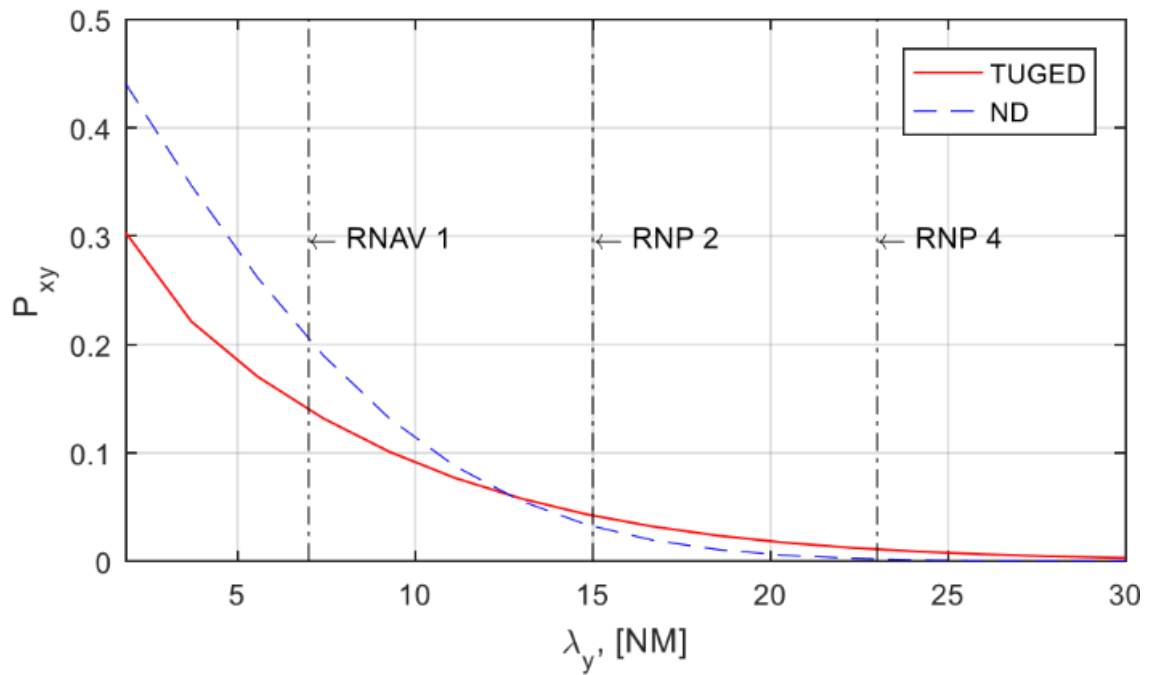


Рисунок 3.5 – Відхилення літака від розмитої траєкторії в поперечній площині в межах повітряного простору України



Рисунку 3.6 – Ймовірність повздовжнього перекриття

Завдяки вивченню загального ризику на фазі польоту $v_z = 0$ та розгляду випадку зіткнення з умовою $v_x = v_y$ ніж (3.1) можна представити у такій спрощеній формі:

$$R = P_{xy}P_z\left(1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y}\right). \quad (3.7)$$

Нарешті, ризик повітряного зіткнення в поперечній площині для даних про повітряний рух, що діють для ризику повітряного простору України, отриманий за (3.7), дорівнює $0,84 \times 10^{-7}$.

Висновки до розділу 3

Даний розділ присвячений темі дослідження а саме оцінювання ризику втрати норм ешелонування. Спочатку ми розібрали концепцію ризиків розглянули модель швейцарського сиру Джеймса Ризона. Крім того ми розглянули що таке TLS і отримали величину яка вважається нормальною коли мова йде про кількість авіакатастроф за період часу. Далі ми розглянули як саме ми будемо представляти літак та розраховувати ризик для нього , розібрали поняття CRM і вибрали що саме модель Рейха нам найкраще підходить, визначили ймовірність вертикального перекриття.

В наступному розділі розглянули що таке RNAV/PBN і які горизонтальні межі має маршрут повітряного руху для подальших розрахунків. Наступним кроком було підготовка математичної бази і розробка моделі згідно якої буде проводитись дослідження , опираючись на інформацію отриману з системи ADS-B про повітряний трафік і базою радіонавігаційних точок в Україні, оскільки моніторинг повітряного простору для отримання даних стосовно повітряного трафіку проводився в обмеженому часовому відрізку для отримання ширшого спектру даних з метою їх аналізу ми використовуємо PDF функцію . Результати дослідження представляються в параграфі 3.5, зокрема на рис. 3.4-3.6, крім того головний результат дослідження це обчислений ризик повітряного зіткнення в поперечній площині для повітряного простору України, він дорівнює $0,84 \times 10^{-7}$.

РОЗДІЛ 4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності

Автоматизована обробка даних є типовою задачею що вирішується сучасними аеронавігаційними системами. Обробка аеронавігаційних даних забезпечується як на борту у певних блоках авіоніки так і у наземних обчислювальних комплексах. Навігаційні параметри у сучасних системах вимірюються за допомогою значної кількості різних сенсорів, що забезпечують створення архіву даних, обробка яких потребує застосування спеціалізованих алгоритмів статистичної обробки. Кожен сенсор виконує вимірювання з певною величиною похибки, дію якої не можна виключили, проте її можна зменшити до прийняттого рівня. Отже сумісна обробка даних у аеронавігаційній системі виконується з врахуванням дії похибок кожного з сенсорів. Для цього використовують довірчі інтервали, що гарантують знаходження певного інтервалу у проміжку з певною ймовірністю [39]. Найбільш застосовуваними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, що забезпечує 95% локалізації виміряних значень, виходячи з припущення про нормальний закон розподілу похибок.

Кожен блок авіоніки у своїй структурі більш схожий до архітектури персонального комп'ютера з відповідними елементами: процесор, пам'ять, аналого-цифрові / цифро-аналогові перетворювачі, що дозволяє виконувати обробку виміряних даних на програмному рівні [44]. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних регістрах, змінних, матрицях чи архівах даних.

Визначення точного місцеположення повітряного корабля (ПК) є однією з найважливіших задач цивільної авіації [16, 27, 33]. Зростаючі обсяги авіаперевезень вимагають постійного перегляду норм ешелонування для задоволення росту потреб авіаційного транспорту. Норми ешелонування ПК

визначають максимально допустимі межі розділення ПК у просторі у вертикальній площині, боковому та повздовжньому відхиленнях. Єдиним можливим шляхом вирішення питання перевантаженості повітряного простору є збільшення пропускної здатності певної частини повітряного простору за рахунок зменшення безпечних відстаней між ПК. На практиці це реалізується шляхом введення більш точних вимог до визначення місцеположення ПК у просторі. Введення більш точних вимог до позиціонування ПК можливе лише за умови наявності відповідних систем здатних задовільнити їх. Функціонування систем позиціонування ПК цивільної авіації забезпечується полем аеронавігаційних сигналів, що створюється у просторі різними системами.

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

Сучасний літак цивільної авіації обладнаний цілою групою різноманітних датчиків, що забезпечують визначення координат місцеположення ПК у просторі. Відповідно до концепції автоматичного залежного спостереження (ADS-B) користувачі повітряного простору повинні періодично повідомляти своє місцеположення у просторі в автоматичному режимі. Найбільш поширеним бортовим обладнанням ADS-B є літаковий відповідач режиму 1090ES. Літаковий відповідач виконує функції автоматичного генерування цифрових повідомлень відповідно до налаштувань системи (стандартні налаштування забезпечує випромінювання сигналу з частотою у 1 Гц) та виконує їх випромінювання через всеспрямовані антени системи [14, 30]. Поширене цифрове повідомлення містить ідентифікацію літака, координати місцеположення, барометричну висоту та інші дані. Координати ПК отримуються з обчислювальної системи літаководіння після вибору оптимальної системи позиціонування для певного повітряного простору виходячи з точності, що забезпечується системою та специфікаційних вимог які діють у повітряному просторі де знаходиться літак.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані передані за концепцією ADS-B. Зокрема, ідентифікаційний код літака з

координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних [17, 22]. Зокрема, обчислювальний кластери компаній Flightradar24 та Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [51] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Мапа глобального трафіку [10]

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

У якості вхідних даних я використаю дані траєкторії польоту ACA800 / AC800 (Air Canada 800), що забезпечуються авіакомпанією Air Canada зі сполученням Toronto, Canada (YYZ) та Dublin, Ireland (DUB). Дата вильоту 13 вересня 2022 о 09:29AM (EDT). Дата посадки 14 вересня о 08:59AM (IST). Політ завершився пізніше на 24 хвилин від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Boeing 787-9 Dreamliner (B789). Вхідні дані отримано від архіву за посиланням <https://flightaware.com/live/flight/ACA800/history/20220914/0120Z/CYYZ/EIDW>. У таблиці 4.1 наведено перші та оснані 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 4.1. Траєкторні дані рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

Час (EEST)	Широта	Довгота	Курс	Швидкість (kts)	Швидкість (mph)	Висота (фут)
Ср 04:48:15 AM	43.6670	-79.6734	↙ 223°	177	328	411
Ср 04:48:31 AM	43.6576	-79.6872	↙ 229°	177	328	610
Ср 04:48:47 AM	43.6491	-79.7008	↙ 230°	177	328	792
Ср 04:49:03 AM	43.6409	-79.7143	↙ 230°	178	330	960
Ср 04:49:20 AM	43.6314	-79.7303	↙ 231°	179	332	1,158
Ср 04:49:37 AM	43.6235	-79.7455	↙ 241°	191	354	1,257
Ср 04:49:53 AM	43.6197	-79.7646	← 271°	209	388	1,318
Ср 04:50:11 AM	43.6270	-79.7872	↖ 317°	236	438	1,394
...						
Ср 10:40:45 AM	53.4066	-6.0098	← 276°	187	346	930
Ср 10:41:15 AM	53.4091	-6.0527	← 276°	184	341	800
Ср 10:41:45 AM	53.4116	-6.0944	← 275°	184	341	655
Ср 10:42:15 AM	53.4137	-6.1338	← 276°	164	304	503
Ср 10:42:28 AM	53.4147	-6.1496	← 275°	153	283	439
Ср 10:43:35 AM	53.4188	-6.2250	← 276°	144	267	175
Ср 10:43:51 AM	53.4197	-6.2403	← 275°	145	269	122

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу АСА800 від 13 вересня 2022 у програмне забезпечення MATLAB [52]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.4.2., а вертикальний профіль представлено на рис. 4.3.

