

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ В.Ю. Ларін

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**  
**ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ**  
**«ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ»**

**Тема: «Потоки повітряних суден, що прибувають, у термінальних зонах»**

**Виконав:** \_\_\_\_\_ **Губанов О.М.**

**Керівник:** \_\_\_\_\_ **Луппо О.Є.**

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ **Аргунов Г.Ф.**

**Київ 2020**

## ЗМІСТ

<b>СПИСОК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1. УПРАВЛІННЯ ПРИБУТТЯМ ПОТОКІВ В ВУЗЛОВИХ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ ЗОНАХ.....</b>	<b>11</b>
1.1. Сучасні методи побудови послідовності прибуття.....	11
1.2. Вільні маршрути.....	18
1.3. 4-вимірна траєкторія.....	23
Висновок до розділу 1.....	31
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОД ТОЧКИ ЗЛИТТЯ.....</b>	<b>32</b>
2.1. Точкове поєднання – як новий перспективний метод.....	32
2.2. Операції безперервного зниження як частина процедури точкового злиття.....	36
Висновок до розділу 2.....	41
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКУ ЛІТАКІВ, ЩО ПРИЛІТАЮТ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ТОЧКИ ЗЛИТТЯ.....</b>	<b>43</b>
3.1. Опис методу точкового об’єднання для чотирьох потоків прибуття.....	43
3.2. Розробка алгоритму.....	48
3.3. Розробка програми та її результати.....	53
3.4. Перспективи подальшого вдосконалення моделі.....	57
Висновок до розділу 3.....	59
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>60</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>62</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>64</b>

## ВСТУП

Авіаційна діяльність зростає з року в рік величезними стрибками. Таким чином, перед авіаційним суспільством постають все нові і нові проблеми, пов'язані з ростом цієї активності. У будь-якому випадку мінімуми ешелонування повинні бути передбачені, але обмеження кількості повітряних суден у повітряному просторі є неможливим з економічних причин і причин попиту. Тому службам повітряного руху доводиться мати справу з величезною кількістю літаків у повітряному просторі. У разі зонального контролю зростання кількості повітряних судів не є такою великою проблемою, як, наприклад, в вузлових зонах, оскільки в ТМА менше місця для маневрування і менше часу для прийняття рішень. Ця проблема особливо гостро стоїть під час прибуття літаків в термінальних диспетчерських зонах з щільним потоком транспорту, в районах декількох аеропортів.

Проблема боротьби з величезною кількістю літаків в аеродромах посилюється і методами, які сьогодні використовують авіадиспетчери. В даний час це метод векторування, який заснований на подачі певних команд для кожного повітряного судна, що знаходиться під контролем авіадиспетчера. Цей метод добре підходить для скорочення траєкторії польоту конкретного літака, але в разі великої кількості літаків в зоні цей метод абсолютно безкорисний і потенційно небезпечний, тому що надавання команд для кожного літака в зоні збільшує навантаження на авіадиспетчера та в разі помилки ймовірність виникнення конфліктів дуже висока. Таким чином, дуже складно забезпечити один з найважливіших пріоритетів авіації - безпеку, використовуючи векторування в термінальних зонах з високою щільністю транспортних потоків.

Метод точкового об'єднання дає нам гарну можливість оптимізувати послідовність прибуття літаків в аеродроми без наслідків на завантаженість авіадиспетчерів і безпеку польотів. Перші випробування в аеропортах Осло і Шарль-де-Голль в Парижі показали колосальне збільшення пропускнуої спроможності сектора УПР і, таким чином, скорочення загального часу на

визначення послідовності руху. Також це дало позитивні результати, тобто поліпшення якості обслуговування повітряних суден під час процедури прибуття, більшої поінформованості пілота і авіадиспетчера про ситуацію і загальної впорядкованості потоків руху.

**Мета роботи:** оптимізація потоку повітряних суден, що прибувають, шляхом методу точкового об'єднання, розробка і розрахунок процедури точкового об'єднання для аеропорту Бориспіль з використанням загальної концепції. Для досягнення цієї мети поставлені наступні **завдання:**

- вивчити проблеми сучасних методів впорядкування прибуття повітряного руху;
- як ці проблеми можуть бути вирішені і що корисного можна виділити в цих методах, щоб використовувати їх в подальшому;
- проаналізувати метод точкового об'єднання як новий метод оптимізації прибуття повітряного руху;
- розробити алгоритм визначення послідовності прибуття;
- розрахувати всі необхідні дані і розробити програму для візуального представлення автоматичного визначення послідовності прибуття в термінальній зоні.

## РОЗДІЛ 1.УПРАВЛІННЯ ПРИБУТТЯМ ПОТОКІВ В ТЕРМІНАЛЬНИХ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ ЗОНАХ

### 1.1. Сучасні методи побудови послідовності прибуття

Кожен етап польоту має свої особливості. Таким чином, структура маршрутів, використовуваних повітряним судном під час польоту по маршруту, не підходить для схем заходу на посадку під час процедур прибуття. Є два типи маршрутів прибуття:

- Зазначені, як і в випадку з маршрутами прибуття по ППП, які зазвичай публікуються як STAR (на основі RNAV або традиційних засобів навігації), зазначені маршрути ПВП (оприлюднені, наприклад, за допомогою пунктів візуальної передачі повідомлень) або візуальні коридори;

- Не зазначені, як у випадку з тактичною маршрутизацією, «створені» УПР в формі радіолокаційних векторів або інструкції, що вказують «слідувати прямо до» точки шляху RNAV.

RNAV все частіше використовується в якості основи для побудови схем заходу на посадку або вильоту за приладами на основі RNAV. Зазвичай схема заходу на посадку за приладами на основі RNAV не включає ділянку кінцевого етапу заходу на посадку і / або відходу на друге коло. У багатьох випадках треки, що зображують ці процедури, призначені для відтворення моделі наведення радіолокатора, оскільки ці процедури використовуються УПР замість наведення радіолокаційного сигналу.

Хоча радіолокаційне наведення (рис. 1.1) використовувалася УПР для ешелонування і впорядкування руху протягом декількох десятиліть, більш широке використання RNAV в повітряному просторі аеродрому призвело до того, що УПР може дати тактичні інструкції до точки шляху. На відміну від радіолокаційного наведення, інструкції до шляхової точки призводять до того, що літак летить по певній траєкторії (а не за курсом). У той час, як радіолокаційне наведення та інструкції слідувати прямо до точки шляху не вважаються маршрутами ОПР (в традиційному сенсі), вони зображені на малюнку вище,

оскільки проектувальники вузлового повітряного простору повинні враховувати всі маршрути при проектуванні повітряного простору, що створені в стратегічному або тактичному порядку.

