

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«ДЕРЖАНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ  
ІНСТИТУТ»**

**Кафедра аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

**В.о. завідувача кафедри**

**кандидат технічних наук, доцент**

**\_\_\_\_\_ Геннадій ВЛАСЕНКО**

**« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»**

**ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ**

**«УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ ТА  
КОМПЛЕКСАМИ»**

**Тема: «Методика організації та управління авіаційними перевезеннями  
із застосуванням методів зональної навігації та кількісних показників  
повітряного руху»**

**Виконав:**

**Павло ДОРОФЄЄВ**

**Керівник:**

**Римвідас ХРАЩЕВСЬКИЙ**

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

**охорона праці: асистент кафедри цивільної та промислової безпеки  
ім. Героя України Чуба О.С.**

**Ірина ЯКИМЕЦЬ**

**охорона навколишнього середовища: доцент кафедри екології  
к.т.н. доцент**

**Лариса ЧЕРНЯК**

**Нормоконтролер:**

**доцент кафедри аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів  
к.військ.н., с.н.с.**

**Олександр КОСОГОВ**

**Київ 2024**

**ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«ДЕРЖАНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ  
ІНСТИТУТ»**

Аерокосмічний факультет  
Кафедра Кафедра Аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів  
Освітній ступень «Магістр»  
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»  
Освітньо-професійна програма «Управління авіаційними транспортними системами та комплексами»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

\_\_\_\_\_ Г.М.Власенко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

на виконання дипломної роботи Павлу Миколайовичу ДОРОФЄЄВУ

1. Тема роботи: "Методика організації та управління авіаційними перевезеннями із застосуванням методів зональної навігації та кількісних показників повітряного руху", затверджено наказом ректора від " \_\_\_\_ " жовтня 2024 року № \_\_\_\_.
2. Термін виконання роботи:  
з " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.  
по " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: нормативно-правова база документації щодо організації повітряних перевезень, вимоги та умови планування та проведення робіт з організації повітряного простору та управління повітряним рухом, зональна навігація, загальні характеристики навігаційної сертифікації RNAV, маршрути прибуття та вильоту на основі застосування методу зональної навігації, аналіз кількісних показників ефективності використання повітряного руху, методи досліджень організаційно-технічних систем.
4. Зміст пояснювальної записки: Організаційно-правові засади управління повітряним простором, Концепція зональної навігації на основі експлуатаційних характеристик, Дефрагментація Європейського

повітряного простору (FABs and the Single European Sky), Методи і специфікація зональної навігації, Організація ПП із застосуванням методів зональної навігації та основні показники ефективності організації ПП Збір даних про потоки повітряних суден і формування пріоритетів планування УПР із застосуванням методів зональної навігації, Оцінка потенційних конфліктних ситуацій, очікуваної інтенсивності потоків, та неортодромічності маршрутів ПС на організацію повітряного руху, Практичні рекомендації щодо впровадження методів зональної навігації для організації схем і маршрутів руху повітряних суден, Рекомендації щодо врахування кількісних характеристик у системі управління потоками повітряного руху із застосуванням методів зональної навігації.

- Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Концепція PBN, Компоненти PBN, Застосування PBN в концепції повітряного простору, Функціональні блоки повітряного простору Європи (FAB), Концепція зональної навігації, Навігаційні специфікації, схематичне зображення вертикальної навігації, Порівняння траєкторій вильоту 2010 та 2015 роках після впровадження методів зональної навігації, Порівняння щільності траєкторій прильоту між 2010 та 2015 роками після впровадження методів зональної навігації, Порівняння щільності траєкторій вильоту повітряних суден 2010-2015 роках після впровадження методів зональної навігації, Приклади стратегічного вирішення конфліктів у схемах SID/STAR

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано із застосуванням Google Docs, Google Slides, Microsoft Office, Excel, Power Point, Canva та надано у вигляді листів.

## 6. Календарний план-графік

Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
Організаційно-правові засади управління повітряним простором		
Концепція зональної навігації на основі експлуатаційних характеристик		
Дефрагментація Європейського повітряного простору (FABs and the Single European Sky)		
Методи і специфікація зональної навігації		

Організація ПП із застосуванням методів зональної навігації та основні показники ефективності організації ПП		
Збір даних про потоки повітряних суден і формування пріоритетів планування УПР із застосуванням методів зональної навігації		
Оцінка потенційних конфліктних ситуацій, очікуваної інтенсивності потоків, та неортодромічності маршрутів ПС на організацію повітряного руху.		
Практичні рекомендації щодо впровадження методів зональної навігації для організації схем і маршрутів руху повітряних суден		
Рекомендації щодо врахування кількісних характеристик у системі управління потоками повітряного руху із застосуванням методів зональної навігації		

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Асистент Якимець І.В.		

Охорона навколишнього середовища	Чернець Л.М.		
----------------------------------	--------------	--	--

8. Дата видачі завдання: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Методика організації та управління авіаційними перевезеннями із застосуванням методів зональної навігації та кількісних показників повітряного руху»

91 сторінок, 10 рис., 1 табл., 23 джерела

УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ, ЗОНАЛЬНА НАВІГАЦІЯ, RNAV, RNP, КІЛЬКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, PBN, ОРГАНІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ, FAB, SINGLE EUROPEAN SKY, SID, STAR.

Об'єкт дослідження – Організація авіаційних перевезень та управління повітряним рухом.

Предмет – Методика застосування зональної навігації та кількісних показників у системі організації повітряного руху.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка методологічних принципів та рекомендацій з організації та управління авіаційними перевезеннями з використанням зональної навігації та кількісних показників повітряного руху, що забезпечать підвищення ефективності та безпеки авіаперевезень.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, порівняння та зіставлення, узагальнення, кількісна оцінка показників та формулювання рекомендацій.

Практичне значення результатів дипломної роботи – Розроблені автором рекомендації можуть бути запропоновані для підвищення ефективності управління потоками повітряного руху, оптимізації використання повітряного простору та підвищення рівня безпеки польотів. Впровадження методів зональної навігації RNAV/RNP дозволяє скоротити затримки, знизити витрати пального та мінімізувати ризик конфліктних ситуацій.

На основі проведених досліджень запропоновані рекомендації щодо організації та управління потоками повітряного руху із застосуванням зональної навігації можуть стати основою для подальшого вдосконалення національних і регіональних програм модернізації авіаційної інфраструктури та забезпечення інтеграції України у європейський авіаційний простір.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ .....	14
1.1 Організаційно-правові засади управління повітряним простором .....	14
1.2 Концепція зональної навігації на основі експлуатаційних характеристик.....	20
1.3 Дефрагментація Європейського повітряного простору (FABs and the Single European Sky).....	28
Висновки до розділу 1.....	30
РОЗДІЛ 2. ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ЗОНАЛЬНОЇ НАВІГАЦІ.....	32
2.1 Методи і специфікація зональної навігації.....	32
2.2 Організація ПП із застосуванням методів зональної навігації та основні показники ефективності організації ПП .....	38
2.3 Збір даних про потоки повітряних суден і формування пріоритетів планування УПР із застосуванням методів зональної навігації.....	44
Висновки до розділу 2.....	51
РОЗДІЛ 3. ПРОЦЕДУРИ ТЕСТУВАННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ.....	53
3.1 Оцінка потенційних конфліктних ситуацій, очікуваної інтенсивності потоків, та неортодромічності маршрутів ПС на організацію повітряного руху.....	53

3.2 Практичні рекомендації щодо впровадження методів зональної навігації для організації схем і маршрутів руху повітряних суден .....	61
3.3 Рекомендації щодо врахування кількісних характеристик у системі управління потоками повітряного руху із застосуванням методів зональної навігації .....	65
Висновки до розділу 3.....	69
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>71</b>
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	71
4.2 Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для Зниження впливу шкідливих виробничих факторів.....	72
4.3 Розрахунок штучного освітлення.....	75
4.4 Пожежна, вибухова безпека та заходи з охорони праці під час роботи.....	76
4.5 Інструкція з охорони праці під час роботи в зонах управління повітряним рухом.....	77
Висновок до розділу 4.....	79
<b>5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>80</b>
5.1. Екологічні аспекти в управлінні повітряним рухом.....	80
Висновки до розділу 5.....	84
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>86</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>88</b>



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ICAO – International Civil Aviation Organization – Міжнародна організація цивільної авіації.

RNAV – Area Navigation – Зональна навігація.

ATFM – Air Traffic Flow Management – Управління потоками повітряного руху.

RNP – Required Navigation Performance – Навігація на основі експлуатаційних характеристик.

SES – Single European Sky – Єдине європейське небо.

FABs – Functional Airspace Blocks – Функціональні блоки повітряного простору.

УПР – Управління повітряним рухом

ДАСУ – Державна Авіаційна Служба України

ПП – Повітряний простір

PBN – Performance-Based Navigation – Навігація на основі продуктивності.

GNSS – Global Navigation Satellite System – Глобальна навігаційна супутникова система.

DME – Distance Measuring Equipment – Далекомірне обладнання.

VOR – VHF Omnidirectional Range – Всенаправлений радіомаяк ультракороткого діапазону.

DCPC – Direct Controller Pilot Communications – Прямий зв'язок між диспетчером та пілотом.

ADS-B – Automatic Dependent Surveillance-Broadcast – Автоматичне залежне спостереження–мовлення.

WAM – Wide Area Multilateration – Широкозонна багатолатерація.

ATM – Air Traffic Management – Управління повітряним рухом.

SID – Standard Instrument Departure – Стандартний інструментальний відхід.

STAR – Standard Terminal Arrival Route – Стандартний інструментальний підхід.

CCO – Continuous Climb Operations – Процедури постійного набору висоти.

CDO – Continuous Descent Operations – Процедури постійного зниження.

NO<sub>x</sub> – Nitrogen Oxides – Оксиди азоту.

CO<sub>2</sub> – Carbon Dioxide – Вуглекислий газ.

NDB – Non-Directional Beacon – Ненаправлений радіомаяк.

INS – Inertial Navigation System – Інерціальна навігаційна система.

ECAC – European Civil Aviation Conference – Європейська конференція цивільної авіації.

CORSIA – Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation –  
Схема компенсації та зменшення викидів вуглецю в міжнародній авіації.

## ВСТУП

Організація та управління повітряним рухом є ключовим елементом ефективного функціонування цивільної авіації, особливо в умовах зростання інтенсивності повітряного руху та розвитку авіаційної інфраструктури. Актуальність цього питання значно зростає на тлі стрімкого зростання кількості повітряних перевезень у світі, що вимагає впровадження інноваційних методів управління повітряним рухом, таких як зональна навігація (RNAV) та використання кількісних показників для управління потоками повітряних суден.

За даними організації Airport Council International, світовий попит на авіаперевезення продовжує зростати, поступово підбираючись до рівнів перевезень, які були до пандемії у 2019 році. «Поточний прогноз на 2024 рік оцінює глобальний пасажиропотік приблизно в 9,5 мільярда пасажирів, що становить 104% від рівня 2019 року і 10% зростання в річному обчисленні (р/р) у порівнянні з 2023 роком.» [1]. Це створює значне навантаження на національні та міжнародні системи управління повітряним рухом, що вимагає вдосконалення підходів до управління повітряним простором, застосування сучасних технологій та методів аналізу для забезпечення оптимального використання ресурсів та зменшення затримок повітряного руху.

Одним з найбільш перспективних рішень є впровадження методів зональної навігації на основі експлуатаційних характеристик повітряних суден. Зональна навігація дозволяє значно підвищити гнучкість і точність маршрутів, оптимізувати використання повітряного простору, зменшити витрати палива і негативний вплив авіації на навколишнє середовище. Успішне застосування цього підходу вимагає інтеграції кількісних даних про повітряний рух для більш ефективного планування та управління потоками повітряного руху.

Враховуючи глобальний характер авіаційної галузі, впровадження зонової навігації вимагає координації між різними державами та організаціями. У цьому контексті важливими є ініціативи, спрямовані на уніфікацію стандартів і процедур, такі як Єдине європейське небо (SES) і проекти дефрагментації повітряного простору (FAB). Ці заходи сприяють більшій інтеграції та гармонізації міжнародного авіаційного середовища.

Управління повітряним рухом з використанням зональної навігації не тільки забезпечує безпеку та ефективність, але й вирішує проблеми, пов'язані зі зростанням повітряного руху, прогнозуванням потенційних конфліктних ситуацій та адаптацією до нових технологічних умов.

*Актуальність дослідження* – в умовах зростання обсягів повітряного руху особливого значення набуває розробка методології та рекомендацій для ефективної організації та управління повітряним рухом на основі сучасних методів зональної навігації та кількісних показників повітряного руху. Такий підхід забезпечує ефективне використання повітряного простору, сприяє зменшенню затримок та підвищенню безпеки польотів. Враховуючи високу складність авіатранспортної системи, дослідження в цій галузі є важливими для досягнення стратегічних цілей авіаційної галузі.

*Метою роботи* – є розгляд методології та створення практичних рекомендацій організації та управління повітряним рухом з використанням зональної навігації та кількісних показників повітряного руху для підвищення ефективності та безпеки використання повітряного простору.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити організаційно-правові засади управління повітряним простором;
- проаналізувати концепцію зональної навігації та її специфікацію;
- вивчити досвід дефрагментації європейського повітряного простору (FAB) та ініціативи «Єдине європейське небо» (SES);

- розглянути методи збору та аналізу даних про потоки повітряних суден;
- обґрунтувати основні підходи до оцінки ефективності організації повітряного простору з використанням зональної навігації;
- розробити рекомендації щодо адаптації кількісних характеристик в системі управління повітряним рухом.

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

## 1.1 Організаційно-правові засади управління повітряним простором

Організація та управління повітряним простором є однією з найважливіших складових забезпечення безпеки та ефективності міжнародних і національних повітряних перевезень. Для забезпечення безперебійної роботи повітряного руху всі країни світу повинні дотримуватися єдиних правил і стандартів, які встановлюють основні вимоги до обслуговування повітряного руху, маршрутизації та використання повітряного простору.

Ці вимоги базуються на міжнародних правилах, розроблених Міжнародною організацією цивільної авіації (ІКАО). Вони встановлюють загальні стандарти для всіх країн-членів, уніфікуючи правила та процедури управління повітряним простором, забезпечуючи безпеку польотів та впроваджуючи новітні технології, такі як RNAV та RNP.

На рівні кожної окремої країни, в тому числі й України, ці міжнародні стандарти доповнюються та уточнюються національними нормативними документами, що регулюють управління повітряним рухом відповідно до специфіки повітряного простору та внутрішніх потреб держави. Тому звернення до цих документів є необхідним для розуміння правової основи впровадження зональних методів навігації та ефективного управління повітряним простором.

Організація повітряного простору на національному рівні регулюється низкою нормативно-правових актів, які встановлюють правила використання повітряного простору, безпеки польотів та управління повітряним рухом. Ці документи відображають вимоги міжнародних стандартів, зокрема ІКАО, адаптовані до специфічних умов кожної країни, в тому числі й України.

В Україні управління повітряним простором здійснюється відповідно до Закону України "Про затвердження Положення про використання повітряного простору України" [2], який визначає основи використання повітряного простору та забезпечення безпеки. Цей закон також регулює діяльність із забезпечення польотів, включаючи обслуговування повітряного руху та управління повітряним рухом. До основних нормативних актів також належать накази Державної авіаційної служби України (ДАСУ), які регулюють порядок організації повітряного руху та структуру повітряного простору країни. Одним з ключових документів є Правила використання повітряного простору України, які встановлюють вимоги до планування польотів, зональної навігації та процедур управління повітряним рухом.

Управління повітряним рухом в Україні здійснюється через низку державних та спеціалізованих установ, ключовою з яких є Укрерорух. Ця організація відповідає за координацію польотів у повітряному просторі України, забезпечує управління повітряним рухом та виступає головним органом, відповідальним за імплементацію міжнародних вимог у національне законодавство.

Україна, як країна, що підписала міжнародні угоди з ICAO, EASA [3] та іншими організаціями, впроваджує новітні технології, такі як аеронавігація (RNAV) та RNP, відповідно до світових стандартів. Це дозволяє більш ефективно використовувати повітряний простір, зменшити навантаження на авіадиспетчерів та підвищити безпеку польотів. Україна активно працює над гармонізацією свого повітряного простору з європейськими стандартами, зокрема в рамках Єдиного європейського неба (SES). Одним з ключових напрямків цієї роботи є запровадження функціональних блоків повітряного простору (FAB). Ці блоки спрямовані на забезпечення ефективного управління повітряним рухом через спільні міждержавні зони контролю, що сприяє оптимізації маршрутів та зменшенню кількості конфліктів у повітряному русі.

Управління повітряним рухом (УПР) є фундаментальною складовою забезпечення безпеки та ефективності повітряного транспорту. Ця система охоплює весь процес управління потоками повітряних суден, включаючи організацію маршрутів, зональну навігацію та постійний контроль за дотриманням авіаційних стандартів. Ефективно функціонуюча система УПР сприяє оптимізації повітряного руху та підвищенню безпеки польотів завдяки злагодженій роботі диспетчерських служб, впровадженню сучасних навігаційних технологій та застосуванню комплексного аналізу даних про потоки повітряних суден. Ключова роль системи управління повітряним простором полягає у забезпеченні безперервного контролю за рухом повітряних суден, що досягається завдяки активному використанню автоматизованих систем моніторингу та навігаційних технологій.