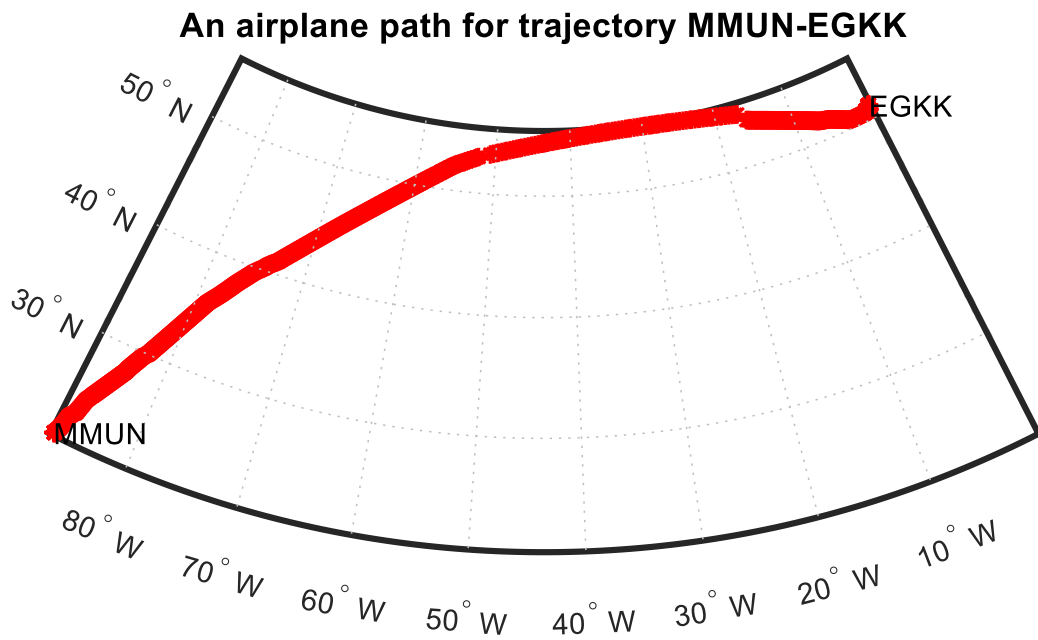


Рисунок 4.2 – Траєкторія руху рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

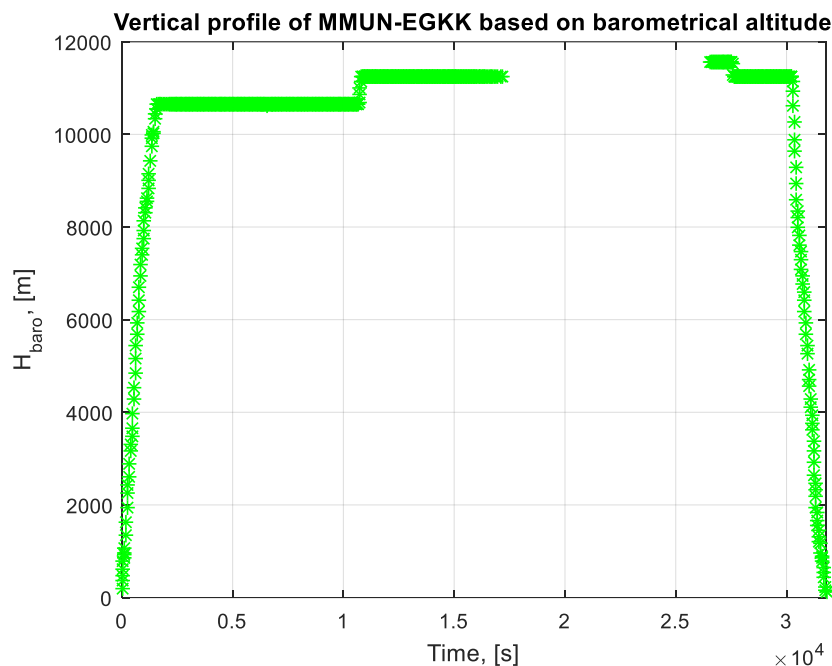


Рисунок 4.3 – Вертикальний профіль рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

Цифрові повідомлення передані за концепцією ADS-B є несинхронізованими за часом. Кожин передавач може бути налаштований на свою частоту видачі цифрових повідомлень. Крім того, слід відмітити що частота 1090 МГц є доволі завантаженою, оскільки на ній працюють вторинні радіолокатори, системи попередження зближень літаків та ADS-B. Це призводить до того, що певні цифрові повідомлення можуть накладатися один

на одне спотворюючись. Тож траєкторні дані є несинхронізовані з багатьма «битими» повідомленнями. Для вирішення цієї проблеми застосовують методи інтерполяції даних. У якості інтерполюючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис. 4.4 - 4.6. Усі наступні обчислення будемо виконувати з інтерпольованими даними. Відобразимо дані у локальній системі NEU. У якості центра системи використаємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 4.7 та рис. 4.8.

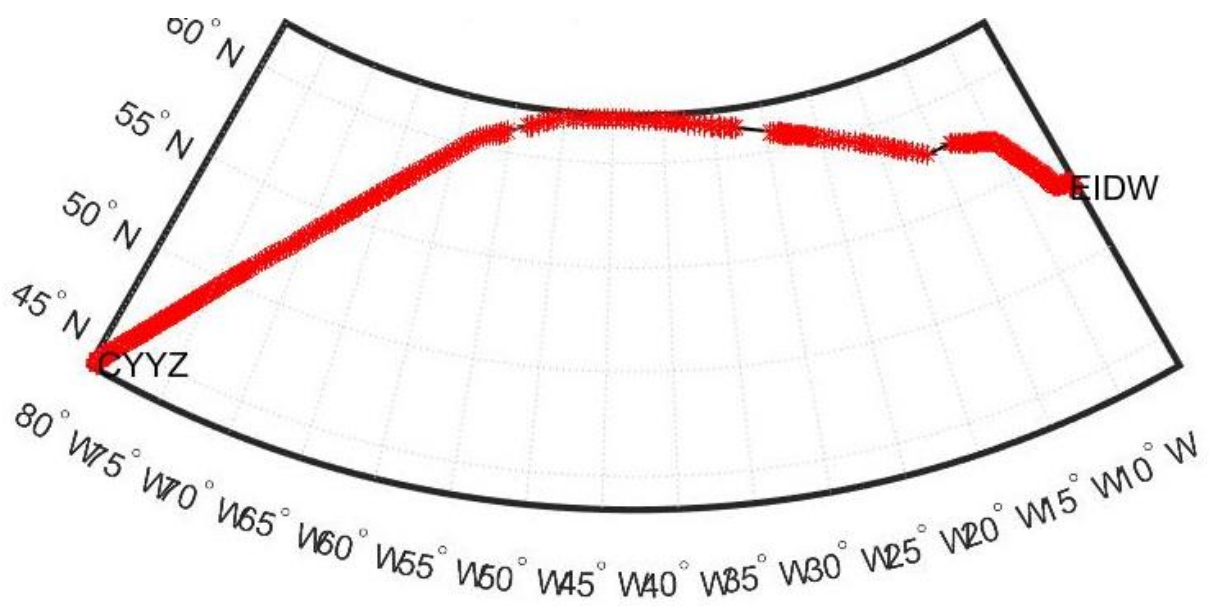


Рисунок 4.4 – Інтерпольована траєкторія руху ПК рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

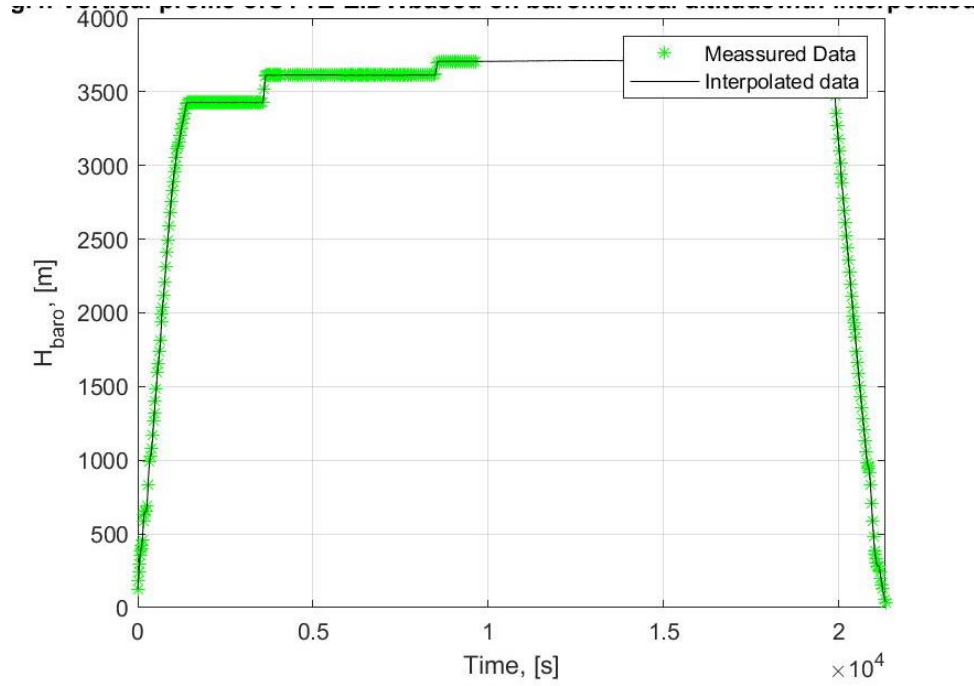


Рисунок 4.5 – Інтерпольований вертикальний профіль ПК рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