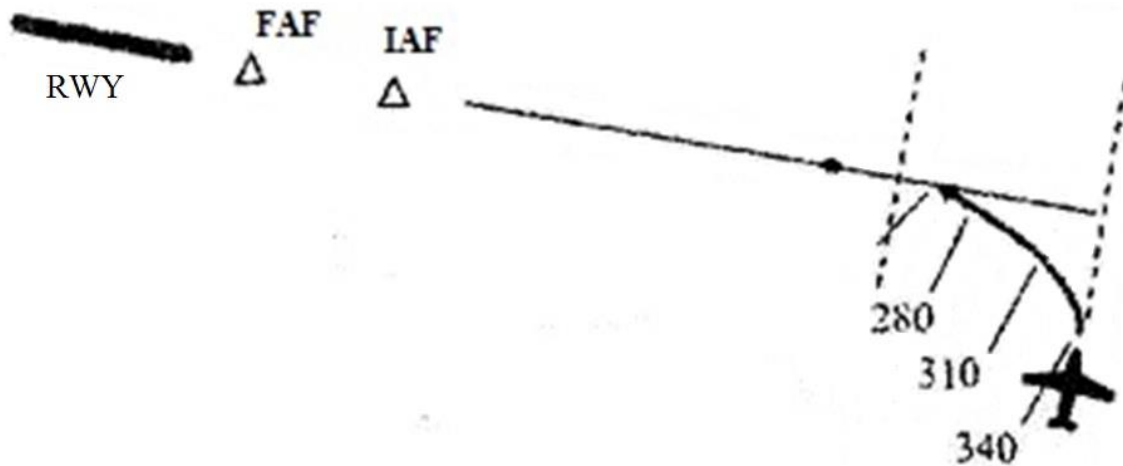


Рис. 1.1. Радіолокаційне наведення

У світлі цього розмаїття загальний вираз «Вузлові маршрути (прибуття / відправлення)» використовується для опису підмножини маршрутів ОПР, що складається з маршрутів прибуття і відправлення, SID/STAR і схем заходу на посадку або вильоту за приладами на основі RNAV.

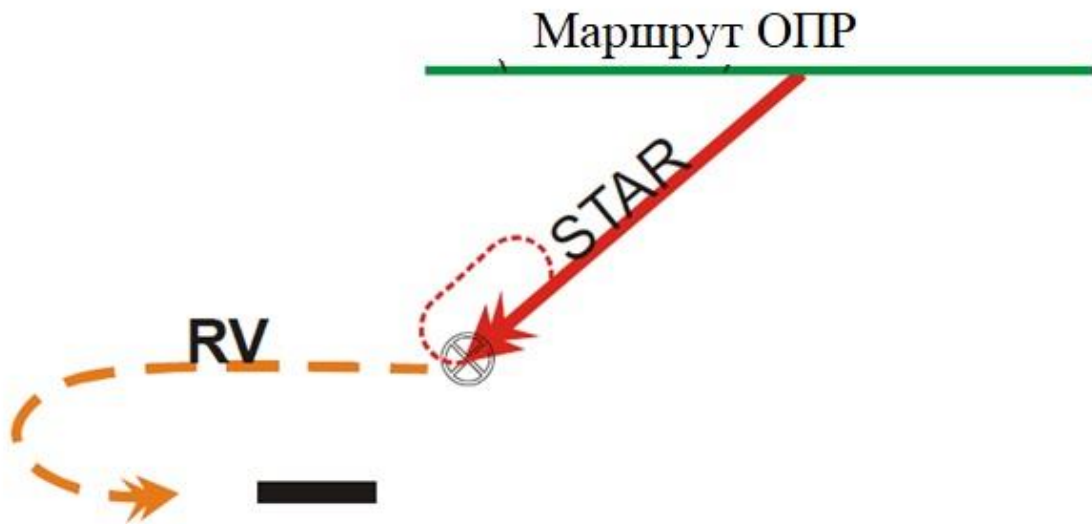
### **STARs і процедури заходження на посадку за приладами**

Були реалізовані дві абсолютно різні моделі STAR в вузловому повітряному просторі. У той час як перша STARs забезпечує зв'язок між системою маршрутів ОПР на маршруті і вузловому повітряному просторі (рисунок 1.2), у другому STAR починаються ближче до злітно-посадкової смуги (рисунок 1.3).

Таким чином, в першому випадку STAR починається в системі руху по маршруту і закінчується (зазвичай) всередині вузлового повітряного простору, часто в точці очікування, тоді як у другому випадку STAR має тенденцію

починатися - приблизно - на кордоні вузлового повітряного простору (або зона відповідальності підходу).

### МОДЕЛЬ 1



**STAR з'єднує маршрут ОПР з Вузловим (Термінальним) Повітряним простором**

Рис. **Error! No text of specified style in document.**2 Модель 1 STAR

### МОДЕЛЬ 2

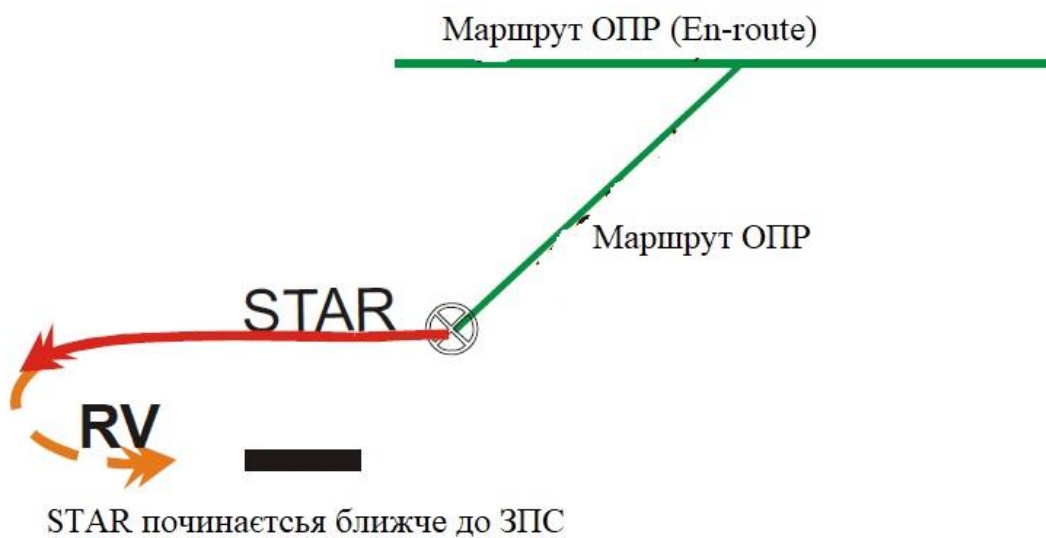


Рис.1.3 Модель 2 STAR

RNAV використовується в вузловому повітряному просторі не тільки в якості основи для розробки STAR, а й для розробки схем заходу на посадку за приладами на основі RNAV.

Що стосується «Моделі» 1, впровадження RNAV в якості основи для проектування кінцевих маршрутів передбачає заміну або відтворення моделі радіолокаційного наведення на схеми заходу на посадку за приладами на основі RNAV (або в деяких випадках RNAV STAR).

### Закриті STARs

Закриті схеми забезпечують наведення по лінії шляху аж до лінії шляху кінцевого етапу заходу на посадку, після чого літак зазвичай захоплює ILS (рис. 1.4). Закрита процедура забезпечує пілота певною дистанцією для приземлення, тим самим підтримуючи виконання системами зональної навігації вертикального профілю.