Органи управління повітряним рухом відіграють складну роль у забезпеченні безпеки польотів, оптимізації маршрутів та координації потоків повітряних суден. До основних завдань УПР належать:

- *Управління маршрутами та повітряним простором:* Органи управління повітряним рухом відповідають за планування та регулювання маршрутів польотів. Це включає координацію між різними центрами управління та обробку даних про повітряні судна, що здійснюють польоти в зонах спільного повітряного простору.
- *Аеронавігація (RNAV):* Аеронавігація дозволяє більш гнучко та ефективно використовувати повітряний простір. Завдяки RNAV літаки можуть літати оптимальними маршрутами, не будучи обмеженими наземними навігаційними системами. Органи УПР забезпечують дотримання правил RNAV і контролюють точність навігації.
- *Управління потоками повітряного руху (ATFM):* Контроль інтенсивності повітряного руху та розподіл потоків повітряних суден є важливим для уникнення перевантаження диспетчерів та конфліктів у



повітряному русі. Органи УПР відстежують транспортні потоки в режимі реального часу і оперативно коригують маршрути польотів.[4]

- *Безпека польотів*: одним з основних завдань органів управління повітряним рухом є забезпечення безпечної дистанції між повітряними суднами, врегулювання конфліктних ситуацій та контроль за дотриманням авіаційних стандартів.

Управління повітряним рухом – ще один важливий напрямок роботи диспетчерської служби. Контроль інтенсивності потоків та їх розподілу має важливе значення для запобігання перевантаженню диспетчерів та мінімізації ризику виникнення конфліктів у повітряному русі. Це досягається шляхом безперервного моніторингу руху в режимі реального часу та оперативного коригування маршрутів для підтримання належного рівня безпеки польотів. У цьому контексті важливою є роль автоматизованих систем, які дозволяють органам УПР своєчасно виявляти потенційні конфлікти повітряного руху, враховувати поточну та прогнозовану метеорологічну інформацію, а також інші зовнішні фактори, які можуть вплинути на маршрутизацію та розподіл потоків повітряних суден.

Моделі управління повітряним простором можуть значно відрізнятися в різних регіонах, а в Європі ця система є дуже інтенсивною і різноманітною. Ініціатива "Єдине європейське небо" (SES) була започаткована у відповідь на необхідність підвищення ефективності управління в межах Європейського Союзу. Ініціатива SES спрямована на гармонізацію та інтеграцію систем управління повітряним простором на європейському рівні з метою оптимізації його використання та підвищення безпеки польотів. Однією з основних цілей SES є зменшення фрагментації повітряного простору, спричиненої національними кордонами та відмінностями у підходах до управління повітряним рухом у різних країнах. SES також сприяє

впровадженню сучасних технологій навігації та зональної навігації, що дозволяє більш ефективно використовувати повітряний простір.

Для досягнення цілей SES в Європі були створені функціональні блоки повітряного простору (FAB), які об'єднують зусилля кількох країн у межах спільних зон управління повітряним рухом, незалежних від національних кордонів. Ці блоки дають можливість об'єднати зусилля кількох держав для спільного управління повітряним рухом у межах спільних зон контролю, що зменшує кількість конфліктів та підвищує ефективність. Одним із прикладів є Південно-Східний FAB, до якого входить Україна та деякі сусідні країни. Така координація міждержавного контролю зменшує навантаження на диспетчерські служби, знижує потребу в окремих погодженнях між різними країнами та оптимізує маршрути польотів.

Ефективне управління повітряним простором передбачає застосування декомпозиції завдань, яка дозволяє чіткіше визначити ролі та обов'язки на кожному етапі операцій УПР. Декомпозиція включає такі етапи, як аналіз потоків повітряних суден, розробка схем руху, розподіл повітряного простору на сектори та оперативне управління повітряним рухом. На першому етапі аналізуються обсяги руху, маршрути, погодні умови та інші фактори, які можуть вплинути на планування польотів. Потім розробляються маршрути з урахуванням зональної навігації та прогнозованих потоків, що дозволяє краще розподілити потоки та уникнути можливих конфліктів. Поділ повітряного простору на сектори допомагає оптимізувати навантаження на диспетчерські служби та покращити координацію руху повітряних суден. Завершальним етапом є оперативне управління повітряним рухом, яке передбачає моніторинг та контроль у режимі реального часу з урахуванням поточної інтенсивності руху та можливих конфліктів.

Важливою частиною сучасної системи управління повітряним рухом є використання аеронавігації (RNAV). Використання RNAV зменшує навантаження на служби управління повітряним рухом, оптимізує маршрути

польотів і підвищує точність управління польотами. Завдяки RNAV УПР може забезпечити більш ефективне використання повітряного простору, що, в свою чергу, зменшує споживання ресурсів і сприяє підвищенню безпеки польотів. Впровадження методів зонової навігації зменшує затримки на маршрутах, покращує координацію між міжнародними авіаційними організаціями та забезпечує дотримання стандартів безпеки польотів.

## 1.2 Концепція зональної навігації на основі експлуатаційних характеристик

У початковій, традиційній навігації літак направлявся до навігаційного засобу або від нього, отримуючи сигнали від наземних станцій, а розробка маршруту і процедури польоту були обмежені розташуванням наземної навігаційної інфраструктури і типом навігаційного засобу. Зараз, з удосконаленням можливостей бортового обладнання та постійним розвитком супутникової навігації та інших нових технологій, ІКАО запровадила концепцію навігації на основі експлуатаційних характеристик (PBN).

Навігація на основі експлуатаційних характеристик – це вимоги до експлуатаційних характеристик повітряного судна з точки зору точності, цілісності, доступності, безперервності та функціональності системи для виконання польоту за заданим маршрутом, в рамках процедури польоту за приладами або в заданому повітряному просторі, а також з відповідною навігаційною інфраструктурою. [8]

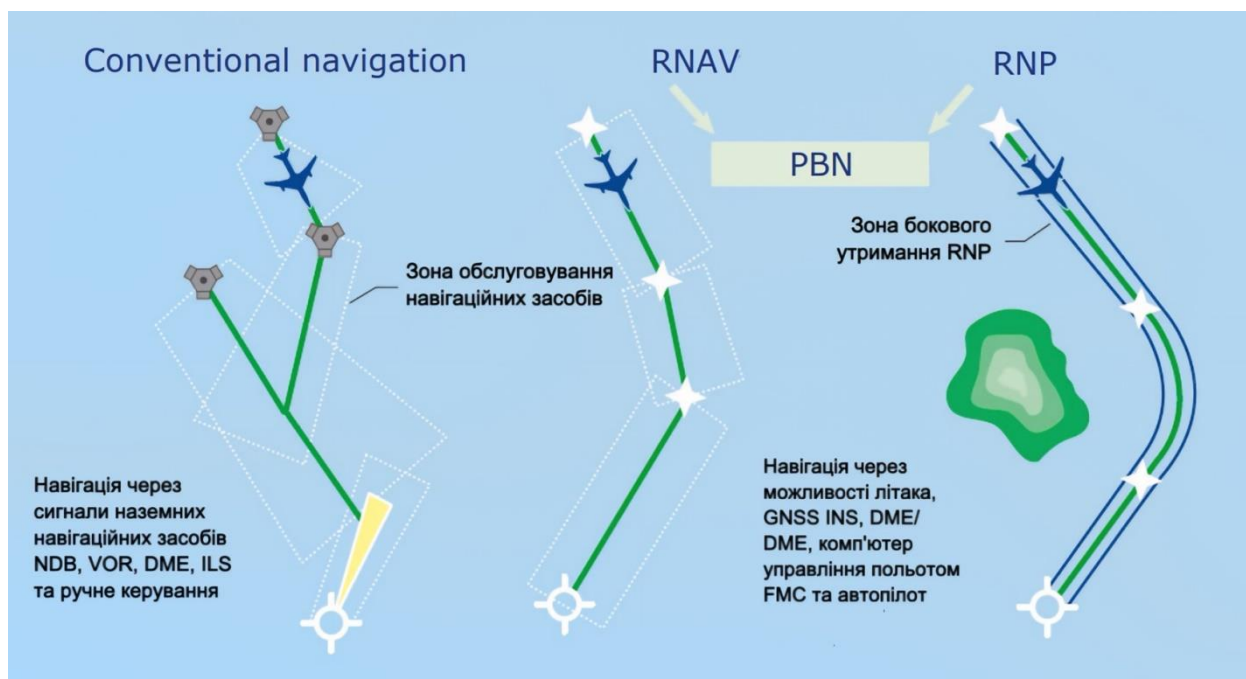


Рис. 1.0 - Концепція PBN

PBN - це системний підхід, який охоплює RNAV та RNP і базується на експлуатаційних характеристиках навігаційних систем. Впровадження концепції PBN означає перехід від навігації на основі датчиків (маяків та інших навігаційних засобів) до навігації на основі характеристик. PBN визначає вимоги до точності, надійності та передбачуваності польотів, дозволяючи адаптувати маршрути до конкретних умов та потреб аеронавігаційного обслуговування. PBN дозволяє стандартизувати навігаційні вимоги, що забезпечує більш ефективне управління повітряним простором на міжнародному рівні. [12]

Концепція PBN була розроблена з метою стандартизації специфікацій RNAV і RNP на глобальному рівні, що дозволяє уникнути розмаїття різних навігаційних вимог, які використовуються в усьому світі. Цей підхід базується на використанні районних навігаційних систем (RNAV) і забезпечує перехід від обмеженого визначення необхідної точності навігації до інтегрованого підходу, який враховує всі аспекти експлуатаційних характеристик [15].

Зональна навігація на основі експлуатаційних характеристик враховує експлуатаційні вимоги до повітряних суден, які виконують польоти за маршрутами УПР, процедури заходження на посадку за приладами або у визначеному повітряному просторі. Ключовими вимогами цього підходу є точність, цілісність, безперервність і функціональність навігаційної системи. Важливо також враховувати наявність навігаційної інфраструктури, зокрема сигналів GNSS, для підтримки навігаційних операцій.

PBN визначає вимоги до експлуатаційних характеристик за допомогою навігаційних специфікацій, які також враховують вибір навігаційних датчиків і обладнання, що можуть бути використані для досягнення заданих експлуатаційних характеристик. Ці специфікації забезпечують детальну імплементацію для держав і операторів, сприяючи глобальній гармонізації. Важливо, що концепція дозволяє операторам обирати найбільш економічно

ефективне обладнання за умови дотримання вимог до експлуатаційних характеристик. Однією з ключових переваг PBN є можливість модернізації технології без необхідності перегляду експлуатаційних вимог, якщо навігаційна система RNAV або RNP відповідає очікуваним характеристикам. Це забезпечує гнучкість і знижує витрати на інтеграцію нових технологій"[12].

RNAV та RNP є основними компонентами PBN і мають багато спільного, але відрізняються в ключових аспектах:

1) RNAV - дозволяє здійснювати навігацію незалежно від розташування наземних навігаційних засобів, але не включає функцію моніторингу роботи.

2) RNP - включає в себе функцію моніторингу продуктивності та сигналізації, що забезпечує більшу надійність і точність.

PBN є основою сучасної концепції повітряного простору і включає три ключові елементи: (Рисунок 1.1)

- *Специфікація навігації:* Цей елемент визначає вимоги до продуктивності навігаційної системи, включаючи точність, цілісність і безперервність. Специфікація також описує, яка навігаційна функціональність необхідна для досягнення цих вимог. Для специфікацій RNP обов'язковими є функції бортового моніторингу та попередження, а для RNAV - ні. Вимоги до знань і підготовки пілотів є важливою частиною цього компонента.

- *Навігаційна інфраструктура:* Навігаційна інфраструктура включає наземні та космічні навігаційні системи, такі як GNSS, DME та VOR. Наявність цих засобів має вирішальне значення для виконання навігаційних завдань у певному повітряному просторі. Наприклад, системи GNSS стають основою більшості навігаційних операцій завдяки

своїй високій точності, хоча наземні засоби залишаються важливим резервним механізмом.

- *Навігаційне застосування:* Навігаційне застосування передбачає використання навігаційних специфікацій та інфраструктури для здійснення операцій в рамках концепції повітряного простору. Сюди входять маршрути УПР, процедури SID/STAR, заходження на посадку за приладами та інші навігаційні завдання.

## Компоненти Performance-Based Navigation



Рис. 1.1 - Компоненти PBN

Ключові переваги PBN:

1. *Зменшення потреби в маршрутах на основі датчиків:* Традиційна навігація залежала від наземних навігаційних засобів, таких як VOR або NDB, які потребують регулярного обслуговування, модернізації та заміни. З PBN можна використовувати супутникові системи GNSS, які мають значно нижчі експлуатаційні витрати.

2. *Уникнення дублювання систем:* У минулому кожна нова навігаційна система вимагала розробки окремих маршрутів і процедур, що було

фінансово обтяжливо. PBN стандартизує підходи, зменшуючи кількість необхідних змін.

*3. Більш ефективне використання повітряного простору:* Завдяки PBN авіакомпанії можуть використовувати більш прямі і короткі маршрути, заощаджуючи час і знижуючи витрати на паливо. Це особливо важливо в регіонах з високою інтенсивністю руху.

*4. Покращена паливна ефективність:* Використання процедур постійного набору висоти (CCO) і постійного зниження (CDO) допомагає зменшити споживання палива за рахунок усунення непотрібних маневрів і утримання на різних рівнях висоти.

*5. Зниження рівня шуму:* Завдяки більш плавним траєкторіям зльоту і посадки, PBN може зменшити шумовий вплив на наземні спільноти.

*6. Міжнародна гармонізація:* Уніфікація специфікацій забезпечує їхню сумісність у різних країнах, що полегшує роботу авіакомпаній, які виконують міжнародні рейси.

*7. Гнучкість у складних регіонах:* PBN забезпечує точну і передбачувану навігацію навіть у складних географічних умовах, таких як гірські райони або густонаселені райони.

Очікується, що всі майбутні операції RNAV визначатимуть навігаційні вимоги через використання специфікацій продуктивності, а не через конкретні датчики. Хоча існуючі операції, не орієнтовані на продуктивність, можуть залишатися чинними, нові специфікації повинні відповідати принципам PBN.

Перехід до специфікацій RNP: З розвитком авіаційних технологій більшість сучасних систем RNAV і RNP забезпечують моніторинг продуктивності, що дозволяє поступово переходити до операцій RNP. Системи RNP пропонують значні переваги, в тому числі: підвищену точність і надійність, скорочення інтервалів між маршрутами, підвищення безпеки і ефективності. Хоча операції RNAV і RNP будуть співіснувати протягом



деякого часу, поступовий перехід до операцій RNP неминучий, оскільки рівень обладнання літаків системами RNP зростає, а витрати на перехід зменшуються.

Концепція навігації на основі ефективності (Performance-Based Navigation, PBN) є ключовим елементом сучасного управління повітряним простором і базується на інтеграції кількох важливих компонентів: зв'язку (COM), навігації (NAV), спостереження (SUR) та управління повітряним рухом (ATM). Ці елементи працюють в рамках загальної концепції управління повітряним простором, яка визначає правила, інструменти та інфраструктуру для забезпечення ефективного, безпечного і точного виконання польотів (Рис. 1.2).



Рис. 1.2 - Застосування PBN в концепції повітряного простору

Перший компонент концепції - це зв'язок (COM). Він забезпечує передачу інформації між повітряними суднами та диспетчерськими центрами, що є основою для координації повітряного руху. Основним інструментом тут є голосовий зв'язок (DCPC Voice), який дозволяє

передавати команди в режимі реального часу. Надійний зв'язок є важливим елементом, який підтримує всі операції з навігації та моніторингу.

Другий компонент - це *навігація (NAV)*, яка є основою концепції PBN. Система навігації визначає точність і передбачуваність руху повітряного судна за маршрутами УПР, під час процедур SID/STAR та заходження на посадку за приладами. Система PBN спирається на стандартизовані навігаційні специфікації (RNAV і RNP), які встановлюють вимоги до точності, цілісності та функціональності. Завдяки PBN авіакомпанії можуть оптимізувати маршрути, скорочуючи відстані польотів і зменшуючи витрати на паливо, одночасно збільшуючи пропускну здатність повітряного простору.

*Моніторинг (SUR)* є третім ключовим компонентом і забезпечує контроль за рухом повітряних суден. У Європейському спільному авіаційному просторі (ECAC) моніторинг здійснюється за допомогою традиційних систем RADAR і сучасних технологій, таких як ADS-B і WAM. Ці системи дозволяють в режимі реального часу відстежувати точне місцезнаходження повітряних суден, підвищуючи безпеку та ефективність управління повітряним рухом.

Четвертий компонент, *управління повітряним рухом (ATM)*, охоплює всі інструменти і процедури, необхідні для управління потоком літаків у повітрі і на землі. Управління повітряним рухом використовує дані систем моніторингу та зв'язку для забезпечення безпеки, запобігання конфліктам між повітряними суднами та оптимізації маршрутів.