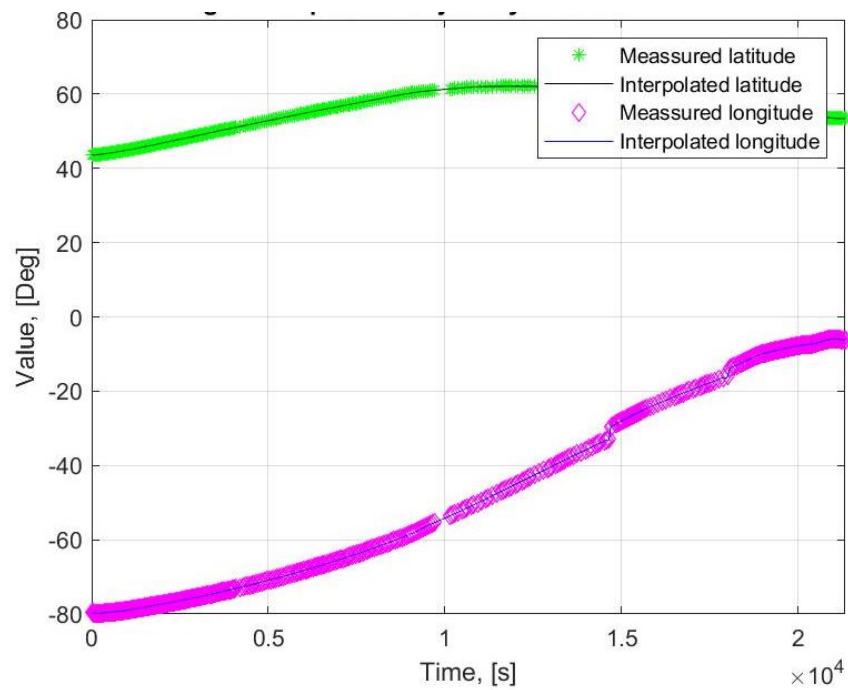


Рисунок 4.6 – Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

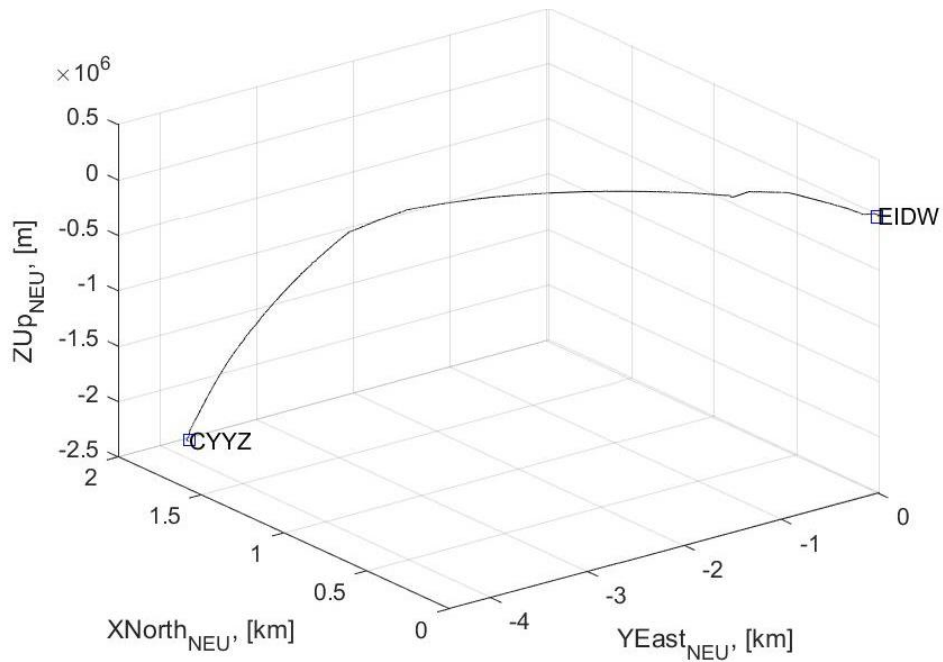


Рисунок 4.7 – Траєкторія руху рейсу АСА800 у локальній системі координат

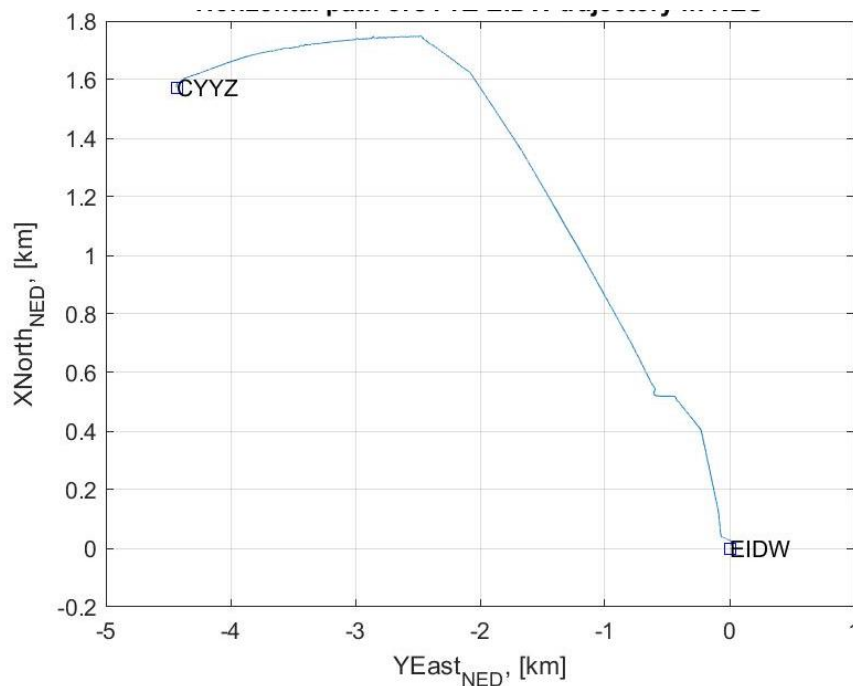


Рисунок 4.8 – Шлях руху рейсу АСА800 у локальній системі координат

За набором даних тривимірної траєкторії руху виконаємо розрахунок компонентів швидкості, зокрема розрахуємо повну швидкість ПК, вертикальний та горизонтальний компонент. Результати розрахунку швидкості наведено на рис. 4.9., а оцінений курс літака на рис. 4.10. Також підрахуємо загальний час польоту, та довжину маршруту та траєкторії.

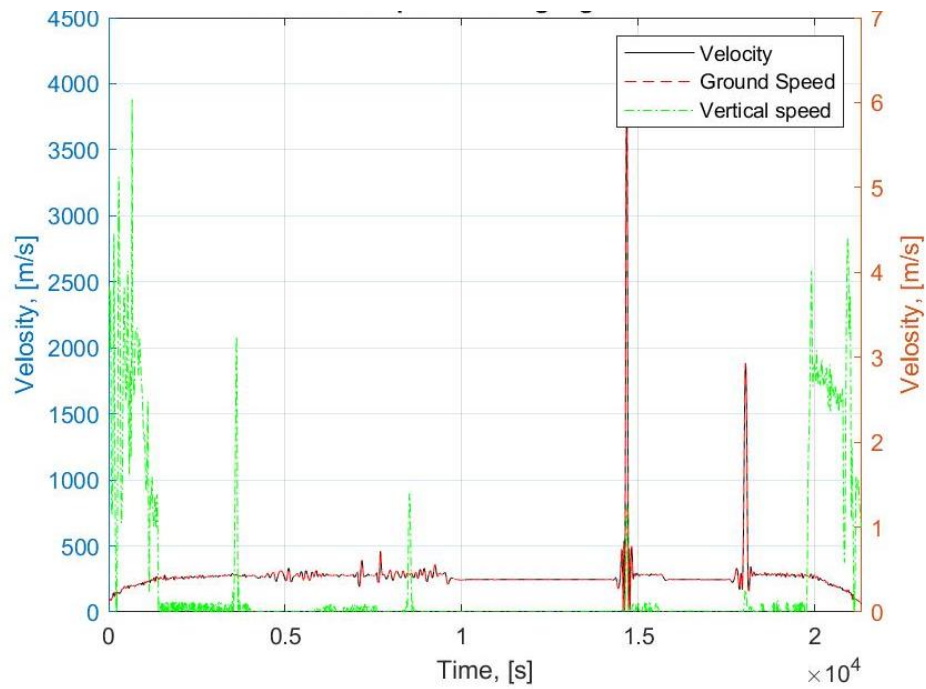


Рисунок 4.9 – Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

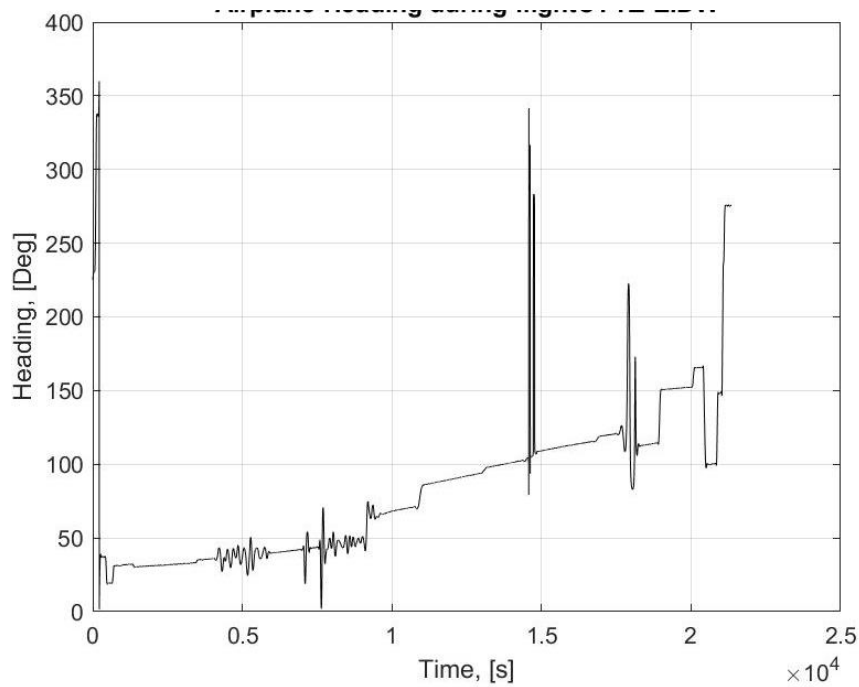


Рисунок 4.10 – Результати розрахунку курсу для рейсу АСА800 від 13 вересня 2022

Загальний час польоту рейсу АСА800 від 13 вересня 2022 склав 5 години 55 хв 36 с. Довжина траєкторії – 5795.6 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 5795.5км.

4.2. Оцінювання ризику втрати норм ешелонування за методом експертних оцінок

Після проведення опитування групи експертів здійснюється обробка результатів. Початковою інформацією для обробки є числові дані, що виражають переваги експертів, і змістовне обґрунтування цих переваг. Метою обробки є отримання узагальнених даних і нової інформації, що міститься в прихованій формі в експертних оцінках. На основі результатів обробки формується вирішення проблеми. Наявність, як числових даних, так і змістовних висловлювань експертів призводить до необхідності застосування якісних і кількісних методів обробки результатів групового експертного оцінювання. Питома вага цих методів істотно залежить від класу проблем, що вирішуються експертним оцінюванням.

Залежно від цілей експертного оцінювання і вибраного методу виміру при обробці результатів опитування виникають наступні основні завдання:

- 1) побудова узагальненої оцінки об'єктів на основі індивідуальних оцінок експертів;
- 2) побудова узагальненої оцінки на основі парного порівняння об'єктів кожним експертом;
- 3) визначення відносних важливостей об'єктів;
- 4) визначення узгодженості думок експертів;
- 5) визначення залежностей між ранжуваннями;
- 6) оцінка надійності результатів обробки.