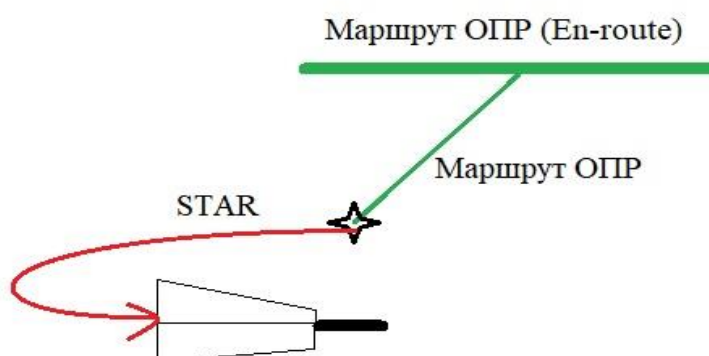


Рис. 1.4 Закриті STAR



Якщо кілька маршрутів прибуття використовуються на одній ЗПС, закрита процедура може привести до загрози безпеці, якщо орган УПР не зможе втрутитися, щоб запобігти автоматичний поворот на кінцевий етап заходу на посадку в напрямку інших транспортних засобів. Однак важливо відзначити, що закриті процедури можуть розроблятися і публікуватися таким чином, щоб передбачати альтернативний маршрут, що надається УПР на тактичному рівні. Цим тактичним змінам може сприяти надання додаткових шляхових точок, що дозволяють УПР забезпечувати подовження або скорочення маршруту за допомогою інструкцій «прямо до шляхової точки». Однак ці тактичні зміни, необхідні для максимального збільшення пропускної спроможності ЗПС, дійсно впливають на вертикальний профіль, запланований системою зональної навігації.

### Відкриті STAR

Відкриті схеми забезпечують наведення по лінії шляху (зазвичай) до позиції лінії шляху за вітром, з якої повітряне судно тактично направляється УПР для захоплення лінії шляху кінцевого етапу заходу на посадку (рисунок 1.5).

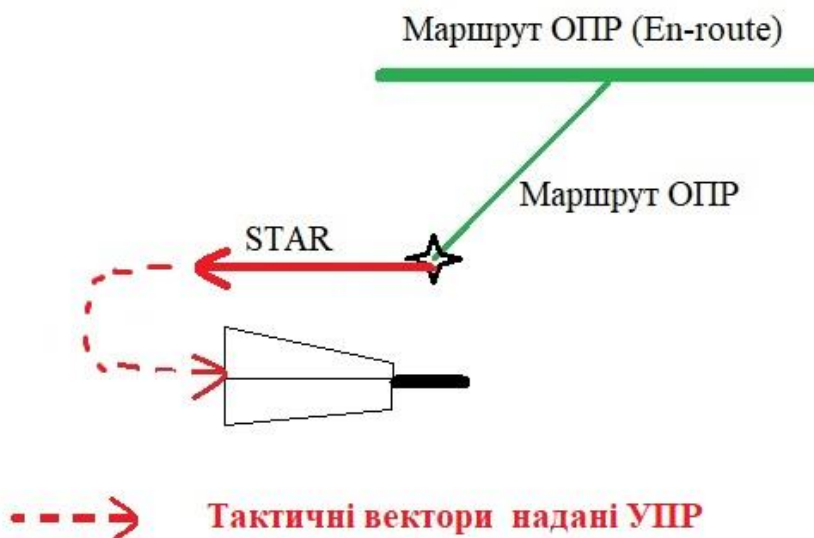


Рис. 1.5 Відкриті STAR

Відкрита процедура вимагає інструкцій з тактичного маршруту, щоб вирівняти літак з кінцевої траєкторією заходу на посадку. Це призводить до того, що в системі зональної навігації можна знижуватися тільки до кінцевої точки схеми і, коли УПР застосовує розтягнення траєкторії, то це буде впливати на здатність системи зональної навігації забезпечувати безперервний профіль зниження. В якості альтернативи процедура завершується на вході в сектор ТМА або в точці об'єднання двох потоків. Перебуваючи далі від злітно-посадкової смуги, УПР має більше свободи для векторування повітряного судна. Це може бути корисним тоді, коли конфігурація злітно-посадкової смуги часто змінюється. Поінформованість про ситуацію більш важлива для УПР. У цих умовах важко забезпечити профіль безперервного зниження, оскільки пілоти не зовсім точно знають очікувану траєкторію.

## **Тромбони**

Принцип відкритих STAR на 2-му етапі (downwind) можна трансформувати в більш жорсткій процедурі, опублікувавши downwind leg (політ від 2-го до 3-го етапу) як STAR і розширивши його. Ділянка кінцевого етапу заходу на посадку також подовжується з точками шляху через фіксовані інтервали. Це дозволяє УПР визначати послідовність руху повітряних суден, переводячи їх з 2-го етапу на кінцевий етап, використовуючи дозвіл на прямий маршрут (DCT) до бажаної шляхової точки (рисунок 1.6).

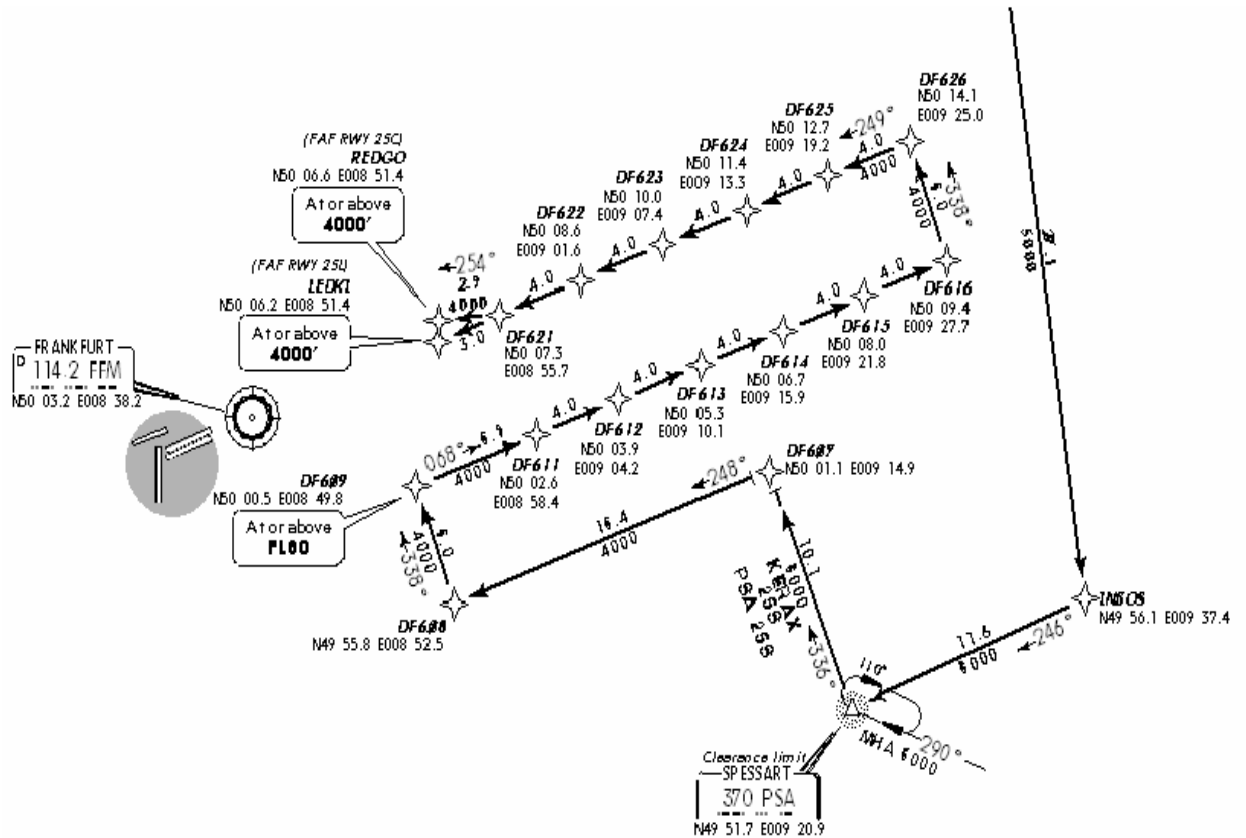


Рис.1.6 Приклад тромбону

Принцип використання дозволів DCT для скорочення опублікованої схеми може бути розширений за рахунок додавання ще однієї ділянки, на ділянці 2 і 3 розворотом (downwind leg). Форма цієї процедури тепер нагадує тромбон. Кожна точка процедури може використовуватися в дозволі DCT для досягнення бажаної послідовності вхідного потоку.