Як зазначалося в попередньому розділі, центральними елементами PBN є три компоненти: навігаційна специфікація, навігаційна інфраструктура і навігаційний застосування. Специфікація визначає вимоги до точності, цілісності та функціональності для конкретних операцій. Вона також регулює вибір необхідного навігаційного обладнання та вимоги до підготовки екіпажу. Інфраструктура включає наземні (DME, VOR) і космічні (GNSS) системи, які забезпечують виконання навігаційних завдань. А застосування

інтегрує специфікації та інфраструктуру в операційне середовище для реалізації маршрутів УПР, процедур SID/STAR та інструментальних підходів.

Ці компоненти пов'язані між собою двома ключовими поняттями: *Сумісність* та *Стандартизація*. Перше забезпечує сумісність навігаційних датчиків на борту літака з наявною інфраструктурою, тоді як стандартизація забезпечує глобальну узгодженість у застосуванні специфікацій, спрощуючи сертифікацію та експлуатацію.

Загалом, концепція PBN дозволяє оптимізувати використання повітряного простору, підвищити точність навігації, зменшити витрати і вплив авіації на навколишнє середовище, забезпечуючи при цьому інтеграцію сучасних технологій у глобальну систему управління повітряним рухом.

### **1.3 Дефрагментація Європейського повітряного простору (FABs and the Single European Sky)**

Дефрагментація європейського повітряного простору є стратегічним кроком для підвищення ефективності авіаційних операцій, безпеки польотів та зменшення впливу на навколишнє середовище. На початку 2000-х років Європа зіткнулася з проблемою поділу повітряного простору на численні національні зони відповідальності, що створювало перешкоди для вільного пересування та оптимального планування польотів. Саме на цій основі виникла потреба у створенні єдиного європейського повітряного простору, який би враховував як національні, так і міжнародні інтереси.[5] Ініціатива "Єдине європейське небо" (SES), започаткована Європейським Союзом,

спрямована на ліквідацію національних кордонів у повітряному просторі з метою підвищення ефективності управління, безпеки та сталості польотів.

Ініціатива SES вже сприяла значному скороченню затримок, зниженню аеронавігаційних витрат і поліпшенню координації між державами. Євроконтроль, як координуючий орган впровадження SES, відіграє важливу роль у підтримці та вдосконаленні стандартів аеронавігаційного обслуговування, моніторингу ефективності FAB та наданні рекомендацій щодо оптимізації повітряного простору. Впровадження SES допомогло зменшити фрагментацію повітряного простору Європи, що сприяє сталому розвитку авіаційної галузі.

Єдине європейське небо - це масштабний проект, спрямований на реорганізацію європейського повітряного простору відповідно до експлуатаційних вимог, а не національних кордонів. [6]

Це включає в себе:

- *Підвищення безпеки польотів:* Забезпечення вищого рівня безпеки за допомогою спільних стандартів і процедур для всіх європейських країн.
- *Скорочення витрат і часу польоту:* Пропагуйте оптимізовані маршрути, які зменшують витрати на паливо, час польоту та викиди CO<sub>2</sub>.
- *Збільшення пропускної спроможності:* Створення умов для управління зростаючим трафіком без необхідності збільшення кількості аеронавігаційних служб у кожній країні.
- *Зменшення фрагментації:* Об'єднання національних повітряних просторів у функціональні блоки повітряного простору (FAB), де повітряний простір поділяється відповідно до операційних потреб, а не політичних кордонів.

Функціональні блоки повітряного простору (FAB) є центральною частиною ініціативи SES. FABs об'єднують повітряний простір кількох

держав у спільні блоки, де аеронавігаційні послуги надаються одним суб'єктом або за узгодженими стандартами. Це дозволяє більш ефективно координувати рух, знизити витрати на обслуговування і підвищити операційну гнучкість. Кожен FAB пристосований до специфіки повітряного руху і потреб країн-учасниць, що забезпечує більшу гнучкість у плануванні маршрутів.

Сьогодні існує кілька функціональних блоків повітряного простору, таких як:

- DANUBE FAB [7] (Болгарія та Румунія)
- FABEC (Франція, Німеччина, Бельгія, Люксембург, Нідерланди, Швейцарія)
- UK-Ireland FAB (Великобританія та Ірландія) та інші.

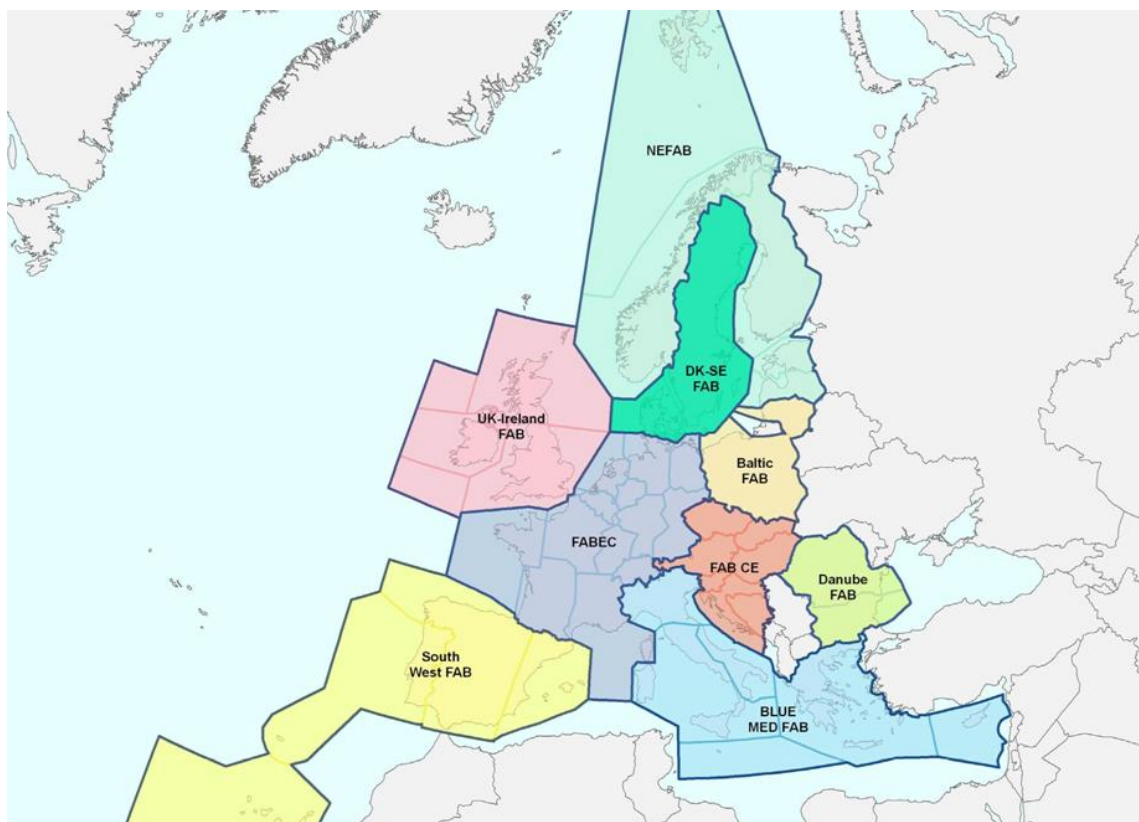


Рис. 1.3 - Функціональні блоки повітряного простору Європи (FAB)

## Висновки до розділу 1

У першому розділі розглядаються теоретичні основи управління повітряним рухом, включаючи організаційно-правові засади управління повітряним простором, впровадження концепції навігації на основі експлуатаційних характеристик (PBN) та питання дефрагментації європейського повітряного простору в рамках ініціативи "Єдине європейське небо" (SES).

Аналіз організаційно-правової бази показав, що національні системи управління повітряним простором, у тому числі й українська, побудовані на основі міжнародних стандартів, розроблених ІКАО, з адаптацією до внутрішніх потреб держави. Встановлено, що впровадження сучасних технологій, таких як RNAV та RNP, значно підвищує ефективність використання повітряного простору, зменшує навантаження на служби управління повітряним рухом та підвищує безпеку польотів. Крім того, Україна активно працює над інтеграцією свого повітряного простору в європейську авіаційну систему через участь у проектах функціональних блоків повітряного простору (FAB).

Детальний аналіз концепції PBN підтвердив її важливість для підвищення ефективності управління повітряним рухом. Концепція забезпечує глобальну гармонізацію специфікацій RNAV та RNP, зменшує залежність від наземних навігаційних засобів та дозволяє оптимізувати маршрути польотів. Завдяки гнучкому підходу до вибору технологій і можливості адаптації навігаційних систем до сучасних вимог, PBN допомагає знизити витрати авіаційної галузі, підвищити точність польотів і зменшити вплив на навколишнє середовище.

Розгляд ініціативи Єдиного європейського неба (SES) та функціональних блоків повітряного простору (FAB) продемонстрував важливість усунення фрагментації європейського повітряного простору. Інтеграція повітряного простору на основі функціональних, а не національних принципів допомагає

збільшити пропускну здатність, оптимізувати маршрути, зменшити вплив на навколишнє середовище і знизити витрати на польоти. Це забезпечує сталий розвиток авіаційної галузі в Європі та створює передумови для зростання ефективності повітряного руху.

## РОЗДІЛ 2. ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ЗОНАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ

### 2.1 Методи і специфікація зональної навігації

Методи зональної навігації (RNAV – Area Navigation та RNP – Required Navigation Performance) є ключовими інструментами для реалізації завдань управління повітряним простором. Ці методи дозволяють прокладати маршрути незалежно від наземних орієнтирів, використовуючи супутникові та інерційні навігаційні системи, що сприяє точнішій і гнучкішій маршрутизації повітряного трафіку.

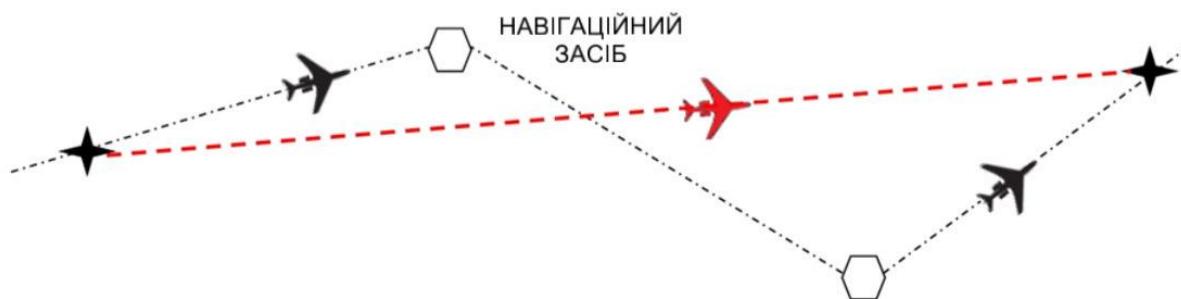


Рис. 2.1 – Концепція зональної навігації

*RNAV (зональна навігація):* метод навігації, який дозволяє літаку слідувати будь-яким бажаним маршрутом польоту в межах досяжності прив'язаних до станції навігаційних засобів, або в межах можливостей автономних навігаційних засобів, або їх комбінації[10]. Це дозволяє створювати оптимальні маршрути, які мінімізують відхилення від ідеальної траєкторії польоту, тим самим зменшуючи витрати на паливо та викиди CO<sub>2</sub>. RNAV дозволяє здійснювати польоти за фіксованими та гнучкими маршрутами, що допомагає уникати перевантажених зон та оптимізувати використання повітряного простору.



*RNP (Required Navigation Performance)*: Метод RNP є частиною RNAV, але встановлює додаткові вимоги до точності навігації на певних ділянках маршруту. Літаки, що відповідають вимогам RNP, здатні підтримувати більш точні траєкторії завдяки інтеграції супутникових та інерціальних навігаційних систем. Цей метод має особливе значення для перевантажених регіонів, де висока точність навігації дозволяє скоротити мінімальні відстані між літаками і збільшити пропускну здатність повітряного простору. [11]

*PBN (Performance-Based Navigation)*: PBN - це системний підхід, який охоплює RNAV і RNP і базується на експлуатаційних характеристиках навігаційних систем. PBN визначає вимоги до точності, надійності та передбачуваності польотів, дозволяючи адаптувати маршрути до конкретних умов і потреб аеронавігаційного обслуговування. PBN дозволяє стандартизувати навігаційні вимоги, що забезпечує більш ефективне управління повітряним простором на міжнародному рівні. [12]

*GNSS (Глобальна навігаційна супутникова система)*: Глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) є основою RNAV та RNP. Використання GNSS забезпечує високоточне позиціонування і дозволяє створювати гнучкі маршрути без прив'язки до наземних навігаційних станцій. Це дає можливість оптимізувати маршрути з урахуванням інтенсивності руху та специфіки конкретних регіонів. GNSS зменшує навантаження на диспетчерські служби, оскільки маршрути можна прокладати незалежно від наземної інфраструктури. [13]

Зональні навігаційні методи сприяють більш ефективному виконанню завдань декомпозиції, зокрема, в забезпеченні оптимального розподілу маршрутів і навантаження між секторами повітряного простору. Висока точність навігаційних систем дозволяє знизити інтенсивність руху на

окремих ділянках, що допомагає уникнути заторів та підтримувати високий рівень безпеки польотів. Впровадження RNAV і RNP в рамках системи PBN дозволяє адаптувати маршрутизацію до мінливих умов і швидко реагувати на зміну завантаженості повітряного простору, підвищуючи гнучкість управління і стабільність системи.

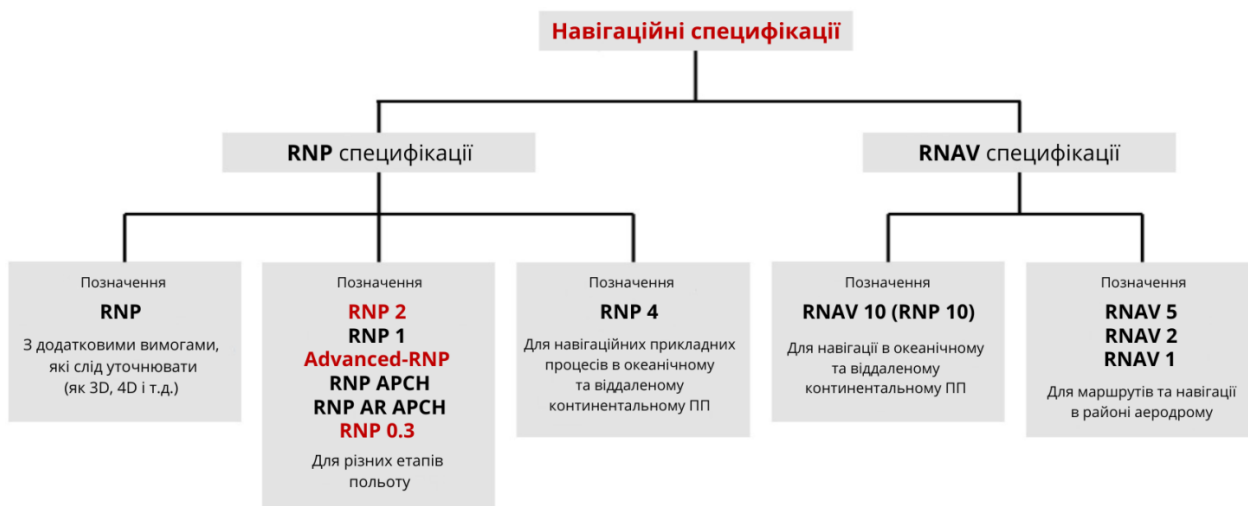


Рис. 2.2 – Навігаційні специфікації

- **RNAV-1:** Метод, який забезпечує можливість точно слідувати маршрутом з відхиленням від траєкторії не більше 1 морської милі протягом 95% часу польоту. RNAV-1 використовується при заході на посадку та вильоті з аеропортів, де потрібна висока точність.
- **RNAV-2:** Дозволяє здійснювати навігацію з відхиленням від траєкторії не більше 2 морських миль. Цей метод зазвичай використовується для польотів на середніх відстанях між маршрутними точками.
- **RNAV-5:** Дозволяє відхилення до 5 морських миль від заданого маршруту. Використовується для міжконтинентальних перельотів і вимагає нижчого рівня точності навігації.
- **RNAV-10 (RNP-10):** Метод, що використовується для польотів на великі відстані, який відповідає стандартам ІКАО для забезпечення точності

до 10 морських миль в океанічному та віддаленому повітряному просторі.

- *RNP-1*: Вимагає точності не більше 1 морської милі. Використовується для маршрутів у термінальних зонах, де потрібна висока точність для безпечного та ефективного управління повітряним рухом.
- *RNP-2*: Дозволяє відхилення до 2 морських миль. Використовується для польотів на середні відстані, де точність маршруту важлива, але не критична.
- *RNP-4*: Цей стандарт допускає відхилення до 4 морських миль і зазвичай використовується для маршрутів на великі відстані, де гнучкість в організації маршруту є пріоритетом. RNP-4 забезпечує зручні умови для великих міжнародних рейсів.
- *RNP-AR (Required Navigation Performance - Authorization Required)* - це один з найточніших і найскладніших видів РНП, що вимагає спеціальної сертифікації для польотів. Цей метод дозволяє здійснювати польоти в складних географічних умовах, таких як гірські райони або райони з високим трафіком, де традиційні методи навігації або неефективні, або небезпечні. Він забезпечує точність до 1 морської милі або навіть менше, залежно від конкретних умов польоту.