Раціональне використання інформації, що отримується від експертів, можливо за умови перетворення її у форму, зручну для подальшого аналізу, спрямованого на підготовку ПР. Форма представлення експертних даних залежить від прийнятого критерію, на вибір якого у свою чергу істотний вплив робить специфіка досліджуваної проблеми. Значить, для нас найважливіше - формалізувати цю інформацію так, щоб допомогти ЛПР вибрати з безлічі дій одне(чи декілька), найбільш прийнятне відносно деякого критерію.

Якщо експерт в змозі порівняти і оцінити можливі варіанти дій, приписавши кожному з них певне число, вважатимемо, що він має певну систему переваг. Залежно від того, за якою шкалою можуть бути задані ці переваги, експертні оцінки містять більший або менший об'єм інформації і мають різну здатність до математичної формалізації.

У випадках, коли досліджувані об'єкти можна в результаті порівняння розташувати в певній послідовності з урахуванням якого-небудь істотного чинника (чинників), використовуються порядкові шкали, що дозволяють встановлювати рівноцінність або домінування. Використання порядкових шкал дозволяє розрізнити об'єкти і в тих випадках, коли чинник (критерій) не заданий в явному виді, тобто, коли ми не знаємо ознаки порівняння, але можемо частково або повністю упорядкувати об'єкти на основі системи переваг, яку має експерт(експерти).

При рішенні багатьох практичних завдань часто виявляється, що чинники, що визначають кінцеві результати, не піддаються безпосередньому виміру. Розташування цих чинників в порядку зростання (чи зменшення) значущості називається ранжуванням. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності чинників найбільш суттєвий. В цьому випадку отримують рангову шкалу – шкала, яка містить елементи, що розташовані за порядком значущості.

При ранжуванні експерт повинен розташувати об'єкти (параметри) в порядку, який представляється йому найбільш раціональним, і приписати кожному з них числа натурального ряду - ранги. При цьому ранг 1 отримує найбільш прийнятна альтернатива, а ранг N - найменш переважна. Отже, порядкова шкала, що отримується в результаті ранжування, повинна задовольняти умові рівності числа рангів N числу об'єктів n , що ранжуються.

Буває так, що експерт не в змозі вказати порядок дотримання для двох або декількох об'єктів або він привласнює різним об'єктам один і той же ранг, і в результаті число рангів N виявляється не рівним числу об'єктів n , що ранжуються. У таких випадках об'єктам приписуються так звані стандартизовані ранги. З цією метою загальне число стандартизованих рангів вважають рівним n ,

а об'єктам, що мають однакові ранги, привласнюють стандартизований ранг, значення якого представляє середнє суми місць, поділених між об'єктами з однаковими рангами.

При оцінці об'єктів дослідження експерти частенько розходяться в думках з вирішуваної проблеми. У зв'язку з цим виникає необхідність кількісної оцінки міри згоди експертів – узгодженості думки експертів. Отримання кількісної міри узгодженості дозволяє більше обґрунтовано інтерпретувати причини розбіжності думок. Використовуючи методи парного порівняння, можна знайти рангову кореляцію між оцінками кожної пари експертів. При великій кількості експертів розрахунки стають надзвичайно трудомісткими, тому узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації W , тобто загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з m експертів.

Принципи побудови узагальнених критеріїв (зведення багатокритеріального завдання до однокритеріального).

Загальна постановка завдання ПР за наявності безлічі альтернатив і великого числа критеріїв (не завжди погоджених між собою і часом суперечливих), виглядає таким чином:

- є деяка безліч альтернатив A , причому кожна альтернатива a характеризується певною сукупністю властивостей a_1, a_2, \dots, a_n ;

- є сукупність критеріїв $q = (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n)$, що відбивають кількісну безліч властивостей системи, тобто кожна альтернатива характеризується вектором $q(a) = [q_1(a), q_2(a), \dots, q_i(a), \dots, q_n(a)]$;

- необхідно прийняти рішення про вибір однієї з стратегій, причому рішення називається простим, якщо вибір робиться за одним критерієм, і складним, якщо вибрана альтернатива не є найкращою за якимсь одним критерієм, але може виявитися найбільш прийнятною для усієї їх сукупності;

- завдання ПР по вибору альтернативи на безлічі критеріїв формально зводиться до відшукування відображення φ , яке кожному вектору ставить у

відповідність дійсне число $F = \varphi(q) = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n)$, що визначає міру переваги цього рішення.

Оператор φ називають інтегральним (узагальненим) критерієм. Інтегральний критерій привласнює кожному рішенню по вибору альтернативи відповідне значення ефективності F . Це дозволяє упорядкувати безліч рішень по мірі переваги. Існує безліч методів формування узагальнених критеріїв, але більшість з них побудована на основі формальних правил і не враховує цінність, корисність окремих критеріїв φ , використовуваних при рішенні задачі вибору альтернативи. При побудові узагальненого показника ефективності відповідно до теорії корисності об'єднання критеріїв φ робиться найчастіше на основі адитивного перетворення

$$F = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n w_i q_i. \quad (4.1)$$

Адитивна форма критеріальної функції, що представляє суму показників якості, приведені до єдиного масштабу, є найбільш зручною і простою формою оцінки.

Один з можливих шляхів рішення задачі полягає в наступному. Кожен j -й експерт спочатку визначає набір чисел C_{ij} , що відбивають його думку відносно цінність i -го критерію, причому числа записані в довільному масштабі. Потім вони масштабуються, в результаті чого отримуємо

$$w_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}; \quad \sum_{i=1}^n w_{ij} = 1. \quad (4.2)$$

Остаточні значення коефіцієнтів обчислюються в результаті усереднювання значення w_{ij} , отримуваних від усіх експертів. Якщо компетентність експертів в групі вважається однаковою, то

$$w_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m w_{ij}. \quad (4.3)$$

Якщо ж компетентність j -го експерта оцінюється числом g_j , $\sum_{j=1}^m g_j = 1$, то

$$w_i = \sum_{j=1}^m g_j w_{ij} \quad (4.4)$$

Один з методів формування коефіцієнтів C_{ij} , що відображають думку j -го експерта про цінність i -го критерію, полягає в тому, що спочатку кожен експерт проводить ранжування усіх критеріїв, тобто упорядковує їх відповідно до відносної цінності так, що на першому місці знаходиться найголовніший критерій. Перехід від рангів до коефіцієнтів C_{ij} робиться на основі гіпотези про лінійну залежність між рангом і відотною цінністю критерію. Чим нижче ранг, тим важливішим є відповідний критерій. Визначення коефіцієнтів C_{ij} для довільного r_{ij} робиться відповідно до наступної формули:

$$C_{ij} = 1 - \frac{r_{ij}-1}{n}. \quad (4.5)$$

Метод експертних оцінок та визначення вагових коефіцієнтів ґрунтується на наступній послідовності кроків:

1. Розроблення анкети для експертного опитування і проведення експертного опитування;
2. Будова матриці індивідуальних переваг $A_{n \times n} = (a_{ii}) (i=1, n)$;
3. Визначення системи індивідуальних переваг j -го експерта:

$$R_j = R_1 \succ R_2 \succ_3 \succ \dots, j=1, n \quad (4.6)$$

4. Будова матриці групових переваг:

$$A_{n \times m} = (a_{ij}) (i=1, n, j=1, m) \quad (4.7)$$

5. Визначення системи групових переваг $R_{\bar{a}\bar{a}} = R_1 \succ R_2 \succ_3 \succ R_4 \succ R_5 \succ \dots$ за середнім значенням рангів параметрів групи:

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (4.8)$$

6. Визначення міри узгодженості групи експертів;

6.1. Дисперсія:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{grj} - R_i)^2}{m-1} \quad (4.9)$$

6.2. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (4.10)$$

6.3. Коефіцієнт варіації:

$$\nu = \frac{\sigma_j}{R_{grj}} * 100\% \quad (4.11)$$

Якщо $\nu < 33\%$ - думки експертів узгоджені, якщо $\nu > 33\%$ - думки експертів неузгоджені, необхідно повторити експертне опитування або скористатися коефіцієнтом конкордації Кендалла для визначення узгодженості думок експертів за усіма параметрами (процедурам):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (4.12)$$

де t_j - число однакових рангів в j -м рядку, що виставив j -й експерт:

$$T_j = \sum (t_i^3 - t_i) \quad (4.13)$$

Дисперсія (загальна):

$$S = \sum \left(\sum_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R} \right)^2 \quad (4.14)$$

Середня сума рангів за кожним параметром:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m R_{ij} \quad (4.15)$$

Якщо $W = 0,6..0,7$ - узгодженість думок експертів - висока, якщо $W < 0,6$ – необхідно повторити експертне опитування.

1) Визначення статистичної значущості коефіцієнту конкордації W за критерієм χ^2

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2}m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m R} > \chi_t^2 \quad (4.16)$$

2) Знаходження коефіцієнта рангової кореляції Спірмена для визначення узгодженості j -го експерта та групи експертів:

$$r_{s_i} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.17)$$

3) Статистична значущість коефіцієнта рангової кореляції Спірмена за критерієм Стюдента

$$t_{\phi} = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} > t_{st} \quad (4.18)$$

4) Отримання моделі значущості досліджуваних параметрів за узгодженою системою групових переваг експертів:

$$R_{\bar{a}\bar{d}} = R_1 \succ R_2 \succ_3 \succ R_4 \succ R_5 \succ \dots \quad (4.19)$$

5) Кінець задачі

Послідовність визначення вагових коефіцієнтів:

1) Визначення системи групових переваг експертів $R_{\bar{a}\bar{d}} = R_i \succ R_{i+j} \dots$ за алгоритмом №1;

2) Визначення вагових коефіцієнтів:

$$\omega_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_j}, \quad (4.20)$$

де, C_i – оцінка, що отримана за припущенням гіпотези про лінійну залежність між рангом і відносною цінністю параметру;

R_{ij} – ранг i -го параметру j -го експерту (R_{grj} – ранги групи експертів).

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1, \quad (4.21)$$

Розглянуто оцінювання системи оцінювання ризику втрати норм ешелонування за критеріями:

- Безпека
- Можливість інтеграції

- Ефективність
- Економічність

Експерти (18 експерта) оцінили значущість системи оцінювання ризику втрати норм ешелонування.

Середнє (думка групи експертів):

$$R_{grj} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (4.22)$$

Для визначеності думки експертів визначені наступні показники: дисперсія(4.9), середньоквадратичне відхилення(4.10) і коефіцієнт варіації(4.11).