Ці процедури надають УПР чітку картину потоку, таким чином досягаючи високої пропускної здатності в секторах ТМА. Тривалість процедури може мати недоліки з точки зору ефективності польоту.

## 1.2. Вільні маршрути

Повітряний простір з вільним маршрутом (FRA) - це певний повітряний простір, в якому користувачі можуть вільно планувати маршрут між певними

точкою входу і виходу. Залежно від доступності повітряного простору маршрут може бути спланований безпосередньо від одного до іншого або через проміжні (опубліковані або неопубліковані) шляхові точки без прив'язки до мережі маршрутів ОПР. У цьому повітряному просторі польоти залишаються під контролем управління повітряним рухом.

Повітряний простір з вільним маршрутом (FRA) - це концепція надання обслуговування повітряного руху, при якій експлуатант може вибирати свій маршрут з урахуванням лише декількох обмежень (наприклад, фіксованих точок входу і виходу і необхідності уникати небезпечних зон, TRA або TSA) на відміну від ситуації, коли слід використовувати стандартні повітряні маршрути. У більшості випадків буде обрана пряма лінія між точкою входу і точкою виходу. Якщо з якоїсь причини це не підходить (наприклад, необхідно уникати небезпечної зони), можна вказати додаткові точки повороту. Це можуть бути навігаційні засоби, опубліковані навігаційні точки або точки з заданими координатами. На малюнку 1.7 представлений огляд основних правил FRA:

У показаному прикладі FIR, INTRO і ENTER є точками входу, ALTAV і EXITO є точками виходу, SNA - це VOR, а REKRA - це точка RNAV. При впровадженні FRA зелені маршрути будуть прийняті, а червоні маршрути будуть відхилені системою обробки плану польоту УПП. Причини відмови включають перетин небезпечної зони (INTRO-ALTAV) і запитаний маршрут, що не залишається в межах FRA (ENTER-ALTAV). Затверджені маршрути можуть бути прямими від входу до точки виходу (наприклад, ENTER-EXITO) або з проміжними точками (навігаційні засоби (SNA), опубліковані точки (REKRA) або випадково вибрані точки (42 ° 39'26 "N, 23 ° 22 ' 42 "с.д.)).

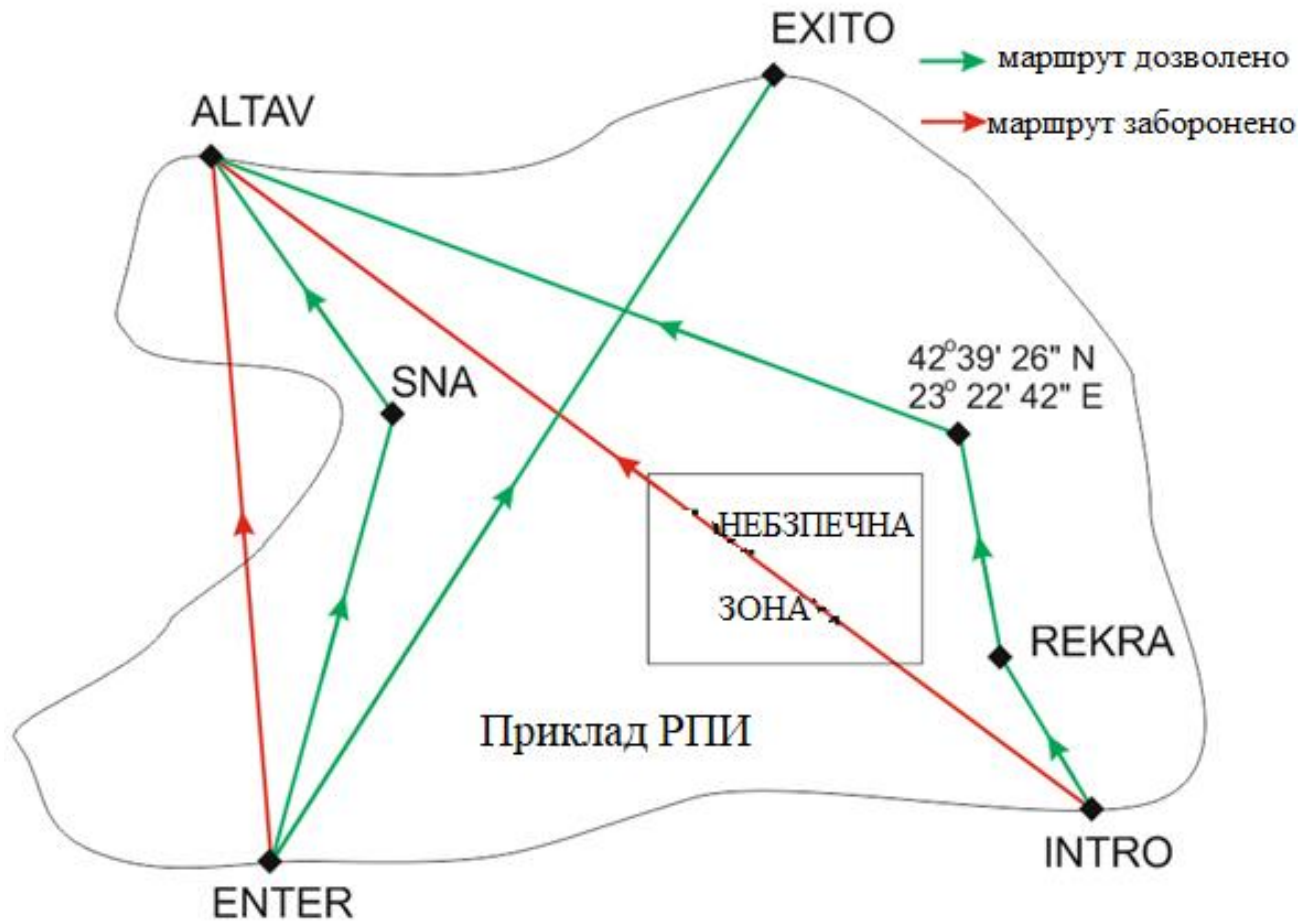


Рис. 1.7 – Зона вільних маршрутів

Цілі впровадження повітряного простору вільного маршруту:

- збільшити пропускну здатність повітряного простору.
- підвищити гнучкість.
- фінансові та експлуатаційні вигоди для користувачів повітряного простору.
- оптимізувати використання існуючих і планованих бортових систем.

FRA є невід'ємною частиною загальної організації повітряного простору, взаємодія з прилеглим повітряним простором через мережу фіксованих маршрутів і процедур, що враховують відсутність структури маршруту.

Зарезервовані структури повітряного простору необхідно зберегти, і, оскільки всі користувачі повітряного простору матимуть рівний доступ до FRA,

потрібно удосконалити концепцію FUA (гнучке використання повітряного простору) і цивільно-військову координацію в областях визначення пропускної здатності сектора, координаційні процедури, надання послуг і обмін даними.

Прогнозується, що FRA буде охоплювати, принаймні, горизонтальну протяжність РПІ восьми європейських держав і по вертикалі від базового рівня, який ще не визначений, до самого високого робочого рівня контрольованого повітряного простору. FRA призначений для включення повітряного простору, в якому ОПР делеговано з сусідніх держав. Використання цього повітряного простору в якості FRA і подальше делегування обслуговування повітряного руху буде залежати від домовленості та інституційних домовленостей з сусідніми державами.