Концепція PBN передбачає, що специфікації RNAV фактично застаріли і що нові специфікації RNAV не будуть розроблятися. Дійсно, PBN зосереджується на RNP, яка в першу чергу покладається на використання супутникових технологій. Це пояснює, чому всі нові навігаційні специфікації в Керівництві PBN, оновленому в 2013 році, є специфікаціями RNP.[14] Три з цих нових специфікацій RNP використовуються в Європі: *Advanced-RNP*, *RNP 1*, *RNP 0.3*.

Специфікація	Точність	Сфера застосування	Основні вимоги до обладнання
<i>Advanced-RNP</i>	1-2 NM	Універсальні операції (маршрути, термінальні зони, підходи)	GNSS, DME/DME, INS
<i>РЛП 1</i>	1 NM	Термінальні зони (SID/STAR)	GNSS
<i>RNP 0.3</i>	0.3 NM	Складні підходи, спеціалізовані операції	GNSS, моніторинг відхилень

Таблиця 1.0 - Специфікації RNP

Технології, що підтримують методи зонної навігації, відіграють важливу роль у забезпеченні точності та гнучкості маршруту, дозволяючи літальним апаратам здійснювати польоти без прив'язки до традиційних навігаційних засобів.

1. *GPS (Global Positioning System)*: Глобальна система позиціонування забезпечує точне визначення місцезнаходження літака в будь-який час, що є основою для RNAV. GPS дозволяє відмовитися від наземних радіомаяків і здійснювати польоти за оптимізованими маршрутами, скорочуючи час польоту та споживання палива.
2. *INS (Inertial Navigation System)*: Автономна система, яка використовує інерційні датчики для відстеження змін у положенні літака без зовнішніх сигналів. INS забезпечує безперервну навігацію навіть при втраті сигналу GPS, що важливо в умовах поганої видимості або в районах з поганим

прийомом сигналу GPS, таких як гірські райони або міські райони.

3. *DME/DME*: Система, яка дозволяє визначити точне місцезнаходження літака шляхом вимірювання відстані до двох різних наземних станцій DME. Вона використовує радіохвилі для вимірювання відстані і допомагає точніше визначити місцезнаходження літака, що особливо важливо на великих відстанях або коли GPS ненадійний.
4. *VOR/DME*: Ця система поєднує в собі функції радіомаяків VOR та вимірювання відстані за допомогою DME. Вона використовується для точної навігації на великих відстанях і дозволяє точно слідувати маршрутом навіть у складних навігаційних умовах. *VOR/DME* часто використовується для планування маршруту в районах з низькою щільністю повітряного руху або на відстані від аеропортів.

## **2.2 Організація ПП із застосуванням методів зональної навігації та основні показники ефективності організації ПП**

Управління повітряним простором вимагає чіткого структурування та управління великою кількістю завдань, включаючи маршрутизацію польотів, розподіл транспортного навантаження між секторами повітряного руху, забезпечення безпеки польотів та підтримання оптимальних маршрутів. У цьому контексті використання аеронавігації (RNAV) може значно підвищити гнучкість управління повітряним простором і забезпечити оптимальні умови для зростаючих обсягів повітряного руху.

Вимоги до повітряного простору:

### ***Бічна навігація***

#### *a. Зменшити інтервали між маршрутами:*

Оптимізація відстаней між паралельними маршрутами може збільшити пропускну здатність повітряного простору та уникнути заторів у певних секторах.

#### *b. Рівномірний інтервал на прямих і вигнутих ділянках:*

Забезпечення однакової відстані між маршрутами на всіх ділянках руху, включаючи повороти, без необхідності збільшувати інтервали на ділянках маневрування, підвищує передбачуваність і ефективність маршрутизації.

#### *c. Зменшення розмірів зон очікування:*

Оптимізація зон очікування дозволяє розташовувати їх ближче один до одного або в стратегічних точках, що покращує управління дорожнім рухом у складних умовах.

#### *d. Засоби для тактичного відхилення маршруту:*

Використання паралельного зміщення як альтернативи радіолокаційному векторизації забезпечує більшу ефективність і гнучкість в управлінні літаком.

*e. Використання криволінійних підходів:*

Використання криволінійних траєкторій під час заходження на посадку, особливо в районах зі складним рельєфом або поблизу населених пунктів, допомагає зменшити вплив на навколишнє середовище та підвищити безпеку польотів.

***Поздовжня навігація***

*f. Оцінка інтенсивності руху перед в'їздом на територію терміналу:*

Впровадження систем, які вимірюють і прогнозують обсяги трафіку, знижує ризик заторів у зоні терміналів і покращує загальний потік трафіку.

***Вертикальна навігація***

*g. Управління вертикальними потоками:*

Розділення потоків прибуття і відправлення за допомогою ефективного вертикального управління вікнами зменшує ризик конфліктів і підвищує безпеку польотів. (Приклад показаний на Рисунку 2.3)

*h. Використання процедур CDO та CCO:*

Операції безперервного спуску та безперервного підйому допомагають зменшити споживання палива, викиди CO<sub>2</sub> та шумовий вплив, що позитивно впливає на навколишнє середовище. [14]

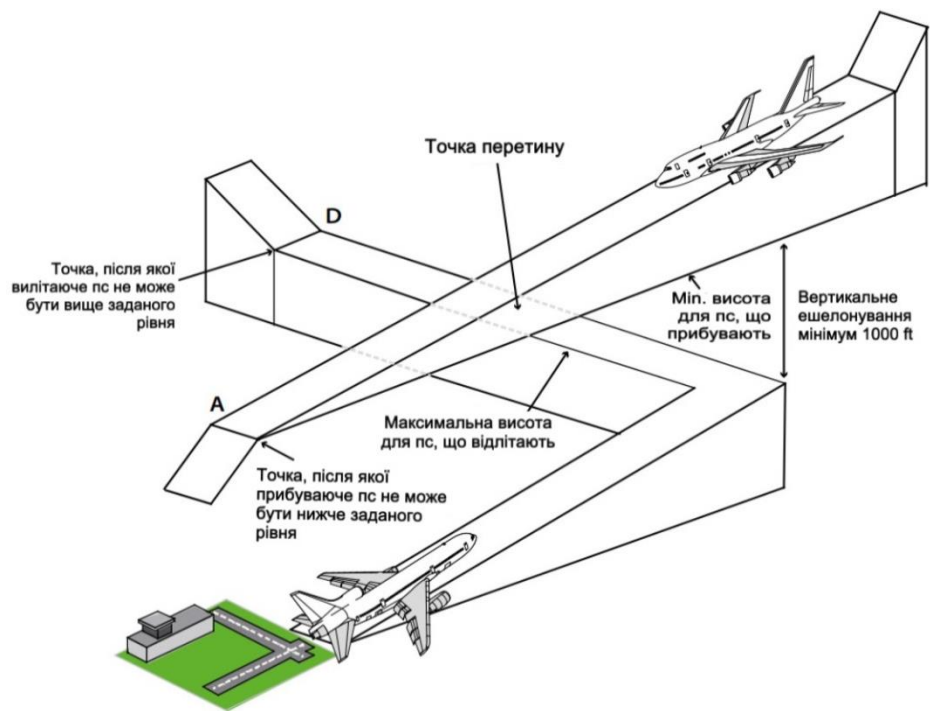


Рис. 2.3 – Вертикальна навігація

Система управління повітряним простором передбачає поділ загальних завдань на окремі функціональні компоненти. Основними завданнями є розподіл маршрутів, регулювання секторів повітряного простору, визначення пріоритетів польотів та управління повітряним рухом. Такий розподіл дозволяє цілеспрямовано організувати рух повітряних суден, уникнути перевантаження диспетчерських служб та підвищити ефективність використання повітряного простору. Зональна навігація дозволяє прокладати маршрути незалежно від традиційних орієнтирів, таких як наземні радіомаяки, що забезпечує більшу гнучкість і дозволяє більш рівномірно розподіляти трафік, особливо в сильно перевантажених секторах.

Завдання декомпозиції включають:

- *Розподіл маршрутів:* Створюйте плани маршрутів, які враховують потреби різних категорій повітряних суден, забезпечують гнучке використання повітряного простору та відповідають вимогам безпеки.



- *Регулювання секторів повітряного простору:* Оптимальний розподіл простору на сектори, що сприяє ефективному управлінню навантаженням і зменшує затори для управління повітряним рухом.
- *Пріоритетність рейсів:* Визначте пріоритетність маршрутів, щоб зменшити ймовірність конфліктів між потоками повітряних суден, особливо в періоди пікових навантажень.
- *Контроль інтенсивності польотів:* Регулювання інтенсивності повітряного руху з метою уникнення ситуацій, які можуть призвести до перевантаження сектору та потенційних конфліктів.

Ефективність управління повітряним простором є однією з ключових умов забезпечення безпеки польотів, економічної вигоди для авіакомпаній та зменшення впливу авіаційного сектору на навколишнє середовище. Ця ефективність оцінюється за допомогою ключових показників ефективності, які дозволяють аналізувати досягнення у сферах безпеки, продуктивності, пропускної спроможності, екологічності та ефективності маршрутів. Ці показники є важливим інструментом для аналітичної оцінки існуючої системи управління повітряним простором, виявлення недоліків та визначення пріоритетних напрямків для вдосконалення.

#### *1) Продуктивність і пропускна здатність*

Ефективність системи управління повітряним простором є основним показником її здатності забезпечувати стабільний і безпечний рух в умовах високих навантажень. Важливою складовою ефективності є пропускна здатність, тобто кількість рейсів, яку система може обслужити за одиницю часу без затримок або перебоїв у повітряному русі. Ключовими аспектами тут є забезпечення безперебійного потоку рейсів та уникнення затримок. Продуктивність також визначається ефективністю використання секторів повітряного простору. Оптимальний розподіл навантаження між диспетчерськими центрами не тільки забезпечує високу пропускну здатність,

але й знижує ризик перевантаження диспетчерів. Це зменшує ймовірність затримок і зводить до мінімуму конфлікти в повітрі, що має вирішальне значення для підтримання безпеки польотів.

## *2) Ефективність маршрутів та навігації*

Ефективність маршруту визначає здатність системи управління забезпечувати найбільш оптимальні та прямі маршрути для польотів, що має значний вплив на споживання палива, час польоту та викиди CO<sub>2</sub>. Ключовим показником тут є показник неортодромії, який відображає відхилення фактичного маршруту від найкоротшої прямої лінії між двома точками. Зменшення цього показника сприяє зниженню витрат на паливо, скороченню викидів шкідливих речовин та зменшенню загального навантаження на повітряний простір. Час перебування літака в повітрі є ще одним важливим критерієм ефективності маршруту, оскільки дозволяє оцінити, наскільки оптимально організовано повітряний простір для швидких і безпечних польотів. Чим менший час перебування в повітрі, тим ефективнішою є система управління, що забезпечує більш економічні та екологічно безпечні польоти. Такі показники важливі для визначення доцільності коригування маршрутів та виявлення зон з потенційними затримками.

## *3) Екологічні показники*

Вуглецевий слід авіації має значний вплив на навколишнє середовище, саме тому екологічні КРІ стають все більш важливими. Зокрема, обсяг викидів CO<sub>2</sub> розраховується для кожного рейсу, і ця інформація використовується для аналізу впливу планування маршрутів на навколишнє середовище. Розробка маршрутів, які зменшують викиди CO<sub>2</sub>, є ключовим викликом для авіакомпаній та органів управління повітряним рухом.

Оптимізація висоти польоту є ще одним екологічним показником, оскільки польоти на більших висотах призводять до значно більшої паливної ефективності та менших витрат на паливо. На більших висотах зменшується

аеродинамічний опір, що дозволяє економити паливо і скорочувати викиди, роблячи польоти більш екологічними. Індикатори висоти допомагають оцінити, наскільки ефективно система управління повітряним простором впроваджує екологічні рекомендації щодо польотів.

#### *4) Індикатори безпеки*

Безпека польотів є найвищим пріоритетом для системи управління повітряним простором, а показники безпеки є ключовими в оцінці її ефективності. До КРІ безпеки належить кількість потенційних конфліктів на перетинах маршрутів, що є важливим показником для оцінки ефективності розподілу трафіку. Цей показник дозволяє визначити необхідність коригування маршрутів для зменшення ризику виникнення небезпечних ситуацій у повітрі.

Крім того, інциденти, пов'язані з перевантаженням секторів повітряного простору, вказують на можливі недоліки в системі управління. Занадто велике навантаження на служби управління повітряним рухом збільшує ризик помилок і неефективного обслуговування польотів, що може призвести до небезпечних ситуацій. Відстеження інцидентів дозволяє контролювати якість управління повітряним простором, особливо в пікові періоди, і вживати заходів для розвантаження заторів.

## **2.3 Збір даних про потоки повітряних суден і формування пріоритетів планування УПР із застосуванням методів зональної навігації**

Підготовка вхідних даних є важливим компонентом ефективного планування повітряного руху. Сюди входять дані про потоки повітряного руху, метеорологічні умови, характеристики повітряних суден і нормативні вимоги. Нижче наведено ключові аспекти підготовки цих даних для оптимізації роботи системи УПР.

### *1. Ідентифікація і аналіз даних*

Перш за все визначаються усі типи необхідних даних, включаючи інформацію про навантаження на маршрути, напрямки польотів і час пікових періодів руху. На основі звітів від органів УПР, аеропортів, Eurocontrol і ICAO прогнозується інтенсивність повітряних потоків та можливі "вузькі місця" у повітряному просторі.

### *2. Метеорологічна інформація*

Погодні умови можуть значно впливати на маршрути повітряних суден і їхні можливості маневрування. Ключовими метеорологічними показниками для планування є швидкість та напрям вітру, атмосферний тиск і можливі небезпечні погодні явища. Такі дані особливо важливі під час розподілу польотів за маршрутами у певних секторах.

### *3. Технічні параметри RNAV*

Оскільки багато маршрутів спираються на навігаційні системи RNAV, під час підготовки розглядаються їх технічні характеристики: типи систем, точність позиціонування, частота оновлення даних і вимоги до зв'язку. Важливо також переконатися, що повітряні судна мають необхідну сертифікацію для відповідності RNAV вимогам.

#### *4. Використання нормативних документів*

Застосовуються міжнародні стандарти і нормативні документи від ICAO та Eurocontrol, які регламентують структуру повітряного простору, допустимі інтервали розділення, висоти польотів та інші параметри. Це забезпечує дотримання загальних вимог безпеки і сумісність із міжнародними вимогами.

#### *5. Підготовка даних для моделювання*

Усі зібрані дані структуруються для моделювання, що дозволяє оцінити ефективність запланованих схем та маршрутів перед їх реальним впровадженням. Моделювання допомагає ідентифікувати потенційні ризики, виявити слабкі місця і налаштувати вихідні параметри для покращення точності організації повітряного простору.

В контексті теми цієї статті ми зосередимося на зборі даних про повітряний рух та його подальшому моделюванні для якісного впровадження методів зональної навігації. Аналіз повітряних потоків є важливим кроком у процесі оптимізації повітряного простору, оскільки саме на основі цих даних можна розробити ефективні маршрути, мінімізувати конфлікти між повітряними суднами та збільшити пропускну спроможність зон управління повітряним рухом.

Детальний аналіз і порівняння повітряного простору до і після впровадження процедур PBN вимагає доступу до спеціалізованих баз даних або співпраці з авіаційними організаціями, які володіють відповідною інформацією про маршрути польотів, транспортні потоки і параметри повітряного простору. У цьому дослідженні для ілюстрації порівняльних прикладів були використані дані дослідження "Блок 2 Процедурні рекомендації для аеропорту Бостон Логан" [16], в якому наведено детальний

аналіз змін у повітряному просторі аеропорту Бостон Логан після запровадження PBN. Такий підхід дозволяє наочно продемонструвати переваги зонові навігації та її вплив на управління повітряним рухом.

Впровадження процедур навігації в зоні PBN, включаючи RNAV і RNP, стало ключовим кроком у модернізації повітряного руху в міжнародному аеропорту Бостона Логан (BOS). Ці процедури дозволили досягти значного прогресу в ефективності польотів завдяки підвищенню точності навігації, зменшенню споживання палива та збільшенню пропускної здатності злітно-посадкової смуги. Аналіз даних за 2010 та 2015 роки свідчить про значні зміни в структурі потоків повітряного руху після впровадження RNAV.