Таблиця 4.2. Визначення ефективності системи оцінювання ризику втрати норм ешелонування

Експерти	Критерії			
	Безпека	Ефективність	Можливість інтеграції	Економічність
	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄
1	1	4	2	3
2	1	3	2	3
3	2	4	3	2
4	2	3	1	3
5	1	3	1	2
6	1	4	2	4
7	4	3	2	3
8	4	3	2	3
9	4	3	1	3
10	3	1	3	2
11	1	4	1	2
12	2	4	3	2
13	1	2	3	2
14	3	1	3	1
15	4	2	3	2
16	1	4	1	4
17	3	2	3	4
18	2	4	2	3
<i>R_{gp}</i>	2,222	3	2,111	2,667
<i>D_i</i>	1,477	1,059	0,693	0,706
<i>δ_i</i>	1,215	1,029	0,832	0,84
<i>v_b %</i>	54,68	32,3	39,413	31,496

C	0,695	0,5	0,722	0,583
ω_i	0,278	0,2	0,289	0,233

Розрахунки представлені в таблиці 4.2. Оскільки коефіцієнти кореляції менше 33%, тобто думка експертів узгоджена. Важливість критеріїв представлена на рисунку 4.11.

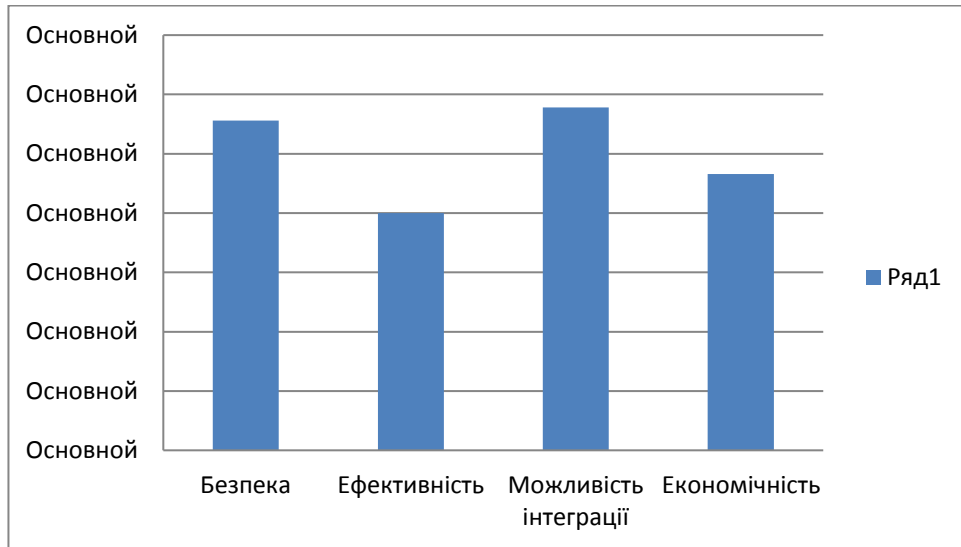


Рисунок 4.11 – Ефективність системи за критеріями.

Висновки до розділу 4

Цей спец.розділ складається з двох під розділів. Перший про автоматизовану обробку аеронавігаційних даних польоту АСА800/АС800 (Air Canada 800), що забезпечуються авіакомпанією Air Canada зі сполученням Toronto, Canada (YYZ) та Dublin, Ireland (DUB). Дата вильоту 13 вересня 2022 о 09:29АМ (EDT). Дата посадки 14 вересня о 08:59АМ (IST). Політ завершився пізніше на 24 хвилин від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Boeing 787-9 Dreamliner (B789). Результатом розрахунку є графіки на рис. 4.4-4.10 а також наступні данні: загальний час польоту рейсу АСА800 від 13 вересня 2022 склав 5 години 55 хв 36 с, довжина траєкторії – 5795.6 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 5795.5км.

Другий оцінка ризику втрати норм ешелонування на основі методу експертних оцінок. Наведено розбір покрокового застосування цього методу разом з формулами які використовуються на кожному етапі. Сам розрахунок конкретного випадку наведений в другій частині розділу де наведено таблицю з розрахунками. Крім того в таблиці є дані щодо думки 18 експертів та їх оцінки стосовно ефективності системи оцінювання ризику втрати норм ешелонування . Після чого визначили думку групи експертів для визначення наступних показників: дисперсія, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації. В кінці ми визначили ваговий коефіцієнт і створили графік який показує критерій, що на думку експертів є найбільш ефективний в системі.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Основні джерела забруднення навколишнього середовища, при експлуатації комп'ютерів

Актуальним розділом роботи є охорона навколишнього середовища. Даному питанню необхідно приділити особливу увагу, так як лише при врахуванні усіх факторів, які впливають на навколишнє середовище, при експлуатації комп'ютера, можливо визначити доцільність її застосування та оцінити ступінь впливу на здоров'я людей.

Навколишнє середовище – це цілісна система взаємопов'язаних об'єктів та явищ, в якій проходять праця та побут людей. Будь який технологічний процес певною мірою здійснює вплив на оточуюче середовище, а інколи забруднює її. У будь якому разі, рано чи пізно страждає сама людина. Тому необхідно попередити шкідливий вплив людської діяльності на оточуюче середовище або мінімізувати його.

Найбільш небезпечним фактором, при користуванні комп'ютером є виникнення електромагнітного поля.

Дослідження вчених за останні 20 років показали, що електромагнітні поля, створені технічними системами, навіть у сотні разів слабші природного поля Землі, можуть бути небезпечними для здоров'я людини. Якщо не змінити принципи побудови електронних та радіотехнічних систем, то тенденція їх розвитку і негативний вплив на біологічні системи на рівні дії полів можуть призвести до катастрофічного за своїми наслідками впливу на біосферу та людину.

Плоди науково-технічного прогресу, які повинні служити на благо людства, стають агресивними по відношенню навіть до своїх творців. Стрімко зростає енергонасиченість побуту людей. Електроніка підступає все ближче до людини. Комп'ютер, телевізор, відео-системи, мікрохвильові печі, радіотелефони - ось далеко не повний перелік технічних засобів, з якими людина постійно взаємодіє. Павутиння проводів електропостачання в будинках та в службових приміщеннях

оточують людину. Людина знаходиться тривалий час під дією штучних полів, створених електронними системами та системами електропостачання.

Особливо стрімко в наше життя входять комп'ютери і телевізійні системи. Сьогодні у всьому світі комп'ютери займають важливе місце у роботі, житті та відпочинку людей. Без них вже неможливо уявити сучасний світ. Одним із шкідливих апаратних забезпечень ЕОМ для людського організму є дисплеї. Дисплеї, сконструйовані на основі електронно-променевої трубки, є джерелами електростатичного поля, м'якого рентгенівського, ультрафіолетового, інфрачервоного, видимого, низькочастотного, наднизькочастотного та високочастотного електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Вплив комплексу ЕМВ чи окремих його видів на виникнення різних захворювань почали вивчати з моменту їх використання. Наприкінці 60-х років радянські вчені встановили вплив електромагнітних полів, навіть дуже слабких, на нервову систему людини. У 70-ті роки ця проблема стала предметом широких дискусій і досліджень.

Джерелами електромагнітних випромінювань є мережі живлення (частота 50 Гц), система рядкового розгорнення (2-400 кГц), блок модуляції променя (5-10 МГц).

Було встановлено, що випромінювання низької частоти, в першу чергу, негативно впливають на центральну нервову систему, викликаючи головні болі, запаморочення, нудоту, депресію, безсоння, відсутність апетиту, виникнення синдрому стресу, причому нервова система реагує навіть на короткі за тривалістю впливу щодо слабких полів частоти: змінюється гормональний стан організму, порушуються біоструми мозку. Все це відображається на процесах навчання і запам'ятовування.

Низькочастотне електромагнітне поле може стати причиною шкірних захворювань (вугреве висипання, себорійна екзема, рожевий лишай тощо), хвороб серцево-судинної системи та кишково-шлункового тракту, воно впливає на білі кров'яні тілця, що призводить до виникнення пухлин, у тому числі й злоякісних.

Особливу увагу медики приділяють дослідженням впливу електромагнітних випромінювань на жінок в період вагітності. Статистичні дані свідчать про те, що робота за комп'ютером порушує нормальний хід вагітності, часто є причиною появи на світ дітей із вродженими вадами, з яких найпоширенішими є дефекти розвитку головного мозку. Тому необхідно, щоб керівництво своєчасно переводило вагітних жінок на роботу, не пов'язану з використанням моніторів.

Часто можна почути думку, що портативні комп'ютери типу Notebook безпечні для користувачів і не мають потреби в таких додаткових заходах захисту, як приєкранні фільтри: їх можна вважати пристроями, що зберігають здоров'я людей і споживають значно менше енергії, ніж їхні електронно-променеві попередники. В основі подібних міркувань лежить той факт, що в портативних комп'ютерах використовуються екрани на основі рідких кристалів, що не генерують шкідливих випромінювань, властивих звичайним моніторам з електронно-променевою трубкою. Однак результати досліджень, проведених у науково-дослідних центрах, показали, що електромагнітне випромінювання портативних комп'ютерів типу Notebook значно перевищує екологічні нормативи. Беручи до уваги результати досліджень щодо величини електромагнітного випромінювання Notebook, можна прийти до висновку, що інформаційна торсійна компонента за рівнем негативного впливу на користувача нічим не відрізняється від моніторів на основі електронно-променевої трубки (ЕПТ). Необхідно зазначити, що рівні електромагнітних випромінювань портативних комп'ютерів перевищують нормативні параметри для багатьох комп'ютерів з моніторами на основі ЕПТ.

5.2. Електромагнітні поля

Електромагнітне поле поширюється у виді електромагнітних хвиль зі швидкістю, близької до швидкості світла. Електромагнітні коливання можуть виражатися або у величинах довжини хвиль, або у величинах частоти.

Джерелами електромагнітних полів можуть бути лампові генератори високої частоти, ультрависокочастотні генератори, генератори надвисоких частот і ін.

Електромагнітний спектр від інфранизьких до надвисоких частот умовно розділяється на діапазон по частоті коливань або довжині хвилі (табл. 5.1.).