Проектування сектора FRA повинно реагувати на цю зміну і, можливо, повинна бути більш гнучкою, оскільки попит на авіаційний рух змінюється.

Сектори FRA повинні бути:

- необмежені - FIR/UIR або державними кордонами. Прикордонна секторизація буде залежати від інституційних механізмів;

- можливість переналаштування для задоволення попиту. Структурована методологія, при якій сектори беруться з бібліотеки структур, уже відомих внутрішнім і зовнішнім системам, імовірна в областях, де є значні коливання в орієнтації трафіка. Про зміни у визначенні сектора необхідно буде повідомляти сусідні підрозділи та CFMU;

- можливість роботи в змішаному режимі (Route Network і FRA) при необхідності. Очікується, що в деяких областях FRA будуть використовуватися операції в змішаному режимі.

Критерії проектування сектора повинні як мінімум враховувати:

- основні транспортні потоки і орієнтація;
- мінімізація коротких транзитів по секторам;
- мінімізація повторного входу в сектор і центр;

- позиції відокремленого повітряного простору;
- узгодженість з сусідніми секторами фіксованого маршруту і зв'язані маршрути з ідентифікаторами SID і STAR.

Стандартний виліт за приладами – визначений маршрут вильоту за ППП, що сполучає аеродром або конкретну ЗПС аеродрому з відповідним пунктом на маршруті ОПР, з якого починається фаза польоту по маршруту;

Стандартне прибуття за приладами – визначений маршрут прибуття за ППП, що сполучає відповідний пункт на маршруті ОПР з пунктом, від якого може початись опублікована процедура заходження на посадку за приладами.

### ***Вимоги до стандартних маршрутів вильоту та прибуття***

Стандартні маршрути вильоту та прибуття за приладами мають:

- відділяти повітряний рух, що спрямовується уздовж різних маршрутів, від повітряного руху в зонах очікування;
- забезпечувати відповідний запас висоти над місцевістю;
- бути сумісними з установленими процедурами у разі втрати радіозв'язку;
- враховувати процедури зменшення шумів;
- враховувати процедури зменшення шумів;
- забезпечувати найкоротші треки (по можливості);
- забезпечувати, по можливості, безперервне набирання або зниження до найвигідніших рівнів польоту за мінімальних обмежень;
- бути сумісними з ЛТХ та навігаційними можливостями ПС.

Маршрути повинні мінімізувати радіозв'язок «земля – повітря» і зменшувати завантаженість диспетчера УПР та екіпажу ПС.

Стандартні маршрути вильоту та прибуття за приладами, як правило, мають повністю перебувати в контрольованому повітряному просторі. SID і STAR, які передбачають політ з використанням наземних радіотехнічних засобів (РТЗ), повинні:

- пов'язуватися тільки з опублікованими засобами (кількість засобів має бути такою, щоб підтримувати мінімум, потрібний для навігації уздовж

маршруту відповідно до процедури);

– передбачати навігацію з використанням не більше як два засоби одночасно.

Маршрути, як правило, встановлюють для використання ПС, що виконують політ за ППП. Окремі маршрути можуть встановлюватися для контрольованих польотів, які виконуються відповідно до ПВП.

Кількість установлених на аеродромі стандартних маршрутів вильоту та прибуття за приладами має бути мінімальною.

Стандартний маршрут вильоту за приладами встановлюється для кожної ЗПС, з якої виконуються польоти за ППП, і сполучає аеродром або ЗПС із визначеною точкою, як правило, на встановленому маршруті ОПР, з якої починається сегмент польоту за маршрутом.

Стандартний маршрут прибуття за приладами повинен дозволяти перехід від сегмента польоту за маршрутом до сегмента заходження на посадку поєднанням визначеної точки на встановленому маршруті ОПР із контрольною точкою початкового етапу заходження на посадку (Initial Approach Fix – IAF) біля аеродрому, з якої можна:

- почати опубліковану процедуру заходження на посадку за приладами;
- виконати заключну частину опублікованої процедури заходження на посадку;
- почати візуальне заходження на посадку на необладнану РТЗ ЗПС;
- увійти в аеродромне коло польотів.

Стандартний маршрут прибуття за приладами встановлюється та, щоб ПК міг виконувати політ уздовж маршруту за мінімального наведення. STAR може обслуговувати один або декілька аеропортів у межах ТМА.

Довжина SID і STAR не повинна перевищувати радіус дії РТЗ, які забезпечують навігаційне наведення.

Після отримання дозволу на політ за SID і STAR відповідно до процедури заходження на посадку за приладами, якщо ПС обладнаний FMS екіпаж активує задані маршрути і надалі політ виконується в автоматизованому режимі. Дозвіл



на виконання стандартної процедури вильоту або прибуття є вказівкою на виконання усіх умов, наведених в описі цього маршруту, крім особливих вказівок диспетчера. Якщо екіпаж не може виконати встановлену процедуру, він повинен повідомити про це орган ОПП.

Кожен SID і кожен STAR повинні встановлюватися та публікуватися як цілісний маршрут. Будь-які відхилення постійного характеру публікуються як окремий маршрут.

В AIP України на картах SID і STAR пеленги та курси вказуються відносно магнітного меридіана, абсолютні та відносні висоти, а також перевищення вимірюються в метрах, відстані – у кілометрах.

Стандартний маршрут вильоту та прибуття за приладами встановлюється так, щоб ПС міг виконувати політ уздовж маршруту без наведення.

У районах аеродромів з високою інтенсивністю польотів, можуть застосовуватися процедури для наведення ПС на точки або від точок, опублікованих на SID і STAR та польотів у разі втрати радіозв'язку і встановлення відповідних процедур, які забезпечують безпеку повітряного руху у випадку відмови системи спостереження.

Процедури виконання польотів розробляються для усіх категорій ПС. У разі потреби такі процедури можуть розроблятися окремо для різних категорій ПС.

Маршрути повинні визначатися основними точками у яких:

- змінюється встановлений трек польоту;
- маршрут вильоту закінчується або маршрут прибуття починається;
- будь-який рівень польоту або обмеження швидкості застосовується або не застосовується.

Там, де маршрути вимагають прямувати встановленими треками, має забезпечуватися відповідне навігаційне наведення.

Основні точки SID і STAR потребують виконання польоту з орієнтацією на наземні РТЗ. Зокрема, точки, у яких визначається зміна треку, слід, по можливості, встановлювати в місцях, позначених РТЗ, бажано засобами ДВЧ. У

випадках, коли це неможливо, основні точки потрібно встановлювати в точках, визначених, VOR/DME, або VOR/DME та радіалом VOR, або перетином радіалів VOR.

Окремі привідні радіостанції потрібно використовувати мінімально та не застосовувати маркери.

Ураховуючи завантаженість екіпажу відразу після зльоту, пер-шу основну точку *SID*, що потребує виконання польоту з орієнтацією на наземні РТЗ, потрібно, по можливості, встановлювати на відстані не меншій ніж 3.7 км (2 м.м) від закінчення ЗПС.

Обмеження по висоті, якщо такі є, належить виражати мінімальними та/або максимальними рівнями польоту, на яких мають перетинатися основні точки. Будь-які обмеження швидкості вносяться до процедур з урахуванням операційних можливостей ПС та на підставі консультацій з експлуатантами ПС.