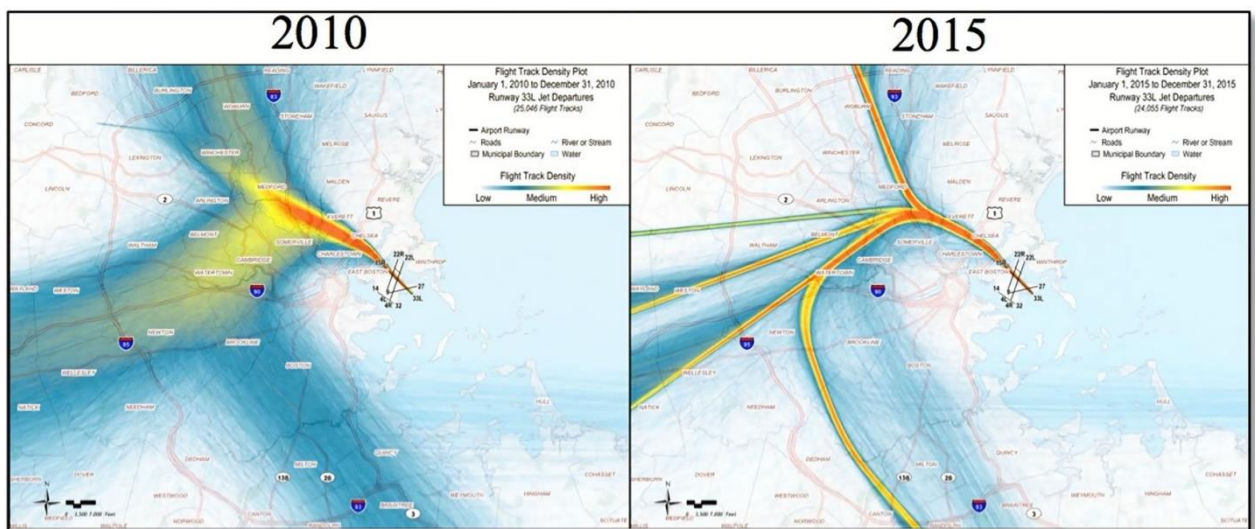


Рис. 2.4 - Траєкторії вильоту ЗПС 33L у 2010 (до) та 2015 (після) роках.

Траєкторії польотів стали більш концентрованими, чітко визначеними і менш розпоршеними, що зменшило кількість конфліктів у повітряному русі, оптимізувало використання повітряного простору і збільшило кількість польотів. Зображення демонструють цю трансформацію: у 2015 році траєкторії польотів у БОС значно відрізняються від 2010 року, особливо з точки зору прильотів і вильотів, що відображає позитивний вплив RNAV на координацію польотів.

Аналіз прибуття повітряних суден до БОС на ЗПС 4R у 2010 та 2015 роках (рис. 2.5) показує, як запровадження ОПР змінило організацію цих операцій. У 2010 році траєкторії прибуття були набагато більш розкидані, що ускладнювало управління повітряним рухом у цьому секторі. Однак у 2015 році RNAV значно підвищила точність маршрутів, а траєкторії польотів сконцентрувалися в одному чітко визначеному коридорі, що полегшило координацію дій диспетчерів і знизило ризик виникнення конфліктів. В результаті кількість рейсів, що обслуговуються на цій злітно-посадковій смузі, зростає з 41 676 до 45 938 на рік, а середньодобовий обсяг польотів збільшився з 114 до 126. Така організація зменшила навантаження на диспетчерів і забезпечила більш ефективне використання повітряного простору, особливо в пікові періоди.

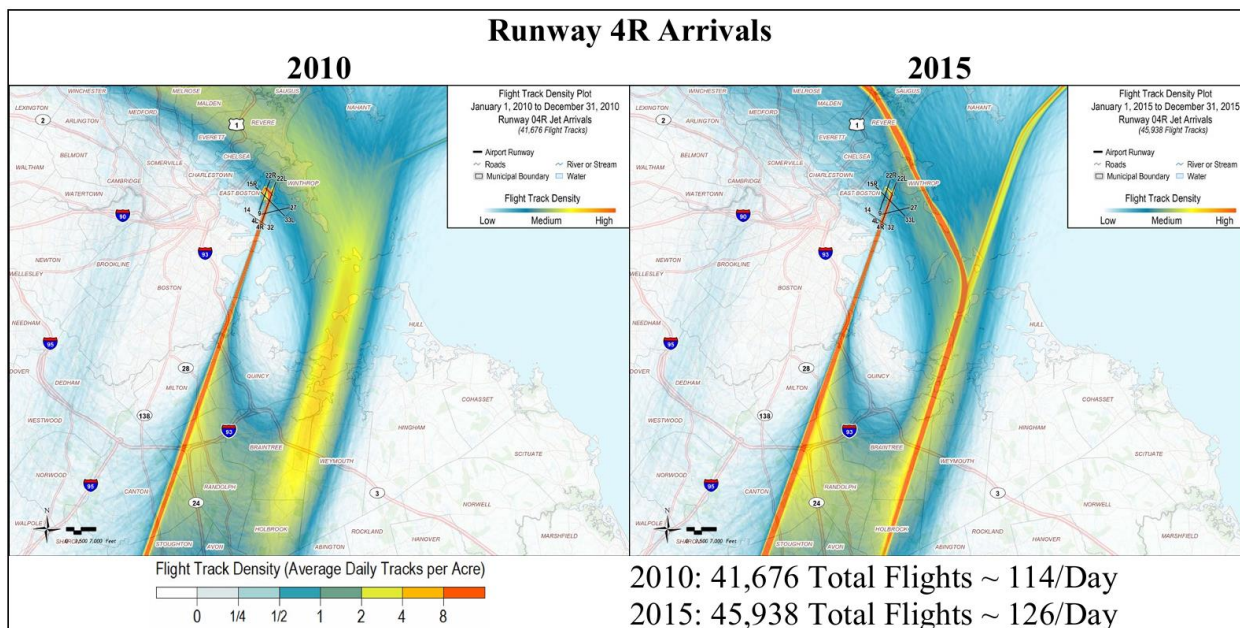


Рис. 2.7 - Порівняння щільності траєкторій прильоту на ЗПС 4R між 2010 та 2015 роками

З точки зору вильотів з ЗПС (Рис. 2.6), запровадження процедур RNAV також мало значний вплив. Аналіз ЗПС 22R показує, що в 2010 році траєкторії вильотів були більш розкидані, а напрямки польотів характеризувалися значною варіацією. Це створювало додаткові труднощі

для диспетчерів і підвищувало ризик конфліктів у повітрі. У 2015 році, завдяки процедурам RNAV, траєкторії польотів стали більш точними, сконцентрувавшись на чітко визначених коридорах. Ці зміни допомогли поліпшити координацію польотів і збільшили середньодобовий обсяг польотів зі 127 до 137. Важливо, що концентрація маршрутів польотів також позитивно вплинула на пропускну спроможність аеропорту, оскільки літаки могли швидше залишати повітряний простір аеропорту, забезпечуючи вільний доступ для нових рейсів.

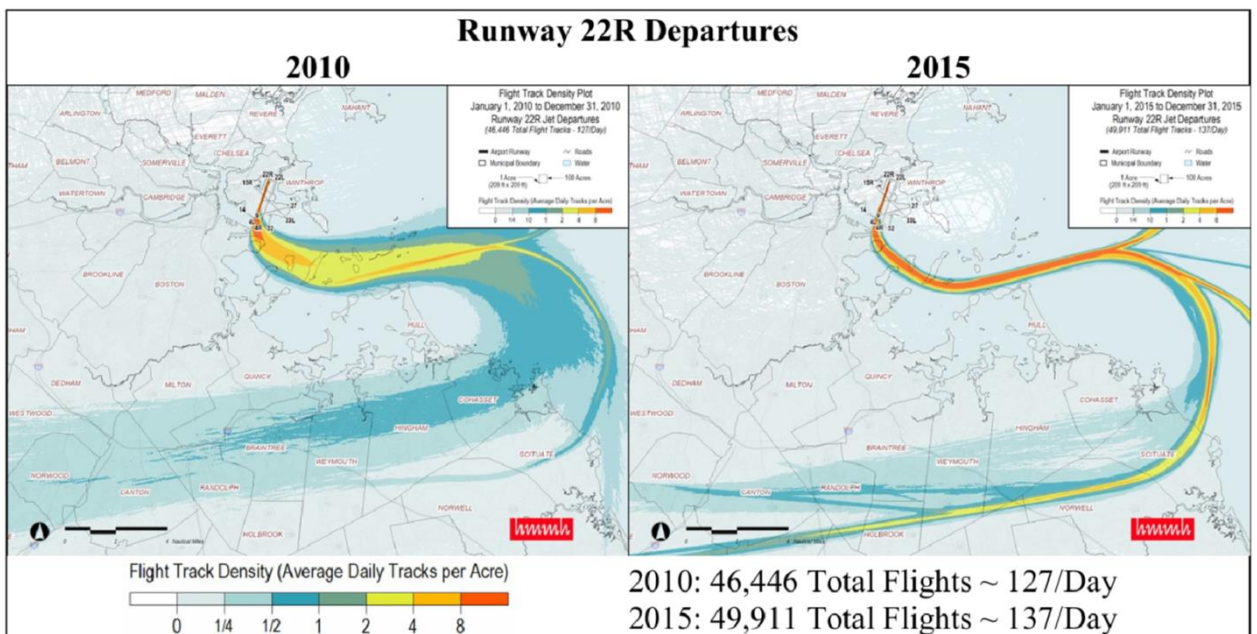


Рис. 2.6 - Порівняння щільності траєкторій вильоту повітряних суден з ЗПС 22R у 2010-2015 роках.

Загалом, впровадження RNAV в БОС продемонструвало, як сучасні навігаційні технології можуть трансформувати управління повітряним рухом. Точність маршруту, зменшення споживання палива та підвищення безпеки були ключовими досягненнями цих процедур. Зображення чітко ілюструють, як впровадження RNAV зробило структуру польотів більш організованою, що позитивно вплинуло на ефективність роботи аеропорту і збільшило його здатність обслуговувати більшу кількість рейсів.



Крім того, для успішного визначення переліку потоків повітряних суден необхідний ретельний аналіз наявних даних. Потоки можна визначити як групи рейсів, що здійснюються за схожими маршрутами і в схожі періоди часу. Зокрема, важливо визначити:

- *Основні маршрути:* визначте найбільш завантажені маршрути, на яких спостерігається найбільша інтенсивність руху.
- *Часові піки:* визначення годин або днів, коли реєструється найбільша кількість рейсів.
- *Сезонні зміни:* врахування змін у трафіку, які можуть бути пов'язані з сезонними подіями, такими як свята або туристичні сезони. [17]

Включає в себе оцінку кількості літаків, що обслуговуються:

- *Прогнозування трафіку:* Використання історичних даних про польоти для прогнозування майбутніх обсягів повітряного руху. Це можуть бути дані про кількість рейсів на день, середню заповнюваність літаків і типи літаків.
- *Сегментація трафіку:* визначення різних типів повітряних суден, що підлягають обслуговуванню, таких як комерційні пасажирські, вантажні, приватні та військові літаки. Кожен сегмент має свої специфічні вимоги до обслуговування і може по-різному впливати на загальний трафік.
- *Аналіз поточної інфраструктури:* оцінка спроможності аеропортів і зон управління повітряним рухом (УПР) обслуговувати очікувані потоки. Сюди входить огляд злітно-посадкових смуг, рівня обслуговування та потенційної пропускної здатності.[18]

Формування пріоритетів планування на основі RNAV:

#### 1. *Визначення пріоритетності маршрутів*

Пріоритетність визначається за такими критеріями, як частота рейсів, частота маршруту, стратегічна важливість маршруту та економічна

доцільність. Визначення пріоритетів дозволяє нам зосередити ресурси на обслуговуванні найбільш важливих і завантажених маршрутів.

2. *Оптимізація маршрутів на основі експлуатаційних характеристик*  
Використання зонової навігації дозволяє гнучко планувати маршрути, адаптуючись до характеристик повітряного судна та умов повітряного простору. PBN допомагає скоротити час перебування в повітрі та забезпечити більш прямі маршрути, що мінімізує витрати на паливо та покращує екологічну ефективність.
3. *Врахування часових факторів та пропускної спроможності секторів*  
При визначенні пріоритетів важливо враховувати сезонні коливання потоків повітряного руху та погодинні пікові періоди. Це дозволяє рівномірно розподілити навантаження на сектори управління повітряним рухом, підвищити ефективність обслуговування та мінімізувати затримки.
4. *Створення гнучких маршрутів і сценаріїв обслуговування*  
Запасні маршрути розробляються на випадок надзвичайних ситуацій або перевантаження стандартних маршрутів. Сценарні моделі використовуються для прогнозування змін повітряних потоків у зв'язку зі зміною погодних умов або інших зовнішніх факторів.

## **Висновки до розділу 2**

Планування та управління повітряним рухом з використанням методів аеронавігації є ключовою сферою для підвищення ефективності використання повітряного простору, оптимізації маршрутів і безпеки польотів. RNAV і RNP, які є частиною концепції PBN, дозволяють прокладати точні, гнучкі маршрути, що зменшують залежність від традиційної наземної інфраструктури і забезпечують адаптивність до мінливих умов повітряного руху. Впровадження цих технологій допомагає досягти нових рівнів пропускної здатності, ефективності маршрутів, ефективності польотів та екологічної ефективності. Аналіз бостонського аеропорту Логан показує, що впровадження зональної навігації сприяло значній концентрації маршрутів польотів, зменшенню дисперсії маршрутів і полегшенню управління повітряним рухом. Точність RNAV зменшила споживання палива, знизилася викиди в атмосферу і збільшилася кількість обслуговуваних рейсів.

Збір даних про повітряний рух та його моделювання є важливою складовою якісного впровадження зональних методів навігації. Використання спеціалізованих баз даних та співпраця з авіаційними організаціями дозволяють проводити детальний аналіз існуючих маршрутів та ефективності нових схем. Порівняння даних до і після впровадження процедур RNAV ілюструє значне підвищення операційної ефективності завдяки зменшенню конфліктів у повітряному русі та покращенню використання ресурсів аеропортів.

Таким чином, методи зонової навігації є інструментом не тільки для вирішення поточних проблем авіаційної галузі, а й для створення більш безпечної, економічно ефективною та екологічно стійкою системи управління повітряним рухом у майбутньому. Вони доводять свою актуальність як у високо завантажених районах, так і для міжконтинентальних перельотів, сприяючи глобальній уніфікації авіаційних стандартів.

Однак для забезпечення максимальної ефективності впровадження зональної навігації необхідно провести глибокий аналіз ключових параметрів системи управління повітряним рухом. Серед них - оцінка завантаженості секторів УПР, аналіз інтенсивності потоків у години пік, визначення кількості потенційних конфліктів на перетинах маршрутів, оцінка неортодромного характеру польотів. Такий аналіз є фундаментальною основою для розробки рекомендацій щодо оптимізації використання повітряного простору, збільшення пропускної спроможності зон УПР та забезпечення безпеки польотів.

Ці питання будуть детально розглянуті в третьому розділі, де буде проведена оцінка ефективності управління повітряним простором та запропоновані рекомендації щодо подальшого вдосконалення управління потоками повітряних суден.

## **РОЗДІЛ 3. ПРОЦЕДУРИ ТЕСТУВАННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**

### **3.1 Оцінка потенційних конфліктних ситуацій, очікуваної інтенсивності потоків, та неортодромічності маршрутів ПС на організацію повітряного руху**

#### *1) Оцінка очікуваної кількості потенційних конфліктних ситуацій на перетинах маршруту*

Конфліктні ситуації виникають, коли траєкторії двох або більше повітряних суден перетинаються в одній точці, що може призвести до зіткнення або небезпечних умов. Метою оцінки таких ситуацій є визначення можливих точок конфлікту в майбутньому та розробка заходів для їх запобігання. Основним кроком є збір даних про траєкторії польотів, включаючи маршрути, висоти польоту і точки перетину.[19]

Для прогнозування конфліктів активно використовується моделювання конфліктів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, такого як EUROCONTROL Navigation Performance Data Analysis Tool. Ці програми дозволяють не тільки відстежувати поточні маршрути, але й прогнозувати можливі конфлікти на основі навігаційних планів і даних про потоки повітряних суден. Моделювання дозволяє визначити точки, в яких два або більше літаків можуть одночасно перебувати на одній висоті або в одному секторі.

Методи аеронавігації, такі як RNAV і RNP, дозволяють створювати схеми повітряного руху, які мінімізують конфлікти на перетинах маршрутів. (Рис. 3.1) Завдяки своїй високій точності та гнучкості ці технології дозволяють здійснювати стратегічне планування та оптимізацію маршрутів з урахуванням потенційних конфліктних зон. В рамках концепції PBN такі схеми стають ефективним інструментом для усунення конфліктів як в кінцевих зонах (SID і STAR), так і на етапах маршруту.

Основна перевага створення оптимізованих схем SID і STAR полягає в тому, що вони дозволяють чітко визначити траєкторії повітряних суден, мінімізуючи їх перетин. Це досягається завдяки використанню криволінійних сегментів, оптимальному ешелонуванню та інтеграції зон з різною інтенсивністю руху. За допомогою RNAV можна прокладати маршрути, оминаючи найбільш завантажені зони та пункти перетину кордону.



Рис. 3.1 - Приклади стратегічного вирішення конфліктів у схемах SID/STAR

Перше зображення ілюструє стратегію усунення конфліктів в точці S за допомогою вертикального і бічного ешелонування. У схемі SID набір висоти обмежується до FL40, щоб уникнути вертикального конфлікту з літаками, що прибувають. У той же час, схеми STAR обмежують висоту прибуття до FL60, забезпечуючи поділ потоків на різних ешелонах. Це рішення ефективно запобігає потенційним конфліктам, дозволяючи літакам, що вилітають і прибувають, безпечно перетинати одну і ту ж точку завдяки чітко визначеним висотним обмеженням.