Таблиця 5.1. Спектр електромагнітних коливань від інфранизьких до надвисоких частот

Діапазон частот	Діапазон хвиль	Частота коливань	Довжина хвилі
Низькі частоти (НЧ)	Інфранизькі	0,003-0,3 Гц	10^7 - 10^6 км
	Низькі	0,03-3,0 Гц	10^6 - 10^4 км
	Промислові	3-300 Гц	10 ⁴ -10 ² км
	Звукові	300 Гц - 30 кГц	10 ² -10 км
Високі частоти (ВЧ)	Довгі	30-300 кГц	10-1 км
	Середні	300 кГц-3 МГц	1 км - 100 м
	Короткі	3-30 МГц	100-10 м
Ультра - високі частоти (УВЧ)	Ультракороткі	30-300 МГц	10-1 м
Надвисокі частоти (СВЧ)	Дециметрові	300 сГц - 3 ГГц	100-10 см
	Сантиметрові	30-300 ГГц	10-1 см
	Міліметрові	30-300 ГГц	10—1 мм

Устаткування і системи, що генерують, передають і використовують електромагнітну енергію для технологічних процесів, створюють у навколишньому середовищі електромагнітні поля. Основними параметрами електромагнітних коливань є довжина хвилі, частота коливань і швидкість поширення коливань. Електромагнітне поле – сукупність як перемінного електричного, так і нерозривно з ним зв'язаного магнітного поля.

Навколо джерела випромінювання хвиль схематично можна виділити три зони: ближню – зону індукції, проміжну – зону інтерференції і далеку – зону

випромінювання. Співвідношення електричної і магнітної складової в цих зонах неоднакові.

У зоні індукції працюючі піддаються впливові різних по величині електричних і магнітних полів, тому їхня інтенсивність оцінюється роздільно, величинами напруженості електричної і магнітної складової у вольтах на метр (В/м) для електричного й в амперах на метр (А/м) для магнітного поля. Ці поля мають місце при роботі з джерелами низько-, високо- і ультрависокочастотних випромінювань.

Працюючі з високочастотною апаратурою практично знаходяться в хвильовій зоні. Інтенсивність полючи оцінюється величиною щільності потоку енергії – кількістю енергії, що падає на одиницю поверхні, і виражається у ватах на квадратний метр (Вт/м²) або в мілі- і мікроватах на квадратний сантиметр (мВт/см², мкВт/см²).

5.3. Дія на організм

Біологічний ефект електромагнітних полів залежить від діапазону частот, інтенсивності фактора, що впливає, тривалості, характеру і режиму опромінення (постійне, аперіодичне).

Загальним у характері біологічної дії електромагнітних полів радіочастот великої інтенсивності є тепловий ефект, що може виразитися або в інтегральному підвищенні температури тіла, або у виборчому нагріванні окремих тканин або органів, причому органи і тканини недостатньо добре постачені кровоносними судинами (хрусталик очі, жовчний міхур, сечовий міхур) більш чуттєві до такого локального перегріву. Найбільш чуттєвої до впливу радіохвиль є центральна нервова і серцевосудинної системи.

Радіочастотне опромінення більшої інтенсивності може викликати деструктивні зміни в тканинах і органах. Гострі поразки можуть бути важкими, середньої ваги і легеньми. Зустрічаються ці форми досить рідко і можуть виникнути в аварійних ситуаціях і при порушенні техніки безпеки. При поразках середньої ваги й у легких випадках ступінь прояву

вегетативного синдрому може варіювати від стертої до вираженої форми. Порушення в серцево-судинній системі у випадках середньої ваги відразу після опромінення можуть виявлятися ді-енцефальними кризами, приступами пароксизмальної тахікардії. Згодом зміни визначаються симптокомплексом, характерним для судинної гіпотонії, однак можливі випадки гіпертензії. Порушення крові зводяться в основному до розвитку помірного нейтрофільного лейкоцитозу.

Дані клінічних досліджень дозволяють виділити три характерних синдроми дії радіочастотних випромінювань: астенічний, астеновегетативний і діенцефальний.

При впливі Свч-випромінювання можливий розвиток катаракти як при короткочасному опроміненні, так і при тривалому впливі невисоких рівнів ППЕ.

Висновки до розділу 5

Навколишнє середовище – це цілісна система взаємопов’язаних об’єктів та явищ, в якій проходять праця та побут людей. Будь який технологічний процес певною мірою здійснює вплив на оточуюче середовище, а інколи забруднює її. У будь якому разі, рано чи пізно страждає сама людина. Тому необхідно попередити шкідливий вплив людської діяльності на оточуюче середовище або мінімізувати його.

Найбільш небезпечним фактором, при користуванні комп’ютером є виникнення електромагнітного поля.

Дослідження вчених за останні 20 років показали, що електромагнітні поля, створені технічними системами, навіть у сотні разів слабші природного поля Землі, можуть бути небезпечними для здоров'я людини.

Електромагнітне поле поширюється у виді електромагнітних хвиль зі швидкістю, близької до швидкості світла.

Електромагнітне поля звичайно шкідливо впливають на навколишнє середовище. Біологічний ефект електромагнітних полів залежить від діапазону частот, інтенсивності фактора, що впливає, тривалості, характеру і режиму опромінення (постійне, аперіодичне).

Для забезпечення безпеки робіт із пристроями, що випромінюють електромагнітну енергію використовуються організаційні, інженерно-технічні, лікувально-профілактичні засоби і міри захисту.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Перелік небезпечних та шкідливих факторів, що виникають під час експлуатації комп'ютера

Науково-технічний прогрес вніс серйозні зміни в умови виробничої діяльності працівників розумової праці. Їх праця стала більш інтенсивною, напруженою, вимагаючою значних витрат розумової, емоційної і фізичної енергії. Це зажадало комплексне рішення проблем ергономіки, гігієни і організації праці, регламентації режимів праці і відпочинку.

В даний час комп'ютерна техніка широко застосовується у всіх областях діяльності людини. При роботі з комп'ютером людина піддається дії ряду небезпечних і шкідливих виробничих чинників: електромагнітних полів (діапазон радіочастот: ВЧ, УВЧ і СВЧ), інфрачервоного і іонізуючого випромінювань, шуму і вібрації, статичної електрики і ін. 2.

Робота з комп'ютером характеризується значною розумовою напругою і нервово-емоційним навантаженням операторів, високою напруженістю зорової роботи і достатньо великим навантаженням на м'язи рук при роботі з клавіатурою ЕОМ. Велике значення має раціональна конструкція і розташування елементів робочого місця, що важливе для підтримки оптимальної робочої пози людини-оператора.

В процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримувати правильний режим праці і відпочинку. Інакше у персоналу наголошуються значна напруга зорового апарату з появою скарг на незадоволеність роботою, головні болі, дратівливість, порушення сну, утомленість і хворобливі відчуття в очах, в поясниці, в області шиї і руках.

Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів приведена в ДСТУ 12.0.003-74. До них відносяться: хімічні, біологічні, психофізичні і фізичні фактори.

При виконанні досліджень небезпечними і шкідливими виробничими факторами були визнані:

Колір і коефіцієнти віддзеркалення. Колір приміщень і меблів повинен сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття та гарного настрою.

Джерела світла, такі як світильники і вікна, які дають віддзеркалення від поверхні екрану, значно погіршують точність сприйняття знаків на екрані монітору чи клавіатури і спричиняють за собою перешкоди фізіологічного характеру, які можуть виразитися в значній напрузі, особливо при тривалій роботі. Віддзеркалення, включаючи віддзеркалення від вторинних джерел світла, повинне бути зведено до мінімуму. Для захисту від надмірної яскравості вікон можуть бути застосовані штори і екрани 3.

В приміщеннях, де знаходиться комп'ютер, необхідно забезпечити наступні величини коефіцієнта віддзеркалення: для стелі: 60.70%, для стін: 40.50%, для підлоги: біля 30%. Для інших поверхонь і робочих меблів: 30.40%.

Параметри мікроклімату. Параметри мікроклімату можуть мінятися в широких межах, тоді як необхідною умовою життєдіяльності людини є підтримка постійності температури тіла завдяки терморегуляції, тобто здібності організму регулювати віддачу тепла в оточуючу середовище. Принцип нормування мікроклімату – створення оптимальних умов для теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем.

Обчислювальна техніка є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. В приміщеннях, де встановлені комп'ютери, повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату. В санітарних нормах встановлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення (табл. 6.1).

Об'єм приміщень, в яких розміщені працівники обчислювальних центрів, не повинен бути меншим $19,5\text{м}^3/\text{людина}$ з урахуванням максимального числа одночасно працюючих в зміну. Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери, приведені у табл. 6.2.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату для приміщень, де встановлені комп'ютери

Період	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	22.24°C
	Відносна вологість	40.60 %
	Швидкість руху повітря	до 0,1м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	23.25°C
	Відносна вологість	40.60 %
	Швидкість руху повітря	0,1.0,2м/с

Таблиця 6.2 – Норми подачі свіжого повітря в приміщення, де розташовані комп'ютери

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата свіжого повітря, що подається в приміщення, м ³ /на одну людину в годину
Об'єм до 20м ³ на людину	Не менше 30
20.40м ³ на людину	Не менше 20
Більше 40м ³ на людину	Природна вентиляція

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

Шум і вібрація. Шум погіршує умови праці здійснюючи шкідливу дію на організм людини. Працюючі в умовах тривалої шумової дії випробовують дратівливість, головні болі, запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, пониження апетиту, болі у вухах і т.д. Такі порушення в роботі ряду органів і систем організму людини можуть викликати негативні зміни в емоційному стані людини аж до стресових ситуацій. Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється стомленість у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-

психічною напругою, погіршується мовна комутація. Все це знижує працездатність людини і її продуктивність, якість і безпеку праці. Тривала дія інтенсивного шуму [вище 80 дБ] на слух людини приводить до його часткової, або повної втрати.

У табл. 6.3 вказані граничні рівні звуку залежно від категорії тяжкості і напруженості праці, що є безпечними відносно збереження здоров'я і працездатності.

Таблиця 6.3 – Граничні рівні звуку, дБ, на робочих місцях.

Категорія напруженості праці	Категорія тяжкості праці			
	I. Легка	II. Середня	III. Важка	IV. Дуже важка
I. Мало напружений	80	80	75	75
II. Помірно напружений	70	70	65	65
III. Напружений	60	60	-	-
IV. Дуже напружений	50	50	-	-

Рівень шуму на робочому місці математиків-програмістів і операторів відеоматеріалів не повинен перевищувати 50дБ, а в залах обробки інформації на обчислювальних машинах - 65дБ. Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути фанеровані звукопоглинальними матеріалами. Рівень вібрації в приміщеннях обчислювальних центрів може бути понижений шляхом встановлення устаткування на спеціальні віброізолятори.

Електромагнітне і іонізуюче випромінювання. Більшість учених вважає, що як короткочасна, так і тривала дія всіх видів випромінювання від екрану монітора не небезпечна для здоров'я персоналу чи обслуговуючого комп'ютери. Проте вичерпних даних щодо безпеки дії випромінювання від моніторів на працюючих з комп'ютерами не існує і дослідження в цьому напрямі продовжуються .