Для надання диспетчерського обслуговування підходу за ПС, що прибувають, застосовуються такі процедури:

- політ за встановленим STAR та виконання процедури заходження на посадку за приладами;
- наведення за системами спостереження ОПР на засіб кінцевого сегмента заходження на посадку, показники якого інтерпретуються екіпажем ПС;
- візуальне заходження на посадку;
- наведення за системами спостереження ОПР для візуального заходження на посадку.

Одними з головних та найефективніших маршрутів прибуття є стандартні маршрути прибуття за приладами. Вони мають:

- відділяти повітряний рух, що спрямовується уздовж різних маршрутів, від повітряного руху в зонах очікування;
- забезпечувати відповідний запас висоти над місцевістю;
- бути сумісними з установленими процедурами у разі втрати радіозв'язку;
- враховувати процедури зменшення шумів;

- забезпечувати найкоротші треки (по можливості);
- забезпечувати, по можливості, безперервне набирання або зниження до найвигідніших рівнів польоту за мінімальних обмежень;
- бути сумісними з ЛТХ та навігаційними можливостями ПС.

### **Вплив впровадження FRA на продуктивність людини**

Загальний вплив FRA на диспетчерів буде залежати від рівня щільності потоку, з яким він або вона працює. У районах з низькою щільністю вплив може бути невеликим, тоді як в районах з високою щільністю вплив може бути значним. Видалення маршрутної мережі як основного засобу засвоєння загальної картини, безсумнівно, вплине на методи роботи диспетчерів. Сьогодні у диспетчера є базова модель мережі маршрутів, яка допомагає керувати потоком. В рамках FRA такої мережі не буде.

Потенційні конфлікти замість того, щоб виникати в відомих точках, будуть широко розосереджені серед безлічі випадкових точок.

Очікується, що вихід з нестандартних ситуацій не викличе додаткових труднощів для диспетчерів.

Завдання моніторингу і виявлення конфліктів можуть збільшитися, а фактична кількість конфліктів має зменшитися. Диспетчеру нелегко розпізнати, чи відхиляється рейс від запланованого маршруту, і йому доведеться постійно «дивитися наперед» для кожного окремого польоту, щоб знайти потенційний конфлікт. Потенційні конфлікти повинні своєчасно відображатися диспетчеру, щоб забезпечити їх якнайшвидше вирішення.

Завдання **Диспетчера планувальника** навряд чи зміниться. Однак спосіб виконання завдання цілком може змінитися. Відхід від мережі маршрутів видалить структуру, навколо якої диспетчер управляє входом і виходом потоку для вирішення потенційних конфліктів в середньостроковій перспективі. Як це буде зроблено, буде предметом вивчення і оцінки під час розробки.

Завдання **виконавчого диспетчера** в вирішенні короткострокових проблем навряд чи зміниться. Однак спосіб виконання завдання цілком може змінитися. Збільшена пропускна здатність повітряного простору повинна бути узгоджена з розширеними можливостями диспетчера, якщо необхідно ефективно справлятися з додатковою пропускною спроможністю повітряних суден. У менш завантажених районах восьми держав це може бути не такою вже великою проблемою, але в районах з погнаним рухом можна очікувати, що вона буде значною.

Безпосередні наслідки:

- здатність диспетчерів адаптуватися до нових методів роботи.
- надання обладнання диспетчера там, де це необхідно.
- потреби в навчанні перед впровадженням і для нових диспетчерів.

**Екіпажу**, можливо, доведеться більше використовувати координати широти і довготи при оновленні навігаційних змін в системі управління польотом.

Без структури маршруту як еталон цивільним і військовим екіпажам може бути непросто мати ситуаційну обізнаність щодо свого власного маршруту або маршрутів іншого руху.

У **диспетчерів ППО** будуть ті ж проблеми з ситуаційної обізнаністю, що у диспетчерів повітряного руху. Без фіксованої структури маршруту в якості орієнтира їм, можливо, буде потрібно отримувати і відображати точні 4D траєкторії іншого обраного руху.

В відокремленому повітряному просторі вони можуть отримувати запити на транзит, які не дотримуються заздалегідь визначеними маршрутами.

### **1.3. 4D траєкторія**

Глобальна авіатранспортна система - невід'ємна частина світової економіки. Стійке зростання авіап перевезень необхідний для підтримки економічного зростання і сам по собі економічного добробуту. Щоб задовольнити цей

зростаючий попит на трафік, систему доведеться радикально змінити в порівнянні з нинішньою.

У наступні п'ятнадцять років глобальна система повітряного транспорту перетвориться більше, ніж за останні шістьдесят років. Також передбачається, що цей процес трансформації буде здійснюватися під керівництвом США і Європи, оскільки програми NextGen і SESAR насправді є найбільш значними ініціативами, які розробляються для підтримки нової ери авіап перевезень. Зокрема, обидві програми вирішують одну і ту ж проблему, оскільки поточні процедури і технології управління повітряним рухом не зможуть задовольнити збільшений попит на рух при збереженні тих же рівнів безпеки.

Вирішення цієї проблеми потребує докорінної зміни всієї системи організації повітряного руху (ОрПР). Більш детально, фундаментальні зміни в парадигмі полягатиме в переході від УПР, заснованого на диспетчерських дозволах, до операцій УПР на основі траєкторії. Ключовим елементом операцій, заснованих на траєкторії (Trajectory Based Operations), фактично є угода між авіакомпанією та системою ОрВД про траєкторії, по якій буде слідувати повітряне судно.

Обговорена траєкторія задовольнить багато авіакомпаній, з особливою увагою до зниження витрати палива. Однак ця траєкторія також буде включати додаткові обмеження, які поліпшать її передбачуваність, полегшуючи тим самим роботу диспетчерів повітряного руху. Типовим прикладом таких обмежень є виконання заданого цільового часу прибуття (ТТА) у важливих точках маршруту.

В цьому випадку для позначення цього типу операцій зазвичай використовується термін «4D ТВО». Як тільки повітряному судну дозволено летіти за узгодженою траєкторії, функція УПР полягатиме тільки в управлінні траєкторією. Зокрема, УПР надаватимуть максимально можливу допомогу

повітряному судну в виконанні узгодженої траєкторії, зберігаючи при цьому ешелонування з іншим повітряним рухом.

Чотиривимірна траєкторія літака складається з трьох просторових вимірів та час як четвертий вимір. Це означає, що будь-яка затримка насправді є спотворенням траєкторії, так само як і зміна рівня або зміна горизонтального положення. Тактичне втручання авіадиспетчерів рідко враховує вплив на траєкторію в цілому через відносно короткий час прогнозування (близько 20 хвилин або близько того).

Концепція чотиривимірної траєкторії заснована на інтеграції часу в тривимірну траєкторію літака. Він спрямований на забезпечення польоту по практично необмеженій оптимальній траєкторії якомога довше в обмін на те, що повітряне судно повинно дуже точно відповідати часу прибуття в призначену точку.