На другому зображенні показано приклад латерального стратегічного вирішення конфлікту в точці S. У цьому випадку вертикальні обмеження можна усунути, а безпека досягається шляхом чіткого розділення маршрутів SID і STAR. Латеральне розділення потоків дозволяє уникнути небезпечних перехресть навіть на ділянках з інтенсивним рухом. Такий підхід дозволяє більш ефективно використовувати повітряний простір, забезпечуючи оптимальні траєкторії польоту і уникаючи залежності від вертикального ешелонування.

На третьому зображенні показана ситуація, коли конфлікти вирішуються в режимі реального часу за допомогою радіолокаційного наведення. У цьому випадку вертикальне і горизонтальне ешелонування забезпечується диспетчером, що дозволяє швидко реагувати на конфлікти. Таке рішення вимагає високого рівня координації і створює навантаження на служби управління повітряним рухом, але залишається важливим у складних ситуаціях. Використання RNAV і RNP в таких сценаріях може підвищити точність траєкторії, знизити ризик конфліктів і підвищити гнучкість управління маршрутами.

#### *Висновок:*

Оцінка очікуваної кількості потенційних конфліктів на перетинах маршрутів є важливим кроком у забезпеченні безпеки та ефективності повітряного руху. Використання сучасних зональних навігаційних

технологій, таких як RNAV і RNP, в рамках концепції PBN дозволяє створювати оптимізовані схеми руху, які мінімізують ризик виникнення конфліктів у пунктах перетину. Завдяки своїй високій точності та гнучкості ці методи сприяють стратегічному уникненню конфліктів, забезпечуючи чітке вертикальне та горизонтальне розділення маршрутів. Створення та впровадження схем SID і STAR з використанням RNAV і RNP демонструє значний потенціал для зменшення залежності від ручного управління з боку диспетчерів, оптимізації використання повітряного простору та збільшення пропускної здатності. Такі схеми дозволяють уникнути перевантажених пунктів пропуску, забезпечити безпеку повітряних потоків та підвищити ефективність повітряного руху. Використання технологій стратегічного планування та автоматизованого моделювання конфліктів дозволяє авіаційній галузі відповідати на сучасні виклики, зменшити навантаження на авіадиспетчерів та забезпечити стабільний розвиток авіаційної системи. Таким чином, інтеграція зональної навігації є ключовим інструментом для створення безпечної, ефективної та екологічно стійкої системи управління повітряним простором.

## *2) Оцінка очікуваної інтенсивності потоків повітряних суден у години пік:*

Оцінка потоків повітряних суден у години пік має вирішальне значення для ефективного управління повітряним простором. Перевантаженість маршрутів у ці періоди може призвести до затримок, зниження рівня безпеки та збільшення експлуатаційних витрат, тому точне прогнозування та управління обсягами руху має важливе значення для забезпечення безпеки та ефективності повітряного руху.

Пікові години характеризуються найбільшим навантаженням на диспетчерські служби, повітряні коридори та аеропорти. У такі періоди високі обсяги трафіку можуть призводити до затримок, підвищених ризиків конфліктів між літаками та збільшення витрат авіакомпаній через

споживання палива та додаткові операційні витрати. RNAV та RNP надають інструменти для більш точного прогнозування, управління та зменшення завантаженості повітряного простору.

*1. Збір даних про рух повітряних суден:*

Використовуються плани польотів та дані автоматизованих систем моніторингу, які містять інформацію про маршрути польотів, частоту польотів та часові інтервали. Дані класифікуються за типом польоту (міжконтинентальні, внутрішні, транзитні) та часовими інтервалами (ранок, день, вечір).

*2. Розрахунок інтенсивності руху:* Інтенсивність руху визначається кількістю повітряних суден, що проходять через певну точку або сектор ЗПС за одиницю часу. Формула розрахунку:

$$I = \frac{N}{T}$$

Де:

$I$  - інтенсивність руху (літаків на годину),

$N$  - кількість літаків, що проходять через точку за певний період,

$T$  - тривалість періоду (в годинах).

Методи зонної навігації надають кілька ключових переваг для оптимізації управління потоками:

- *Точність і передбачуваність маршрутів:* Використання RNAV дозволяє літакам слідувати визначеними маршрутами з мінімальним відхиленням, зменшуючи кількість непередбачуваних маневрів у години пік.



- *Зменшення кількості конфліктів:* RNP з моніторингом ефективності допомагає забезпечити безпечний інтервал між літаками, зменшуючи ризик конфліктів у найбільш завантажені періоди.
- *Ефективне використання повітряного простору:* Завдяки гнучкості RNAV і RNP маршрути можуть бути адаптовані, щоб уникнути перевантажених зон, оптимізуючи використання повітряного простору.
- *Зменшення затримок:* Процедури постійного набору висоти (CCO) і постійного зниження (CDO) сприяють більш плавному руху за рахунок скорочення часу перебування в повітрі і мінімізації затримок.

Він дозволяє оцінити інтенсивність потоків у години пік:

1. Виявлення вузьких місць у повітряному просторі.
2. Оптимізація розподілу ресурсів у найбільш завантажені періоди.
3. Підвищення безпеки шляхом раннього прогнозування конфліктів.
4. Зниження витрат авіакомпаній за рахунок зменшення затримок.

Використання методів зонової навігації в управлінні інтенсивністю потоків повітряних суден у години пік дозволяє ефективно вирішувати проблему перевантаженості повітряного простору. Завдяки імітаційному моделюванню, точному прогнозуванню трафіку та адаптації маршрутів можна забезпечити високий рівень безпеки, зменшити затримки та підвищити ефективність використання повітряного простору.

#### *Висновок:*

Оцінка інтенсивності потоків повітряних суден у години пік є важливим інструментом для забезпечення ефективного та безпечного управління повітряним простором. Аналіз даних про рух повітряних суден, прогнозування пікових навантажень і оптимізація маршрутів дозволяють мінімізувати затримки, знизити ризик конфліктів і зменшити експлуатаційні витрати авіакомпаній. Методи аеронавігації, такі як RNAV і RNP,

забезпечують гнучкість, точність і передбачуваність у плануванні маршрутів, дозволяючи повітряному руху адаптуватися до умов високої інтенсивності.

### 3) *Оцінка неортодромності маршрутів повітряних суден у зоні обслуговування*

Неортодромічні маршрути - це відхилення фактичних маршрутів повітряних суден від ортодромічної траєкторії, яка є найкоротшим можливим шляхом між двома точками земної поверхні. Таке відхилення виникає через необхідність дотримання встановлених повітряних коридорів, обмежень повітряного простору, зон високої щільності руху та інших експлуатаційних факторів. Впровадження методів зонової навігації, таких як RNAV і RNP, зменшує ці відхилення, що підвищує ефективність повітряного руху.

Методологія оцінки індикатора неортодоксальності:

1. *Збір даних про маршрути польотів:* Дані збираються з планів польотів літаків за певний період часу. Важливою інформацією є координати пунктів відправлення та призначення, а також проміжні точки маршрутів у зоні обслуговування повітряного руху (ОПР).
2. *Розрахунок ортодромічного шляху:* Ортодромна відстань між пунктом відправлення та пунктом призначення обчислюється за формулою:

$$D_{ort} = R \cdot \arccos (\sin \phi_1 * \sin \phi_2 + \cos \phi_1 * \cos \phi_2 * \cos (\lambda_2 - \lambda_1))$$

де  $R$  - радіус Землі (приблизно 6371 км),  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  - широти точок, а  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  - їхні довготи.

3. *Обчислити фактичну відстань маршруту:* Підраховує фактичну відстань між усіма точками маршруту на основі їхніх координат.
4. *Розрахунок коефіцієнта неортодромії:* Коефіцієнт неортодромії розраховується як відношення фактичної довжини маршруту до ортодромічної відстані:

$$K_{\text{неорт}} = \frac{D_{\text{реальн}}}{D_{\text{орт}}}$$

Значення коефіцієнта більше 1 вказує на те, що маршрут відхиляється від оптимальної довжини.

Фактори, що впливають на неортодромію:

- *Конфігурація повітряного простору:* наявність заборонених зон, спеціальне використання повітряного простору та сегментовані сектори УПР.
- *Застосування методів RNAV та RNP:* Ці методи забезпечують більшу гнучкість у плануванні маршруту, дозволяючи наблизити траєкторію польоту до ортодромічної. Використання RNP з моніторингом продуктивності дозволяє зменшити відхилення навіть у складних умовах.
- *Погодні умови:* уникнення зон з несприятливими погодними умовами також може збільшити неортодромність маршрутів.
- *Перевантаженість повітряного простору:* високий рівень трафіку змушує диспетчерів планувати маршрути на основі пріоритетів і уникати заторів.

Для проведення практичної оцінки збираються реальні дані про польоти за певний період у зоні відповідальності УПР. Потім розраховується середній індекс неортодромії для декількох обраних маршрутів. Дані використовуються з таких джерел, як автоматизовані системи моніторингу повітряного руху, які реєструють траєкторії польотів та інформацію про маршрутні точки.

Оцінка показника неортодромії дозволяє визначити ефективність управління повітряним простором. Зменшення цього показника свідчить про підвищення ефективності та гнучкості системи управління повітряним рухом

завдяки оптимізації маршрутів та впровадженню нових технологій, таких як зональна навігація. Підвищення ефективності планування маршрутів та зменшення неортодромії сприяє зменшенню витрат авіакомпаній, підвищенню пунктуальності польотів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

*Висновок:*

Оцінка неортодромності маршрутів повітряних суден у зоні обслуговування повітряного руху є важливим інструментом підвищення ефективності використання повітряного простору. Впровадження зональних методів навігації, таких як RNAV та RNP, дозволяє наблизити траєкторії польотів до ортодромічних, що сприяє оптимізації маршрутів та зменшенню витрат. Завдяки високій точності та функціям моніторингу, які надає RNP, авіакомпанії можуть мінімізувати відхилення від маршруту навіть у складних умовах або при великій інтенсивності руху.

### **3.2 Практичні рекомендації щодо впровадження методів зональної навігації для організації схем і маршрутів руху повітряних суден**

Інтеграція методів RNAV і RNP в схеми повітряного руху:

1. *Оптимізація маршрутів за допомогою RNAV:* Використовуючи RNAV, маршрути можна прокладати незалежно від наземних навігаційних засобів, що дозволяє прокладати прямі та гнучкі маршрути. Це особливо важливо для міжконтинентальних перельотів, де скорочення відстані між пунктами може значно зменшити споживання пального, час польоту та викиди CO<sub>2</sub>. Наприклад, використання RNAV-10 (RNP-10) для океанських перельотів дозволяє ефективно використовувати повітряний простір, мінімізуючи затори та ризик виникнення конфліктів.
2. *Застосування RNP у складних умовах:* Розгортання RNP з функціями моніторингу та попередження є критично важливим у районах з високою

інтенсивністю руху або складними географічними умовами, наприклад, у гірській місцевості або кінцевих зонах поблизу мегаполісів. Наприклад, використання RNP-AR (Authorization Required) дозволяє створювати криволінійні маршрути з високою точністю, що забезпечує безпечний рух навіть у складних умовах.

3. *Оптимізація зон SID/STAR:* У зонах SID (стандартний маршрут вильоту за приладами) і STAR (стандартний маршрут прильоту до терміналу) RNAV-1 і RNP-1 допомагають підвищити точність траєкторій польоту літаків, скорочуючи час очікування і ризик конфліктів у зонах з високим трафіком. Використання криволінійних маршрутів дозволяє уникати зон з високим трафіком і допомагає зменшити шумовий вплив на наземні об'єкти.
4. *Розробка гнучких маршрутів:* Використання RNAV-2 і RNAV-5 для регіональних і транзитних рейсів дозволяє створювати маршрути, які можуть адаптуватися до мінливого трафіку, метеорологічних умов або обмежень повітряного простору. Гнучкість цих маршрутів допомагає зменшити перевантаження служб управління повітряним рухом і забезпечує рівномірний розподіл трафіку.

#### *Практичні рекомендації щодо впровадження:*

##### 1. Навчання персоналу:

- Навчання екіпажів та диспетчерів використанню RNAV та RNP. Особливу увагу слід приділити функціям моніторингу ефективності, які є обов'язковими для RNP.
- Запровадити регулярні тренінги для моделювання сценаріїв руху в умовах високої інтенсивності, складної географії або екстремальних погодних умов.
- Сертифікація пілотів для виконання процедур RNP-AR, особливо в регіонах з високими вимогами до точності траєкторії.

## 2. Інтеграція сучасних технологій:

- Впровадження автоматизованих систем моніторингу для аналізу маршрутів у режимі реального часу та раннього виявлення потенційних конфліктних ситуацій.
- Поєднання RNAV і RNP з системами постійного набору висоти (ССО) і постійного зниження (СДО) для оптимізації профілю польоту і зниження споживання палива.

## 3. Оптимізація повітряного простору:

- Уніфікація маршрутів відповідно до міжнародних стандартів ІКАО для покращення сумісності між національними системами УПР.
- Розробка імітаційних моделей для тестування нових маршрутів і схем зонної навігації перед їх впровадженням.
- Використання моделювання для оцінки потенційної завантаженості маршрутів і конфліктів у повітряному просторі.
- Розподіл зон управління повітряним рухом (УПР) відповідно до інтенсивності руху, сезонних і добових коливань, що дозволяє збалансувати навантаження на сектори управління.
- Використання схем SID/STAR з вигнутими сегментами на підходах і вильотах з аеропортів, що допомагає уникнути перевантажених ділянок і скоротити час у повітрі.
- Зміна під'їзних шляхів і маршрутів відходів через райони з меншою щільністю населення, щоб зменшити шумовий вплив.
- Впровадження процедур безперервного набору висоти та безперервного зниження для зменшення споживання палива, впливу на навколишнє середовище та підвищення економічної ефективності польотів.
- Планування резервних маршрутів для уникнення конфліктних ситуацій у разі перевантаження основних коридорів.

#### 4. Покращення інфраструктури:

- Розширення покриття систем ГНСС, які є основою для RNAV та RNP.
- Модернізація наземних навігаційних засобів, таких як DME/VOR, для забезпечення резервного копіювання на випадок втрати сигналу GNSS.
- Створення зон безперервного моніторингу продуктивності, щоб гарантувати, що операції відповідають вимогам PBN.

#### 5. Стратегічне планування

- Використовуйте історичні дані про рух суден для прогнозування майбутніх тенденцій.
- Оцінка сезонних і добових коливань інтенсивності повітряного руху для адаптації маршрутів до реальних умов.
- Використання статистичних моделей та програмного забезпечення для прогнозування обсягів трафіку в години пік.
- Планування альтернативних маршрутів і зон очікування для розвантаження перевантажених ділянок.
- Використання систем моделювання повітряного руху для виявлення потенційних конфліктних точок.

### **3.3 Рекомендації щодо врахування кількісних характеристик у системі управління потоками повітряного руху із застосуванням методів зональної навігації**

Управління потоками повітряного руху є складним і багатогранним процесом, який вимагає врахування великої кількості факторів для забезпечення безпеки, ефективності та оптимального використання повітряного простору. Одним з найважливіших аспектів є врахування кількісних характеристик, таких як інтенсивність руху, пропускна спроможність секторів, інтервали розмежування, тривалість польоту та маршрути. Використання зональної навігації може значно підвищити ефективність управління потоками, забезпечити гнучкість, зменшити затримки і підвищити безпеку.



1) Основні кількісні характеристики, які враховуються в зональній навігації:

- *Інтенсивність потоків повітряних суден* є однією з основних характеристик, що визначають ефективність управління повітряним рухом. Визначення максимальної кількості повітряних суден, які можуть одночасно перебувати в секторі, допомагає уникнути заторів, забезпечити належний інтервал і мінімізувати ризики. Оцінка інтенсивності руху повинна враховувати не тільки поточне навантаження, але й прогнозовані зміни в залежності від часу доби і сезону. Наприклад, пікові навантаження можуть відрізнятися влітку і взимку, а також у вихідні дні.

Для ефективного управління потоками повітряного руху необхідно оптимізувати маршрути і сектори з урахуванням обсягів руху. (Див. Розділ 3.1) Важливим кроком є аналіз історичних даних про трафік для кожного сектора, що дозволяє прогнозувати пікові навантаження і планувати маршрути. Використання гнучких маршрутів RNAV/RNP на ділянках з високою інтенсивністю руху дозволяє більш ефективно управляти транспортними потоками та уникати заторів.

- *Пропускна спроможність секторів УПР* безпосередньо пов'язана з кількістю повітряних суден, які можуть обслуговуватися одночасно без шкоди для стандартів безпеки польотів. Пропускную спроможність слід враховувати з особливою увагою в години пік, коли навантаження на повітряний простір є найвищим. Для досягнення оптимальної пропускної спроможності важливо розділити сектори за висотними рівнями. Це дозволяє зменшити кількість конфліктів між літаками на різних висотах і збільшити кількість обслуговуваних повітряних суден.

Також важливо динамічно регулювати пропускную здатність секторів, особливо в умовах високої інтенсивності руху. Адаптація висотних зон і горизонтальних інтервалів може допомогти підтримувати

оптимальне завантаження секторів і зменшити ймовірність заторів. Створення резервних маршрутів та альтернативних висот у пікові періоди також є важливим кроком для зменшення ризику заторів.