На електронно-променевої трубки кінескопа є потенціал близько 20 000 вольт (в 100 разів вище напруги в мережі). Цей потенціал створюється між

екраном дисплея і обличчям оператора, і розганяє порошинки, що осіли на екран, до величезних швидкостей. І ці порошинки, як кулі, вриваються в шкіру того, хто сидить перед екраном. Наступні способи боротьби з цим явищем: зниження кількості пилу в приміщенні. Зокрема, в комп'ютерних класах украї небажане вживання крейди, оскільки крейда поступово переходить з дошки на обличчя дітей шляхом розгону статичними полями.

6.2. Розробка технічних заходів, що знижують негативний вплив на технічний персонал

Освітлення. Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, надаючи позитивну психологічну дію на працюючу, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, ослабляє увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування і різь в очах. неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть привести до нещасного випадку або профзахворювань, тому такий важливий правильний розрахунок освітленості.

Існує три види освітлення - природне, штучне і комбіноване (змішане, тобто природне і штучне разом) .

Згідно СНіП II-4-79 в приміщень обчислювальних центрів необхідно застосувати систему комбінованого освітлення.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,3 - 0,5мм) величина коефіцієнта природного освітлення (КЕО) повинна бути не нижчою 1,5%, а при зоровій роботі середньої точності (якнайменший розмір об'єкту розрізнення 0,5 - 1,0 мм) КЕО повинен бути не нижчим 1,0%. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типа ЛБ, або ДРЛ, які попарно

об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями .

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300лк, а комбінована - 750лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності - 200 і 300лк відповідно.

Основною задачею світлотехнічних розрахунків при природному освітленні є визначення необхідної площі світлових прорізів.

Метод відносної площі світлових прорізів. Це найпростіший метод розрахунку природної освітленості, що застосовується головним чином як перевірочний.

Відносна площа світлових прорізів a — відношення площі вікон до площі підлоги приміщення, що освітлюється(виражається в процентах):

$$a = \frac{S_{\text{вік}}}{S_{\text{підл}}} * 100\%, \quad (6.1)$$

де $S_{\text{вік}}$ – сумарна площа вікон у приміщенні, m^2 ;

$S_{\text{підл}}$ – площа підлоги у цьому ж приміщенні, m^2 .

Перевірочний розрахунок природної освітленості приміщення проводиться в такій послідовності:

1. Вимірюють сумарну площу вікон (світлових прорізів) $S_{\text{вік}}$.
2. Вимірюють площу підлоги у цьому приміщенні $S_{\text{підл}}$.
3. За формулою 6.1. , визначають відносну площу світлових прорізів a та порівнюють її з рекомендованим значенням (табл. 6.4).

Дана дипломна робота виконувалася у приміщенні, площа якого становить 100 кв. метрів, воно має 4 вікна, кожне розміром 3 на 2 метри.

Таблиця 6.4 – Рекомендовані значення відносної площі світлових прорізів для виробничих приміщень

Розряд зорової роботи	Вид робіт за ступенем точності	$\alpha, \%$
I	Роботи дуже високої точності	16...20
III	Роботи високої точності	14...16
IV	Роботи середньої точності	12...14
V	Роботи малої точності	10...12
VI	Грубі роботи	8...10

Визначаємо сумарну площу вікон (світлових прорізів):

$$S_{\text{вік}} = 4 \times 3 \times 2 = 24 \text{ м}^2 \quad (6.2.)$$

2. Площа підлоги у цьому приміщенні становить $S_{\text{підл.}} = 100 \text{ м}^2$.

3. За формулою 6.1. визначаємо відносну площу світлових прорізів α :

$$\alpha = \frac{S_{\text{вік}}}{S_{\text{підл}}} * 100\% = \frac{24}{100} \times 100 = 24\% \quad (6.3.)$$

По таблиці 6.1 визначаємо, що в цьому приміщенні можна запланувати виконання зорової роботи високої точності, що відповідає III розряду зорової роботи. По таблиці 6.1 встановлюємо, що найменший розмір об'єкта розрізнення для цього розряду становить 0,3...0,5 мм.

6.3. Заходи забезпечення пожежної і вибухової безпеки

Пожежна безпека відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 забезпечується наступними нормами:

- системою запобігання пожежі;
- системою пожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами щодо пожежної безпеки.

У помешканні відділу сухо, відносна вологість 48-55%, температура повітря не перевищує 26°C. По категорії вибухо- і пожежонебезпеки дане помешкання відноситься до категорії В – пожежонебезпечності через присутність твердих згораючих матеріалів, таких як: робочі столи, ізоляція, папір та інше. Виходячи

з категорії пожежонебезпеки і поверховості будинку ступінь вогнестійкості будинку II.

Система пожежного захисту:

- аварійне відключення і переключення апаратури;
- наявність первинних засобів пожежогасіння, вогнегасників ВВК-5, тому що вуглекислота має погану електропровідність, або порошкових вогнегасників;
- система оповіщення, світлова і звукова сигналізація; захист легкозаймистих частин устаткування, конструкцій захисними матеріалами;
- у помешканнях, де немає робочого персоналу встановлена автоматична система пожежного захисту.

Організаційні заходами протипожежної профілактики: є вступний інструктаж під час вступу на роботу, навчання персоналу правилам пожежної безпеки; видання необхідних інструкцій і плакатів, засобів наочної агітації, плану евакуації персоналу у випадку пожежі.

Висновки до розділу 6

У даному розділі розглянуто та перераховано небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час експлуатації комп'ютера. Основними з яких являються колір і коефіцієнти віддзеркалення, освітлення, параметри мікроклімату, шум, вібрація та ін. Запропоновано технічні заходи, що знижують вплив небезпечних та шкідливих факторів на технічних персонал. Також складена детальна інструкція з техніки безпеки, пожежної й вибухової безпеки при роботі з ПК.

ВИСНОВКИ

У нашому дослідженні ми оцінили ймовірність зіткнень у повітрі в поперечній площині на основі формули Рейху та реєстратора за даними повітряного руху SDR для повітряного простору України. Відхилення користувачів повітряного простору в бічній площині оцінюються на основі місцезнаходжень отриманих користувачів та національної мережі маршрутів.

Використання TUGED на етапі статистичного аналізу дає кращі показники, ніж подвійні експоненційні або звичайні PDF-функції, завдяки врахуванню технічної помилки польоту, яка в основному використовується внаслідок впливу людського фактора на основі вхідних даних.

Отримане значення ризику зіткнення повітря у поперечній площині вище у порівнянні зі значенням ризику, отриманим для азійського регіону ($7,41 \times 10^{-8}$) завдяки використанню мінімумів бічного ешелонування за специфікацією RNAV 1 (7 NM), тоді як для дослідження в азійському регіоні був використаний RNP 10 (50 NM). Рис. 6 вказує на ймовірність бічного перекриття по відношенню до ширини моделі (λ_y). Аналіз отриманих даних показує, що для більших номерів специфікацій може мати місце менше значення ймовірності бічного перекриття. Таким чином, невелике значення ризику для повітряного простору України є результатом низького потоку транспорту.

Результати цього дослідження можуть бути використані диспетчерами, пілотами та іншими учасниками повітряного руху для кращого планування польотів та поліпшення структури повітряного простору з метою підвищення безпеки польотів. Крім того, запропонований метод оцінки ризику використовується для виявлення потенційних змін у безпеці повітряного простору К. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування небезпечних ситуацій при польотах на паралельних маршрутах та при створенні бічного розділення на маршрутах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Accident Statistics. The integrated Safety Trend Analysis and Reporting System (iSTARS). Safety. ICAO, 2018. Доступно за посиланням: <https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx>
2. Aeronautical Information Publication (AIP) of Ukraine. Ukrainian State Air Traffic Services Enterprise, 2017.
3. Campos R. S., Lovisolo L. RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools. Artech House, 2015. 339 p.
4. Global Air Navigation Plan. 2016 – 2030. Capacity and efficiency. ICAO, 2016. 142 p.
5. Global Positioning system: Theory and applications. Volume 1. Edited by W. Bradford, James Parkinson, Jr. Spilker. Washington : American institute of aeronautics and astronautics inc., 1996. 794 p.
6. Hofmann-Wellenhof B., Legat K., Wieser M. Navigation: principles of positioning and guidance. Springer Science & Business Media, 2011. 448 p.
7. International Standards and Recommended Practieces. Aeronautical Telecommunications. Surveillance and collision avoidance system: Annex 10 to the convention on International Civil Aviation. Vol. 4. ICAO, 2007. 288 p.
8. Ivashchuk O., Ostroumov I.V. Separation minimums for Urban Air Mobility. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2021. P. 633-636..
9. Ivashchuk O., Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Sushchenko O., Averyanova Yu., Solomentsev O., Zaliskyi M., Yanovsky F., Shcherbyna O. A Configuration Analysis of Ukrainian Flight Routes Network. 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2021. P. 6-10. DOI: 10.1109/CADSM52681.2021.9385263.
10. Kharchenko V.P., Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., But V. Performance analysis of positioning by navigational aids according to RNAV requirements.

- Proceedings of the National Aviation University. 2020. № 84(3). P. 6-13 DOI: 10.18372/2306-1472.84.14946 .
11. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V. Navigation by Pair of Distance Measuring Equipment with Extrapolated Data. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. P. 1-5. DOI: 10.1109/TCSET55632.2022.9766941.
 12. Moir I., Seabridge A. Civil avionics systems. John Wiley & Sons, 2006. 396 p.
 13. Ostroumov I.V. Contemporary Air Navigation System. Logistics and Transport. 2020. № 47(3). P. 39-45.
 14. Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322-334.
 15. Ostroumov I.V., Ivashchuk O., Shmeleva T. Risk of mid-air collision in a lateral plane. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 1st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2020. 2021. № 2805. P. 297-307.
 16. Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S. An airspace analysis according to area navigation requirements. Aviation. 2019. № 23(2). P. 36-42 DOI: 10.3846/aviation.2019.10302 .
 17. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Probability Estimation of Aircraft Departures and Arrivals Delays. Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science. 2021. № 12950. P. 363-377 DOI: 10.1007/978-3-030-86960-1_26 .
 18. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Accuracy improvement of VOR/VOR navigation with angle extrapolation by linear regression. Telecommunications and Radio Engineering. 2019. № 78(15). P. 1399-1412 DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i15.90 .

19. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Aviation Weather Data Processing with Spline Functions. 2021 IEEE 12th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). 2021. P. 67-70. DOI: 10.1109/ELIT53502.2021.9501065.
20. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Collision Avoidance Systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p.. UK: Elsevier Ltd., 2021. 164-172p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102671-7.10514-7. ISBN: 9780081026717.
21. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Configuration Analysis of European Navigational Aids Network. 2021 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2021. P. 1-9. DOI: 10.1109/ICNS52807.2021.9441576.
22. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. . UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102671-7.10150-2. ISBN: 9780081026717.
23. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Interrogation Rate Measurements of Distance Measuring Equipment in Air Navigation System. 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 2020. P. 1-5. DOI: 10.1109/SAIC51296.2020.9239143.
24. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Main Threats and Solutions for Positioning by Navigational Aids Network. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the International Workshop on Conflict Management in Global Information Networks (CMiGIN 2019) co-located with 1st International Conference on Cyber Hygiene and Conflict Management in Global Information Networks (CyberConf 2019). 2019. . P. 183-193 .
25. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Modelling and simulation of DME Navigation global Service volume. Advances in Space Research. 2021. № 8(68). P. 3495-3507 DOI: 10.1016/j.asr.2021.06.027 .

26. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Passive system for navigational aids performance monitoring. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2021. № 80(5). P. 1-9 DOI: 10.1615/TelecomRadEng.2021037156 .
27. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. *Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021*. ICTM 2021. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. № 367. P. 297-310 DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5_26.
28. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Risk Analysis of Positioning by Navigational Aids. *Signal Processing Symposium: SPSympo-2019, International Conference of IEEE*. 2019. P. 92-95. DOI: 10.1109/SPS.2019.8882003.
29. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Risk Assessment of Mid-air Collision Based on Positioning Performance by Navigational Aids. *2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*. 2020. P. 34-37. DOI: 10.1109/MSNMC50359.2020.9255506.
30. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Statistical Analysis and Flight Route Extraction from Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Data. *2022 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. 2022. P. 1-9. DOI: 10.1109/ICNS54818.2022.9771515.
31. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Kyzymchuk O. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Trajectory Data Processing. *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. 2022. P. 43-47. DOI: 10.1109/TCSET55632.2022.9767058.
32. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Sushchenko O., Averyanova Yu., Shcherbyna O., Solomentsev O., Yanovsky F., Zaliskyi M. Ukrainian Navigational Aids Network Configuration Estimation. *2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*. 2021. P. 5-9. DOI: 10.1109/CADSM52681.2021.9385226.

33. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. *Aviation*. 2022. № 26(1). P. 1-10 DOI: 10.3846/aviation.2022.16589.
34. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S., Fala N. Triple Probability Density Distribution model in the task of Aviation Risk Assessment. *Aviation*. 2020. № 24(2). P. 57-65 DOI: 10.3846/aviation.2020.12544 .
35. Performance-Based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. ICAO, 2008. 304 p.
36. Performance-Based Navigation. Navigation strategy. FAA, 2016. 37 p.
37. Procedures for air navigation services. Air Traffic Management. Doc. 4444. ICAO, 2016. 464 p.
38. Tarasevich S., Ostroumov I.V. A Light Statistical Method of Air Traffic Delays Prediction. 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 2020. P. 1-5. DOI: 10.1109/SAIC51296.2020.9239137.
39. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Outliers detection in Unmanned Aerial System data. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2021. P. 591-594.
40. Tsybaliuk I., Ivashchuk O., Ostroumov I.V. Estimation the Risk of Airplane Separation Lost by Statistical Data Processing of Lateral Deviations. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2020. P. 269-272. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208935.
41. Державне Підприємство Украрорух, офіційний сайт. [Електронний ресурс]. URL : <http://www.ukrsatse.ua>
42. Наказ про затвердження Правил ешелонування під час обслуговування повітряного руху: від 29 вересня 2010 р. № 714 / Міністерство транспорту та зв'язку України. Офіц. вид. К. : Парлам. вид-во, 2010.
43. Остроумов І. В. Авіоніка: лабораторний практикум. К. : НАУ, 2015. 58 с.
44. Харченко В.П., Остроумов І.В. Авіоніка. Київ: НАУ, 2013. 281с. ISBN: 978-966-598-573-0.

45. Постанова про використання повітряного простору України: від 29 березня 2002 р. № 401 / Кабінет міністрів України. Офіц. вид. К. : Парлам. вид-во, 2002.
46. Постанова про внесення змін до Положення про використання повітряного простору України: від 1 липня 2009 р. № 980 / Кабінет міністрів України. Офіц. вид. К. : Парлам. вид-во, 2009.
47. Проект розвитку навігаційної інфраструктури Украероруху до 2015 року для забезпечення навігації, заснованої на характеристиках. Украерорух, 2017. 162 с.
48. M. Ryota, "Identifying the ratio of aircraft applying SLOP by statistical modeling of lateral deviation," Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 54(183), 2011, pp. 30-36.
49. A Unified Framework for Collision Risk Modelling in Support of the Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima, Doc
50. P. Brooker, "Longitudinal collision risk for ATC track systems: a hazardous event model," The Journal of Navigation, vol. 59(1), 2006, pp. 55-70.
51. Flightaware. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс]. URL: <https://flightaware.com/adsb/>
52. Software for Air Navigation analysis. Visualization of airplane trajectory based on ADS-B data messages. [Електронний ресурс]. URL: https://www.ostroumov.sciary.com/codes_airplane-trajectory-visualization

ДОДАТОК А

Код програмного забезпечення у MATLAB

```

clear all
clc
close all
[lat_u, lon_u, ~]=ukraine();
format shortg
daterecord=clock;
% figure('Color','white','Name','Traffic Display');
% title('Traffic Display')
Latref='49.01';
Lonref='31.28';
fname=strcat('https://public-
api.adsbexchange.com/VirtualRadar/AircraftList.json?lat=',Latref,
'&lng=',Lonref,'&fDstL=0&fDstU=700');
data=[0,0,0];
for t=1:2
clear raw str dat n LAT LON ALT id in traff
%read data from adsbexchange.com

raw=urlread(fname);
str = char(raw');

% %load from data file
% fname = 'AircraftList.json';
% fid = fopen(fname);
% raw = fread(fid,inf);
% str = char(raw');
% fclose(fid);

dat = jsondecode(str);

%dat = parse_json(str);
n=length(dat.acList);
%data lat, lon, alt
for i=1:n
clear g
g=dat.acList{i,1};
LAT(i)=g.Lat;
LON(i)=g.Long;
if isfield(g,'Alt')
ALT(i)=g.Alt;
else
ALT(i)=0;
end
%id{i}=g.Reg;
id{i}=g.Icao;
end
% data=[LAT', LON', ALT'];
% traff=struct('data',data, 'id', id);
% dtime(t,:)=clock;
% traffic{t}=traff;
% for i=1:length(LAT)
%

```

```

% end
in = inpolygon(LAT, LON,lat_u, lon_u);
data=[data;[LAT(in)',LON(in)', ALT(in)']];
% clf
% latlim = [min(data(:,1))-0.2 max(data(:,1))+0.2];
% lonlim = [min(data(:,2))-0.2 max(data(:,2))+0.2];
%
% usamap(latlim, lonlim);
% geoshow(data(:,1), data(:,2), 'Marker', 'd', 'Color', 'k',
'DisplayType', 'point');
% for i=1:n
%     hold on
%     textm(data(i,1), data(i,2)+0.05, id{i});
% end
% hold off

pause(2);

    end
data(1,:)=[];
c = clock;
save(strcat('ukraine_traffic_data_',num2str(c(1)),num2str(c(2)),nu
m2str(c(3)),num2str(c(4)),num2str(c(5))), 'data');

clc
clear all
close all
file='routes_04.xlsx';

[~, wp_titl, ~] = xlsread(file, 'data', 'A:A');
wp_titl(1)=[];
[~, la, ~] = xlsread(file, 'data', 'B:B');
la(1)=[];
[~, lo, ~] = xlsread(file, 'data', 'C:C');
lo(1)=[];
[~, w1, ~] = xlsread(file, 'route', 'A:A');
w1(1)=[];
[~, w2, ~] = xlsread(file, 'route', 'B:B');
w2(1)=[];
h1 = xlsread(file, 'route', 'C:C');
h1(1)=[];
h1(find(h1<1000))=h1(find(h1<1000))*100;
h2 = xlsread(file, 'route', 'D:D');
h2(1)=[];
h2(find(h2<1000))=h2(find(h2<1000))*100;

for i = 1:numel(wp_titl)
    wp_title{i}=char(wp_titl(i));
    lat1(i,:)=textscan(la{i}, '%2f%*1c%2f%*1c%2f');
    lon1(i,:)=textscan(lo{i}, '%*1c%2f%*1c%2f%*1c%2f');
end
lat2=cell2mat(lat1);

```

```

lon2=cell2mat(lon1);
Lat=lat2(:,1)+(lat2(:,2)*1/60)+(lat2(:,3)*1/3600);
Lon=lon2(:,1)+(lon2(:,2)*1/60)+(lon2(:,3)*1/3600);

%% routes
for i = 1:numel(wp_titl)
    l1(find(strcmp(w1, wp_titl{i})))=i;
    l2(find(strcmp(w2, wp_titl{i})))=i;
end
l_x=[Lat(l1),Lat(l2)];
l_y=[Lon(l1),Lon(l2)];

%% plot

latlim = [min(Lat-0.1) max(Lat+0.1)];
lonlim = [min(Lon-1) max(Lon+1)];

figure('Color','white','Name','Flight routes');
title('Flight route');
usamap(latlim, lonlim);
geoshow(Lat, Lon, 'Marker', '^', 'Color', 'Black', 'DisplayType',
'point', 'MarkerSize', 5);

hold on
textm(Lat-0.1, Lon, wp_title, 'Color', 'Black', ...
      'FontSize', 9, 'HorizontalAlignment', 'center');
for i = 1:numel(l1)
    geoshow(l_x(i,:), l_y(i,:), 'Color', 'Black', 'LineWidth', 1);
end
hold off
geoshow(lat_a, lon_a, 'Marker', 'o', 'Color', 'Green',
'DisplayType', 'point', 'MarkerSize', 5);

%% routs length
figure('Color','white','Name','Range');
title('Range diagram');
alttp=linspace(min(h2), max(h1), 200);
for i=1:length(alttp)
    clear in
    in=find(h1>=alttp(i) & h2<=alttp(i));
    range(i)=sum(leng(in))/1000;%km
    rnumber(i)=length(in);
end
range=range/1.852 % to NM
yyaxis left
plot(alttp,range ); xlabel('Altitude, ft');ylabel('Length,
NM');grid on;
yyaxis right
plot(alttp,rnumber ); ylabel('Amount of Routes');legend('Total
length', 'Amount of Routes');
xlim([0, max(alttp)])

```