З 4D траєкторією в сучасній аеронавігаційній системі пов'язано кілька моментів:

- обмежений ефект, якщо тільки не повсюдно - коли тільки частина заданої траєкторії піддається операціям на основі траєкторії, користь від такої обмежена, оскільки оптимізована ділянка траєкторії буде, за визначенням, коротше, а зміщення на ділянках операцій, які не ґрунтуються на траєкторії, будуть коливатися непередбачуваним чином. Операції на основі траєкторії, обмежені власним функціональним блоком повітряного простору (FAB), мають менше значення, якщо траєкторія виходить за межі функціонального блоку повітряного простору (малюнок 1.8);

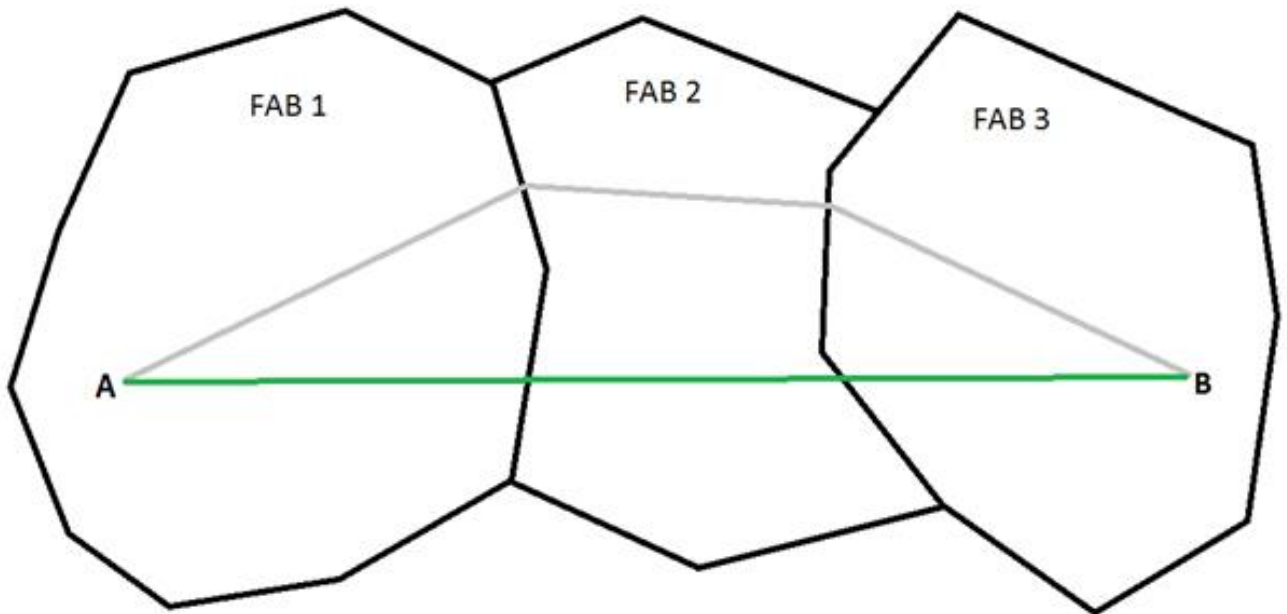


Рис. 1.8 Функціональний блок повітряного простору

Літак пролітає над трьома FAB на шляху з А в В. Траєкторія (ламана лінія) виявляється неефективною у порівнянні з практичною траєкторією (пряма лінія), хоча вона оптимальна для кожної FAB. Ситуація могла б бути ще гірше, якщо б в центрі було кілька обсягів повітряного простору, контролюваного різними державами, замість FAB 2.

Бажана чотиривимірна траєкторія експлуатанта повітряного судна може не слідувати по великому колу між точкою відправлення і точкою прибуття. Наприклад, щоб використовувати попутний вітер на маршруті, оператор може вказати маршрут, який на десятки миль довший за найкоротший маршрут.

- технологічна проблема - потрібно нове обладнання для літаків, ПАНО і аеропортів;
- зміна ставлення - диспетчерам доведеться враховувати вплив своїх дій на траєкторію в цілому, а пілотам доведеться прийняти додаткові обмеження (літак повинен досягти певних точок в певний час, а не раніше і не пізніше);
- більш складне виявлення конфліктів - в даний час структура повітряного простору така, що більшість конфліктів відбувається в певних точках (наприклад, при перетині повітряних трас). З введенням ТВО траєкторії

літаків більше не будуть слідувати стандартними повітряними маршрутами, а конфліктуючі точки не знаходитимуться в фіксованих місцях, як при польотах за вільними маршрутами. Це не повинно бути великою проблемою, якщо у диспетчерів є відповідне обладнання, оскільки очікується, що кількість конфліктів скоротиться;

- відмови устаткування - потужності сектора будуть перераховані, щоб відобразити використання ТВО. Це може легко призвести до перевантаження диспетчера в разі відмови обладнання (ситуація схожа на відмову системи спостереження в даний час).

## **Моделювання**

Моделювання проводилося протягом одного тижня за участю восьми пілотів європейських авіакомпаній і виробника літаків. Ці пілоти становили чотири екіпажі, і кожен екіпаж брав участь в моделюванні протягом одного дня. Обраний повітряний простір було частиною поточного повітряного простору Маастрихта, використовуваного в наземному моделюванні польоту за маршрутом. Він включає три завантажені високорівневі ділянки маршруту: Дельта, Рур і Мюнстер.

Польоти починалися в крейсерському режимі і включали початкове зниження (мінімум до FL260); вони тривали приблизно 40 хвилин. Дотримання траєкторії виражалось як ступінь, в якій дотримувалися тимчасові обмеження в конкретній дорожній точці. Вікно допуску було встановлено на (-2 хв; + 3 хв) за замовчуванням (RBT) і на  $\pm 30$  с для СТА. Тимчасові обмеження були встановлені для останньої шляхової точки кожного сценарію (рисунок 1.9).



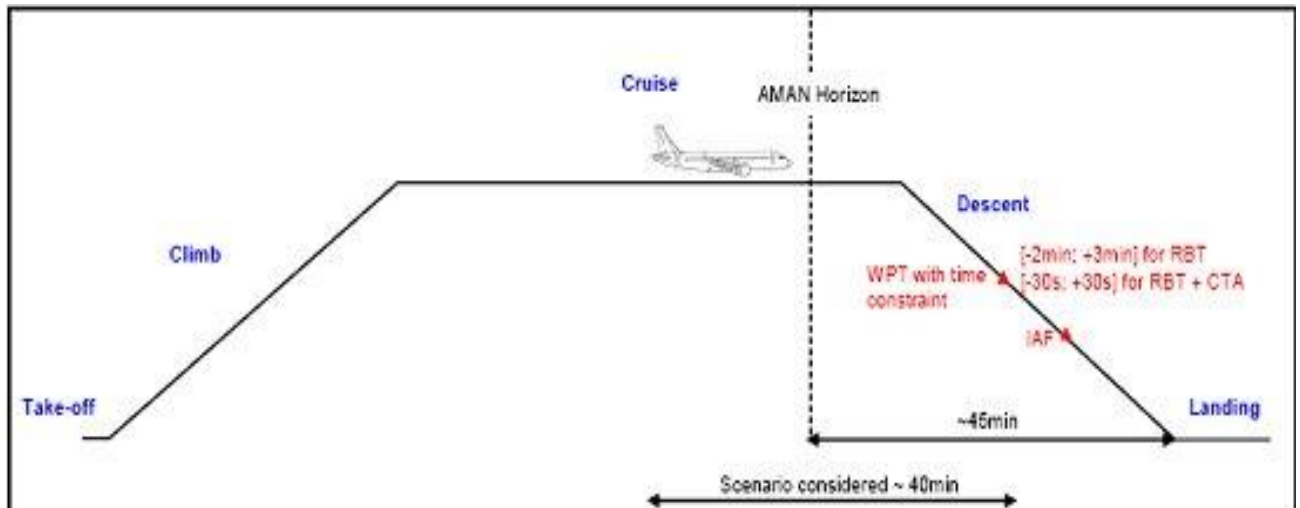


Рис. 1.9 – загальний опис сценарію

Пілоти стикалися з типовими ситуаціями відхилення літака від запланованої траєкторії; ці ситуації були отримані з попереднього наземного експерименту. Вибрані ситуації включали відхилення від RBT або СТА. Відхилення було викликано умовами входу і могло погіршитися втручанням УІР з метою ешелонування. В результаті були отримані три результату:

- Політ 1: літак входить в повітряний простір з втратою двох хвилин по відношенню до свого RBT;
- Політ 2: літак входить в повітряний простір з перевагою в одну хвилину щодо свого СТА;
- Політ 3: спочатку літак входить в повітряний простір за 30 секунд, щоб набрати швидкість щодо своєї базової ділової траєкторії. Потім (див. Мал. 1.10) видається обмеження СТА, що вимагає, щоб літак виграв ще 30 секунд.