- *Інтервали розходження*, як горизонтальні, так і вертикальні, встановлюються відповідно до стандартів ІКАО і визначають мінімальну відстань між літаками для запобігання зіткненням. Однак з використанням високоточних навігаційних систем RNAV і RNP ці інтервали можуть бути зменшені, що дозволяє підвищити пропускну здатність. У деяких випадках використання таких систем може зменшити інтервали в секторах з високою точністю навігації, що значно оптимізує використання повітряного простору. Зміна інтервалів між літаками залежно від завантаженості секторів може підвищити пропускну здатність без шкоди для безпеки. Для цього слід використовувати високоточні навігаційні системи для зменшення інтервалів між літаками в секторах з високим трафіком, зберігаючи при цьому безпеку польотів.

Інтеграція кількісних оцінок в ефективність управління потоками:

1. Оцінка конфліктів Оцінка потенційних конфліктів на перетинах маршрутів має вирішальне значення для безпеки повітряного руху. Високоточна аеронавігація (RNAV/RNP) створює оптимізовані схеми руху, які мінімізують кількість конфліктів. Впровадження схем SID і STAR з використанням RNAV/RNP дозволяє більш ефективно уникати перевантажених ділянок і чітко розділяти потоки по вертикалі і горизонталі.
2. Оцінка транспортних потоків у години пік Транспортні потоки в години пік потребують точного аналізу та прогнозування. Використовуючи дані про польоти, можна своєчасно виявити перевантажений повітряний простір і адаптувати маршрути. Зональні

методи навігації сприяють гнучкості маршрутів, що зменшує затримки і витрати на польоти.

3. Оцінка неортодромних маршрутів Відхилення фактичних маршрутів від ортодромних знижують ефективність використання повітряного простору. Використання RNAV/RNP мінімізує неортодромії, скорочуючи час польоту та споживання палива. Оцінка показника неортодромії допомагає визначити, наскільки ефективно організовані маршрути та адаптувати їх для оптимізації.

Рекомендації щодо врахування кількісних характеристик:

- *Розробити прогнозні моделі для оцінки інтенсивності руху.* Використовуйте історичні дані про рух повітряних суден для визначення пікових навантажень і планування адаптивних маршрутів RNAV/RNP, які враховують час доби, сезонні зміни та прогнозовані сплески трафіку.
- *Оптимізація розподілу потоків між секторами УПП.* Поділ секторів за висотними рівнями та створення альтернативних маршрутів допомагає уникнути заторів. Забезпечення гнучкого управління пропускною спроможністю секторів в залежності від поточного навантаження.
- *Використання сучасних навігаційних систем RNAV/RNP для оптимізації інтервалів розведення.* Скорочення інтервалів розходження можливе завдяки впровадженню високоточних навігаційних систем, що зменшує завантаженість повітряного простору і дозволяє обслуговувати більшу кількість повітряних суден.
- *Запровадити автоматизоване моделювання конфліктів.* Використовуйте інструменти моделювання для оцінки потенційних конфліктів на перехрестях маршрутів та розробки стратегічних заходів для їх вирішення.

- *Оцінити неортодромічні маршрути та зменшити витрати.* Регулярно відстежувати неортодромність маршрутів і коригувати траєкторії польоту для наближення до ортодромної, що дозволить скоротити витрати на паливо і час польоту.
- *Впровадження процедур безперервного набору висоти (CCO) та безперервного спуску (CDO).* Ці процедури допомагають забезпечити більш плавні потоки, зменшити затримки і знизити навантаження на диспетчерів у години пік.
- *Посилити інтеграцію даних.* Створити системи збору та аналізу кількісних даних для оперативного коригування планів польотів, забезпечення безпеки та підвищення ефективності повітряного руху.

### **Висновки до розділу 3**

У розділі 3 було детально розглянуто аспекти тестування, впровадження та оцінки ефективності організації повітряного простору із застосуванням методів зональної навігації та кількісних показників управління повітряним рухом. Одним із ключових результатів дослідження є розуміння, що використання сучасних технологій зональної навігації, таких як RNAV і RNP, дозволяє значно підвищити точність і передбачуваність маршрутів. Це мінімізує ризики конфліктів між повітряними суднами та забезпечує ефективну організацію руху навіть у складних умовах.

Важливим напрямом є впровадження схем SID/STAR, які сприяють зменшенню перевантаженості в зонах з високою інтенсивністю руху, забезпечують чітке вертикальне і горизонтальне розділення потоків, а також сприяють економії палива і часу польоту. Аналіз інтенсивності потоків повітряних суден у години пік дозволяє прогнозувати пікові навантаження,

адаптувати маршрути до реальних умов і уникати перевантаженості повітряного простору. Завдяки цьому підвищується ефективність використання ресурсів авіаційної інфраструктури.

Оцінка неортодромності маршрутів вказує на можливості зменшення витрат та екологічного впливу за рахунок оптимізації траєкторій польотів. Застосування високоточних методів навігації наближає маршрути до ортодромічних, що дозволяє скоротити час польотів та зменшити споживання палива. Такі заходи також сприяють підвищенню пунктуальності рейсів і поліпшенню загальної якості послуг авіаційної галузі.

Загалом, впровадження методів зональної навігації демонструє високий потенціал для підвищення ефективності організації повітряного руху. Це включає оптимізацію маршрутів, покращення управління потоками повітряних суден, адаптацію до змінних умов руху та забезпечення високого рівня безпеки польотів. Використання кількісних характеристик для оцінки ефективності управління повітряним рухом дозволяє більш точно прогнозувати навантаження, уникати конфліктів та забезпечувати надійність і стійкість авіаційної системи. Інтеграція сучасних технологій і процедур у управління повітряним простором є важливим кроком до подальшого розвитку авіаційної галузі та адаптації її до зростаючих викликів і потреб.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

Охорона праці є важливою частиною будь-якого виробничого процесу, в тому числі і в секторі управління повітряним рухом, де вона має особливе значення. Висока відповідальність персоналу, складні технічні системи, постійна концентрація уваги та необхідність швидкого реагування на критичні ситуації створюють додаткові виклики у забезпеченні здоров'я та працездатності фахівців.

У контексті повітряного транспорту, особливо з використанням зонової навігації, система охорони праці повинна враховувати специфіку роботи диспетчерів, операторів і техніків, які мають справу з потужним обладнанням, великими обсягами даних і підвищеним когнітивним навантаженням. Крім того, безпека в цій сфері впливає не тільки на здоров'я

працівників, а й на загальну безпеку польотів, що робить охорону праці пріоритетним завданням.

#### 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У процесі організації та управління повітряними перевезеннями з використанням методів зональної навігації виникає низка шкідливих і небезпечних виробничих факторів. До основних факторів відносяться:

- *Психофізіологічний стрес персоналу УПР*: висока інтенсивність роботи авіадиспетчерів; психологічний стрес через необхідність приймати оперативні рішення в режимі реального часу; монотонність роботи та стрес, спричинений відповідальністю за безпеку польотів.
- *Освітлення робочого місця*: недостатнє освітлення може спричинити перенапруження зору; неправильно відрегульовані джерела штучного світла створюють відблиски на моніторах, що знижує ефективність роботи.
- *Вплив шуму*: Високий рівень шуму в диспетчерських може негативно впливати на концентрацію уваги та час реакції.
- *Температура і мікроклімат*: порушення оптимального температурного режиму (22-24°C в холодну пору року, 23-25°C в теплу пору року) і вологості (40-60%) може призвести до зниження працездатності персоналу.
- *Ураження електричним струмом*: ризик короткого замикання через використання великої кількості комп'ютерного та навігаційного обладнання.
- *Високе когнітивне навантаження*: обробка великої кількості інформації в режимі реального часу може призвести до втоми та підвищеного ризику помилок.

## **4.2 Організаційні, проектні та технологічні заходи щодо зменшення впливу шкідливих виробничих факторів**

Робота авіадиспетчерів та технічних працівників вимагає особливої уваги до організації робочого середовища та впровадження технологій, що сприяють зниженню впливу шкідливих виробничих факторів. Умови праці авіадиспетчерів вимагають чітко регламентованих заходів для забезпечення не тільки комфорту, але й безпеки. Заходи поділяються на організаційно-технічні та конструктивно-технологічні, а їх реалізація повинна здійснюватися з урахуванням чинних нормативно-правових актів з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

- 1) Організаційні заходи - спрямовані на оптимізацію умов праці, покращення управління часом та підвищення загальної продуктивності. До основних організаційних заходів належать
- 2) Регулювання робочого часу: Ротація персоналу з регулярними перервами кожні 2 години. Передбачити перерви для вправ на розслаблення м'язів та зняття психофізіологічного стресу.
- 3) Навчання персоналу: Проведення інструктажів з правил безпечної експлуатації обладнання. Організація семінарів та тренінгів з стресостійкості та тайм-менеджменту. Постійне оновлення знань персоналу щодо нових стандартів безпеки. Покращення організації робочих місць:
- 4) Забезпечення ергономічними меблями (стілці, столи), що відповідають антропометричним параметрам працівників. Оптимізація розміщення обладнання для уникнення перенапруження м'язів та суглобів.
- 5) Профілактика стресів: Створення умов для психологічного комфорту, включаючи підтримку корпоративної культури. Надання кімнат відпочинку"[20].



Конструктивні та технологічні заходи:

- ✓ Встановлення систем з автоматичним регулюванням температури та вологості.
- ✓ Регулярне провітрювання приміщень для забезпечення свіжого повітря та зменшення концентрації шкідливих речовин.
- ✓ Використовуйте світильники з теплою колірною температурою (4000-5000K), щоб мінімізувати втому очей.
- ✓ Забезпечте природне освітлення з коефіцієнтом природного освітлення  $\geq 1\%$ .
- ✓ Розміщення світильників з урахуванням вимог до рівномірності світлового потоку.
- ✓ Монтаж звукопоглинальних панелей на стінах і стелі.
- ✓ Заміна застарілого обладнання на сучасне, більш тихе.
- ✓ За необхідності використовуйте засоби індивідуального захисту від шуму.
- ✓ Регулярні перевірки електрообладнання.
- ✓ Використовуйте кабелі та розетки з високим класом захисту.
- ✓ Оснащення приміщень аварійними вимикачами струму та стабілізаторами напруги.
- ✓ Захист від електромагнітного випромінювання:
- ✓ Використовуйте екрани, які знижують рівень випромінювання від моніторів.
- ✓ Дотримання мінімальних безпечних відстаней між робочими місцями та обладнанням.
- ✓ Оснащення приміщень автоматичними системами пожежогасіння та сигналізації.
- ✓ Наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнєгасники, пожежні щити).
- ✓ Чергування роботи за комп'ютером з фізичними вправами.
- ✓ Провітрюйте приміщення принаймні раз на день.

- ✓ Використання зволожувачів повітря для підтримки рівня вологості в межах 40-60%.
- ✓ Регулярне очищення джерел світла, щоб уникнути втрати світловіддачі.
- ✓ Використання ламп з високим коефіцієнтом енергоефективності.
- ✓ Чітке зонування робочих місць з урахуванням специфіки завдань.
- ✓ Встановлення перегородок між робочими місцями для зменшення візуального та шумового забруднення.
- ✓ Створіть умови для коротких фізичних вправ або прогулянок в межах офісу.
- ✓ Спеціальні кімнати відпочинку з тренажерами або зонами релаксації.

Ці заходи допомагають зменшити вплив шкідливих факторів, підвищити продуктивність і сприяють загальному поліпшенню умов праці. Їх реалізація дозволяє створити комфортні та безпечні умови для виконання професійних обов'язків.

### 4.3 Розрахунок штучного освітлення

Для того, щоб умови праці відповідали нормативним вимогам, було розраховано штучне освітлення.

Формула для розрахунку необхідного світлового потоку:

$$F = \frac{E * K * S * Z}{\eta}$$

Де:

- F - світловий потік (лм);
- E - нормована освітленість (люкс);
- K - коефіцієнт запасу;
- S - площа кімнати (м<sup>2</sup>);
- Z - коефіцієнт рівномірності освітлення;

- $\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

### Розрахунок:

Для приміщення площею  $S=20$  м<sup>2</sup>, де  $E=300$  люкс,  $K=1,5$ ,  $Z=1,1$ ,  $\eta=0,6$

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1}{0,6} = 16500 \text{ лм}$$

Обираємо світлодіодні світильники потужністю 20 Вт кожен, які мають світловий потік  $\Phi_{\text{л}}=2000$  лм

$$N = \frac{F}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{16500}{2000} = 8,25$$

Для забезпечення стандартного освітлення необхідно 9 світлодіодних світильників.

### **4.4 Пожежна та вибухова безпека і заходи з охорони праці під час виконання робіт**

Забезпечення пожежо- та вибухобезпеки є одним з головних пріоритетів в диспетчерських пунктах управління повітряним рухом. Ці приміщення насичені складним технічним обладнанням, яке живиться від електромережі, що значно підвищує ризик виникнення пожежі або вибуху. Щоб мінімізувати ці ризики, необхідно впровадити комплекс організаційних і технічних заходів, які відповідають чинним державним стандартам, зокрема ДСТУ 8828:2019. Приміщення повинні бути обладнані автоматичною пожежною сигналізацією, що забезпечує швидке виявлення пожежі, а також автоматичними системами пожежогасіння, здатними швидко нейтралізувати вогонь. Крім того, приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння, такими як вуглекислотні та порошкові вогнегасники, які повинні регулярно перевірятися на працездатність"[21].

Шляхи евакуації повинні бути чітко позначені, обладнані світловими покажчиками та вільні від будь-яких перешкод. Двері повинні бути обладнані автоматичними доводчиками, щоб забезпечити їх зачинення для запобігання поширенню вогню та диму. Усі працівники повинні бути ознайомлені з планами евакуації та регулярно брати участь у навчаннях, що імітують надзвичайні ситуації. Усі працівники повинні знати, що робити у випадку пожежі, включаючи повідомлення відповідальних осіб та використання первинних засобів пожежогасіння.

Особлива увага приділяється технічному обслуговуванню джерела живлення. Кабельні системи необхідно регулярно перевіряти на предмет перегріву, механічних пошкоджень або надмірного навантаження. Не можна використовувати тимчасові подовжувачі або несправні розетки, оскільки вони можуть спричинити коротке замикання. Всі кабельні з'єднання повинні бути ізольовані, а обладнання, що працює при високих температурах, повинно бути оснащено додатковими системами охолодження. Вибухонебезпечні середовища, які можуть утворюватися через пил або пари хімічних речовин, необхідно запобігати шляхом регулярного провітрювання та моніторингу концентрації газів.

Щоб зменшити ризик вибуху, важливо усунути джерела займання, такі як відкрите полум'я, гарячі поверхні або електричні розряди. Горючі матеріали не повинні зберігатися в робочій зоні, а всі легкозаймісті рідини повинні зберігатися в закритих контейнерах у спеціально відведених місцях. Крім того, повинні бути встановлені вентиляційні системи для запобігання утворенню вибухонебезпечних сумішей у повітрі. Всі ці заходи спрямовані на забезпечення найвищого рівня безпеки для працівників та обладнання, а також на запобігання надзвичайним ситуаціям, які можуть негативно вплинути на процес управління повітряним рухом.

## **4.5 Інструкції з охорони праці та безпеки під час роботи в зонах управління повітряним рухом**

Робота в диспетчерських вимагає дотримання суворих правил безпеки. Основними завданнями є запобігання травматизму, захист здоров'я працівників та забезпечення безперебійного функціонування обладнання.

Основні вимоги до персоналу:

### **1. Перед початком роботи:**

- Перевірка справності обладнання.
- Переконайтеся в наявності необхідних засобів індивідуального захисту.
- Ознайомлення з планом евакуації та розташуванням первинних засобів пожежогасіння.

### **2. Під час роботи:**

- Дотримання правил експлуатації комп'ютерної та радіотехнічної техніки.
- Робіть рекомендовані перерви для зняття втоми (кожні 2 години по 15 хвилин).
- Заборонити вживання їжі або напоїв на робочому місці, щоб уникнути пошкодження обладнання.

### **3. Після завершення роботи:**

- Відключення обладнання від джерела живлення.
- Перевірте робочий простір на наявність увімкнених пристроїв.

### **4. Заборони:**

- Самостійне втручання в роботу обладнання.
- Використання несправних або підозрілих пристроїв.
- Порухення правил експлуатації електричних мереж.

Щоб мінімізувати вплив монотонності та статичного напруження, диспетчерам рекомендується чергувати фізичну активність з роботою, що вимагає різних видів уваги. Важливо облаштувати робоче місце відповідно до ергономічних вимог: відстань до моніторів має становити 50-70 см, а висота сидіння має бути відрегульована відповідно до зросту працівника.

Інструкція також охоплює вимоги до роботи жінок: вагітним або жінкам, які годують груддю, не дозволяється працювати з обладнанням, яке може спричинити перевантаження або шкідливий вплив на їхній організм.

#### **Висновок до розділу 4**

У розділі було проведено всебічний аналіз питань охорони праці в секторі управління повітряним рухом. Охорона праці в цій сфері має критично важливе значення, оскільки складні технічні системи, висока відповідальність та інтенсивність роботи персоналу створюють значні виклики для збереження здоров'я та забезпечення безпеки. Особливу увагу було приділено аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які виникають у процесі організації та управління повітряним рухом, таких як високий рівень шуму, психофізіологічне навантаження, вплив електромагнітного випромінювання та ризику, пов'язані з електрообладнанням.

Розроблені заходи з охорони праці спрямовані на мінімізацію впливу цих факторів. Серед організаційних заходів значну увагу приділено регулюванню робочого часу, впровадженню програм підвищення кваліфікації та тренінгів для працівників, а також створенню комфортних умов для виконання професійних обов'язків, включаючи облаштування ергономічних робочих місць. Особливе місце займає забезпечення пожежної

та вибухової безпеки. Встановлення автоматичних систем пожежогасіння, проведення інструктажів з евакуації та регулярні перевірки електромереж є важливими елементами комплексної безпеки. Водночас, впровадження зональної навігації сприяє створенню сучасних умов роботи, які відповідають міжнародним стандартам.

Загалом, запропоновані інструкції з охорони праці враховують специфіку роботи в зонах управління повітряним рухом та забезпечують виконання основних завдань щодо безпеки праці. Розроблені заходи спрямовані на збереження здоров'я працівників, підвищення їхньої ефективності та забезпечення безперебійного функціонування систем управління повітряним рухом. Ці ініціативи є ключовими для підтримки високого рівня безпеки як працівників, так і всієї авіаційної інфраструктури.

## **РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **5.1 Екологічні аспекти в управлінні повітряним рухом**

У сучасному світі захист навколишнього середовища є одним з ключових аспектів сталого розвитку. Авіатранспортна галузь, включаючи методи зональної навігації та управління повітряним рухом, відіграє важливу роль у функціонуванні світової економіки, але в той же час створює значний вплив на навколишнє середовище. Актуальність цього питання зумовлена не тільки безперервним зростанням обсягів повітряних перевезень, але й необхідністю врахування екологічних аспектів при розробці нових систем управління повітряним рухом. Основними джерелами впливу в цій сфері є викиди шкідливих речовин в атмосферу, шумове забруднення, споживання енергії, що призводить до підвищення загального рівня забруднення навколишнього середовища.

Вплив діяльності з управління повітряним рухом та навігації на навколишнє середовище можна класифікувати як фізичний, хімічний та акустичний. Основними джерелами цього впливу є експлуатація авіаційної техніки, функціонування наземної інфраструктури аеропорту, а також робота інформаційних систем та радіообладнання.[23] Фізичний вплив проявляється у вигляді шумового забруднення, спричиненого роботою авіаційних двигунів та радіолокаційного обладнання. Хімічний вплив включає викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) та вуглеводні, що утворюються під час роботи авіаційних двигунів. Крім того, важливим фактором є поведження з відходами, що утворюються в аеропортах, включаючи небезпечні речовини, такі як відпрацьовані мастила, хімікати і пластмаси.

Авіаційна галузь щорічно виробляє близько 2-3% від загальних глобальних викидів CO<sub>2</sub>, і ця частка зростає через збільшення попиту на авіаперевезення.[24] Крім CO<sub>2</sub>, літальні апарати виділяють оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), які на висоті сприяють утворенню озону – потужного парникового газу. Водяна пара, яка викидається на великій висоті, утворює конденсаційні сліди, які посилюють ефект глобального потепління через утворення високих хмар. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища, загальний кліматичний вплив авіації може бути в 2-3 рази більшим, ніж вплив лише від викидів CO<sub>2</sub>.

Шумове забруднення, спричинене авіаційною діяльністю, негативно впливає на дику природу, а також на здоров'я та комфорт людей, які живуть поблизу аеропортів. Високий рівень шуму призводить до підвищення рівня стресу, погіршення когнітивних функцій та ризику серцево-судинних захворювань. Хімічний вплив, у свою чергу, є однією з основних причин глобального потепління, оскільки авіаційна галузь є одним з найбільших джерел викидів CO<sub>2</sub>. Зростання концентрації цих газів в атмосфері посилює



парниковий ефект, що спричиняє зміну клімату, втрату біорізноманіття та погіршення здоров'я населення.

Для зменшення негативного впливу на довкілля пропонується низка заходів. По-перше, слід оптимізувати маршрути польотів за допомогою методів зональної навігації, що дозволить скоротити час у повітрі, споживання палива і, відповідно, викиди. Використання сучасних авіаційних двигунів з підвищеною енергоефективністю також сприятиме зменшенню викидів. По-друге, слід впроваджувати системи моніторингу шуму та створювати буферні зони навколо аеропортів, щоб зменшити акустичний дискомфорт для місцевих жителів. У сфері управління відходами необхідно забезпечити їх сортування та переробку. Використання біорозкладних матеріалів в діяльності аеропортів, зокрема для обслуговування пасажирів, допоможе зменшити навантаження на навколишнє середовище.

Слід також зазначити, що впровадження альтернативних джерел енергії, таких як сонячні батареї або вітрогенератори для забезпечення електроенергією наземної інфраструктури аеропортів, дозволить значно скоротити викиди парникових газів. Крім того, перехід на електротранспорт для обслуговування літаків на землі також є перспективним напрямком зменшення забруднення повітря.

Таким чином, охорона навколишнього середовища в секторі повітряного транспорту та управління повітряним рухом є надзвичайно важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Застосування сучасних технологій, раціональне використання ресурсів та активне впровадження екологічних стандартів дозволить значно зменшити негативний вплив авіаційної галузі на екосистему та сприятиме її сталому розвитку.

Технологічні та організаційні рішення:

1. *Оптимізація маршрутів:* Використання зональної навігації RNAV і RNP дозволяє скоротити час у повітрі, зменшити споживання палива

та обсяг викидів. Наприклад, впровадження процедур постійного набору висоти (CCO) та постійного зниження (CDO) скорочує час польоту та споживання палива на 10-20%.

2. *Перехід на біопаливо та електротранспорт*: Сучасні дослідження у сфері авіаційного біопалива демонструють його потенціал для скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 50-80% порівняно зі звичайним авіаційним паливом. Також перспективним є впровадження електричних літаків для регіональних перевезень.
3. *Енергозбереження*: Використання сонячних панелей для живлення аеропортів та заміна звичайних джерел енергії на відновлювані дозволяють значно зменшити споживання викопного палива. Наприклад, індійський аеропорт Кочі повністю забезпечується сонячною енергією.
4. *Зниження шумового впливу*: Встановлення шумозахисних бар'єрів, оптимізація траєкторій польотів із урахуванням густонаселених районів та використання нових літаків зі зниженим рівнем шуму, таких як Boeing 787 Dreamliner та Airbus A350-1000, зменшує вплив на громади.
5. *Управління відходами*: Аеропорти можуть впроваджувати програми сортування та переробки відходів. Використання біорозкладних матеріалів у діяльності аеропортів дозволить зменшити обсяги пластику, що потрапляє у сміття.

#### Міжнародні ініціативи:

1. *CORSIA* (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation): Програма Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) спрямована на компенсацію та скорочення викидів CO<sub>2</sub> у міжнародній авіації. Вона вимагає від авіакомпаній інвестувати у проекти зі зниження викидів, наприклад, відновлення лісів.[25]

2. *Європейський "Зелений курс"*: ЄС активно стимулює зниження викидів авіації через впровадження високоефективних технологій, підтримку біопалива та розширення системи торгівлі квотами на викиди.
3. *Програми сталого розвитку аеропортів*: Багато аеропортів, зокрема Лондонський Гатвік і Франкфурт, запроваджують стратегії зі зменшення вуглецевого сліду, використання екологічно чистого транспорту та скорочення енергоспоживання.

## **Висновки до розділу 5**

Розділ "Охорона навколишнього середовища" підкреслює критичну важливість інтеграції екологічних принципів у діяльність авіаційної галузі, яка є одним із значних факторів впливу на довкілля. Аналіз показав, що вплив авіації охоплює викиди шкідливих речовин, шумове забруднення, споживання викопних видів палива та утворення відходів. Незважаючи на значний внесок галузі у світову економіку, її діяльність також сприяє зміні клімату, глобальному потеплінню, втраті біорізноманіття та погіршенню здоров'я населення.

Застосування інноваційних технологій, таких як зональна навігація (RNAV/RNP), оптимізація маршрутів польотів та використання енергоефективних двигунів, дозволяє значно зменшити викиди та споживання пального. Водночас впровадження біопалива, електричних літаків і альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі, в аеропортах відкриває нові перспективи для сталого розвитку галузі. Шумозахисні бар'єри, оптимізація траєкторій польотів і використання літаків

зі зниженим рівнем шуму сприяють мінімізації акустичного дискомфорту для місцевого населення.

Міжнародні програми, такі як CORSIA, Європейський "Зелений курс" та стратегії сталого розвитку окремих аеропортів, свідчать про глобальну увагу до екологічних проблем авіації. Вони спрямовані на компенсацію викидів, впровадження нових технологій і розробку екологічно чистих методів управління повітряним рухом. Крім того, заходи з управління відходами, включаючи сортування та використання біорозкладних матеріалів, значно скорочують навантаження на екосистему.

У підсумку, сталий розвиток авіаційної галузі потребує комплексного підходу, що включає інноваційні технічні рішення, відповідальне управління ресурсами та дотримання екологічних стандартів. Лише завдяки цьому можна знизити негативний вплив на довкілля та забезпечити гармонійний розвиток авіації у відповідності до вимог сучасного світу.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

У дослідженні проаналізовано теоретичні засади, методи реалізації та оцінки ефективності управління повітряним простором з використанням сучасних технологій аеронавігації (RNAV та RNP). Дослідження показало, що інтеграція цих методів є ключовим напрямком удосконалення управління повітряним рухом, забезпечення підвищення безпеки, ефективності, екологічності та економічної вигоди для авіаційної галузі.

Аналіз теоретичних підходів до управління повітряним рухом підтвердив важливість гармонізації міжнародних стандартів (ІКАО) з національними правилами. Впровадження концепції PBN (Performance-Based Navigation), яка об'єднує RNAV та RNP, дозволяє стандартизувати навігаційні вимоги, оптимізувати маршрути польотів та забезпечити гнучкість

RNAV дозволяє прокладати маршрути незалежно від наземних навігаційних засобів, що зменшує відхилення від оптимальної траєкторії польоту, знижує споживання палива та викиди CO<sub>2</sub>. RNP забезпечує додаткову точність і моніторинг, особливо в складних географічних умовах і зонах з високим трафіком. Це допомагає зменшити затримки, збільшити пропускну здатність і підвищити безпеку польотів.

Розробка та впровадження схем SID/STAR, адаптованих до RNAV та RNP, дозволяє уникати перевантажених зон, забезпечувати безперебійний рух повітряних суден та знижувати ризик виникнення конфліктів у повітряному русі. Це має значний вплив на зменшення затримок та шумового забруднення в аеропортах.

Оцінка інтенсивності потоків, кількості конфліктів, пропускної спроможності секторів та неортодромних маршрутів дозволяє більш точно планувати та управляти повітряним простором. Зменшення різноманітності маршрутів економить час і паливо, що знижує операційні витрати авіакомпаній і покращує екологічні показники.

Рекомендується впроваджувати сучасні навігаційні технології, автоматизовані системи моніторингу, процедури CDO (безперервного зниження) і CCO (безперервного набору висоти). Це дозволить підвищити точність планування маршрутів, зменшити витрати та негативний вплив на навколишнє середовище.

Впровадження методів зонової навігації (RNAV та RNP) є ключовим кроком до модернізації системи управління повітряним рухом. Вони підвищують безпеку, оптимізують маршрути, зменшують витрати та вплив на навколишнє середовище, адаптуючи повітряний транспорт до сучасних викликів та зростаючих потреб. Інтеграція цих технологій та підходів сприятиме сталому розвитку авіаційної галузі, посиленню її конкурентоспроможності та відповідності міжнародним стандартам.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The trusted source for air travel demand updates - ACI World – Режим доступу до ресурсу: [https://aci.aero/2024/09/18/the-trusted-source-for-air-travel-demand-updates-2/#:~:text=Before%20the%20COVID%2D19%20pandemic,\(YoY\)%20growth%20from%202023.](https://aci.aero/2024/09/18/the-trusted-source-for-air-travel-demand-updates-2/#:~:text=Before%20the%20COVID%2D19%20pandemic,(YoY)%20growth%20from%202023.)
2. Про затвердження Положення про використання повітряного простору України – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/954-2017-%D0%BF>
3. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони – Режим доступу до ресурсу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_004-21](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-21)

4. An evolutionary outlook of air traffic flow management techniques T Kistan, A Gardi, R Sabatini, S Ramasamy... - Progress in aerospace ..., 2017 - Elsevier–  
Режим доступа до ресурсу:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376042116300458>

5. EUROCONTROL History Book – Режим доступа до ресурсу:

<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-01/eurocontrol-history.pdf>

Europe's Single Sky – Режим доступа до ресурсу: <https://ifatca.org/european-region/europes-single-sky/>

7. DANUBE FAB – Режим доступа до ресурсу:

<https://www.bulatsa.com/en/activities/projects/danube-fab/>

8. Performance-Based Navigation Implementation Roadmap: – Режим доступа до ресурсу:

<https://www.icao.int/safety/pbn/PBNStatePlans/China%20PBN%20implementation%20plan.pdf>

9. ICAO PBN Workshop Tanzania Introduction to RNAV: – Режим доступа до ресурсу: [https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2014/OPS-](https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2014/OPS-Approval/14%20October%202014/01%20-%20Introduction%20to%20RNAV.pdf)

[Approval/14%20October%202014/01%20-%20Introduction%20to%20RNAV.pdf](https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2014/OPS-Approval/14%20October%202014/01%20-%20Introduction%20to%20RNAV.pdf)

10. Required Navigation Performance (RNP) – Режим доступа до ресурсу:

<https://skybrary.aero/articles/required-navigation-performance-rnp>

11. Section 2. Performance-Based Navigation (PBN) and Area Navigation (RNAV) - Режим доступа до ресурсу:



[https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/atpubs/aim\\_html/chap1\\_section\\_2.html](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap1_section_2.html)

12. The ICAO PBN Manual (Doc 9613) – Режим доступа до ресурсу:

<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2991.pdf>

13. Area Navigation Systems | SKYbrary Aviation Safety

- Режим доступа до ресурсу: <https://skybrary.aero/articles/area-navigation-systems>

14. Introducing Performance Based Navigation (PBN) and Advanced RNP

(A-RNP) PUBLISHED 1 JANUARY 2013 - Режим доступа до ресурсу:

<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/2013-introducing-pbn-a-rnp.pdf>

15. Performance Based Navigation (PBN)

- Режим доступа до ресурсу: <https://skybrary.aero/articles/performance-based-navigation-pbn>

16. Block 2 Procedure Recommendations for Boston Logan Airport Community

Noise Reduction – Режим доступа до ресурсу:

[https://www.researchgate.net/publication/353995571\\_Block\\_2\\_Procedure\\_Recommendations\\_for\\_Boston\\_Logan\\_Airport\\_Community\\_Noise\\_Reduction/figures?lo=1&utm\\_source=google&utm\\_medium=organic](https://www.researchgate.net/publication/353995571_Block_2_Procedure_Recommendations_for_Boston_Logan_Airport_Community_Noise_Reduction/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic)

17. Seasonality in tourism: Issues and implications RW Butler - Seasonality in tourism, 2001

18. Air Traffic Management (ATM) operations: a review L Ren, M Castillo-Effen - Report 2017GRC0222, 2017 - researchgate.net – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/profile/Liling-Ren/publication/323244123\\_Air\\_Traffic\\_Management\\_ATM\\_Operations\\_A\\_Review/links/5a8c94f60f7e9b2285908afa/Air-Traffic-Management-ATM-Operations-A-Review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Liling-Ren/publication/323244123_Air_Traffic_Management_ATM_Operations_A_Review/links/5a8c94f60f7e9b2285908afa/Air-Traffic-Management-ATM-Operations-A-Review.pdf)
19. NUMBER OF CONFLICTS AT THE ROUTE INTERSECTION VILNIUS TECH Journals by A Novak · 2019 · Cited by 24 – Режим доступу до ресурсу: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/Aviation/article/download/9746/8544>
20. [OPPВ.COM.UA](https://oppb.com.ua) > [Статті](#) > Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv>
21. ЛЕКЦІЇ „Основи охорони праці” (з матеріалами для СРС) – Режим доступу до ресурсу: [https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/05/Lekc\\_OP\\_TEF.pdf](https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/05/Lekc_OP_TEF.pdf)
22. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv>
23. Environmental impact of air traffic flow management delays S Carlier, I De Lépinay, JC Hustache... - ... air traffic management ..., 2007 – Citeseer – Режим доступу до ресурсу:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ad6cda7e277c5f703c8a4ffd1bb22e1708bdf72a>

24. What share of global CO<sub>2</sub> emissions come from aviation? By: Hannah Ritchie  
April 08, 2024 – Режим доступа до ресурсу:  
<https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions#:~:text=Aviation%20accounts%20for%202.5%25%20of,to%20global%20warming%20to%20date.>

Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) –  
Режим доступа до ресурсу: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