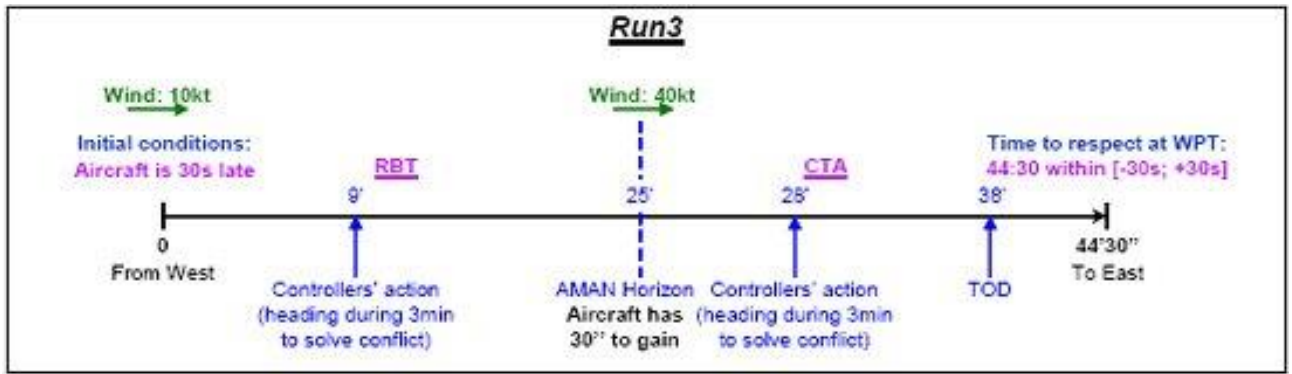


Рис. 1.10 - Опис хронології одного з циклів

У змодельованих ситуаціях пілоти виявили, що дотримання траєкторій 4D можливо в крейсерському режимі: виграш або втрата часу для дотримання часових обмежень RBT (-2 хв; +3 хв) не викликали труднощів. Було повідомлено, що більш вузьке вікно допуску СТА ( $\pm 30$  с) трохи важче досягти і потребує більш тісної координації між пілотами і диспетчерами. Пілоти запропонували, щоб вони несли відповідальність за контроль швидкості, а диспетчери повинні сприяти або пропонувати бічні зміни, якщо коригування швидкості було недостатньо.

Як і очікувалося, потрібні поліпшення поточних функцій RTA. Обчислення керованої швидкості, а також розрахунковий час прибуття слід поліпшити, щоб підвищити надійність наведення, особливо під час зниження. Крім того, був запит на додаткову підтримку (пізня / рання індикація на дисплеї навігації і інструмент «що, якщо») для спостереження та вибору відповідної дії.

Хоча управління траєкторією 4D передбачає додаткове завдання на борту, особливо для пілота, це було визнано прийнятним збільшенням робочого навантаження в крейсерському режимі. Однак в разі, якщо RTA (необхідний час прибуття) не може бути виконаний, повторне погодження потенційно може привести до збільшення робочого навантаження. Як і очікувалося, більшість пілотів погодилися, що вони вважали за краще б використовувати тільки швидкість, щоб втратити час, тоді як для виграшу часу можуть знадобитися як швидкість, так і бічні дії (рис. 1.11). Незважаючи на великі відмінності між

людьми, обмеження поточної функції RTA можуть пояснити широке використання обраного швидкісного режиму.

Що стосується ефективності, об'єктивні результати показують, що всі льотні екіпажі завжди досягали обмеження за часом RBT і СТА в межах вікна допуску (рис. 1.12).

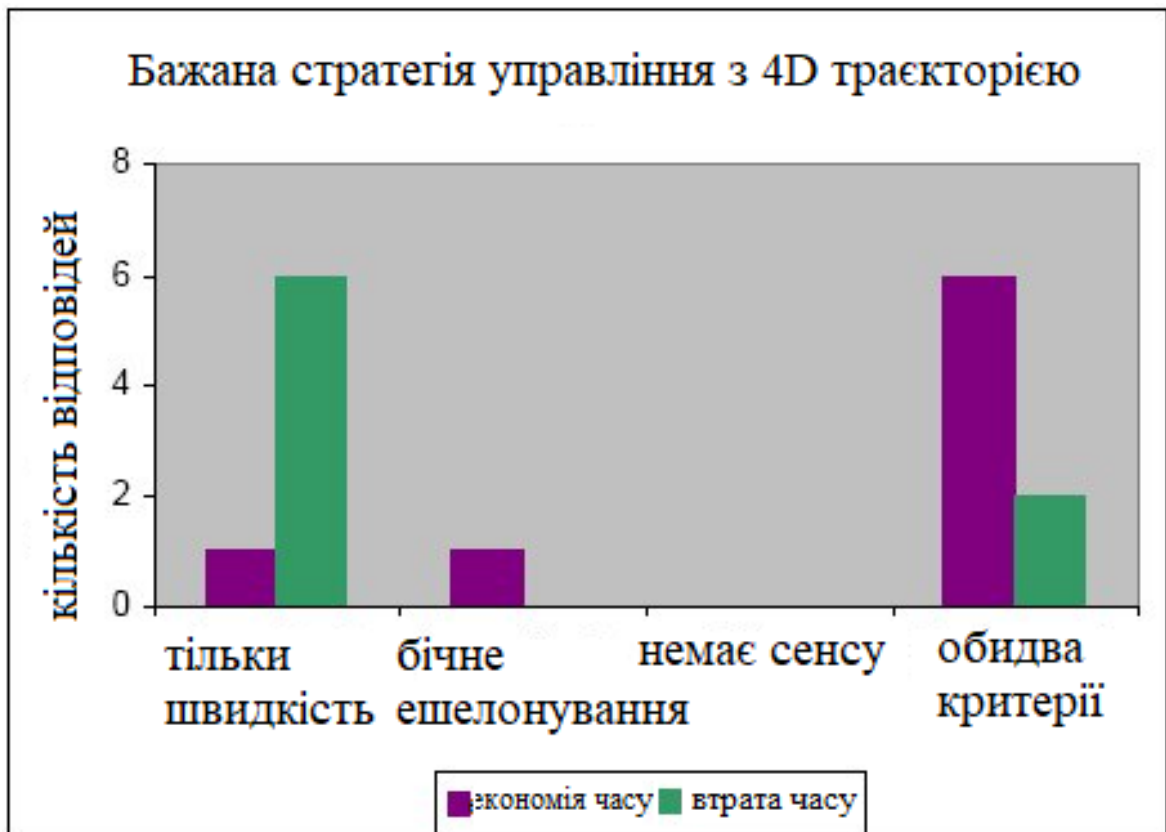


Рис. 1.11- Бажана стратегія за опитуванням пілотів

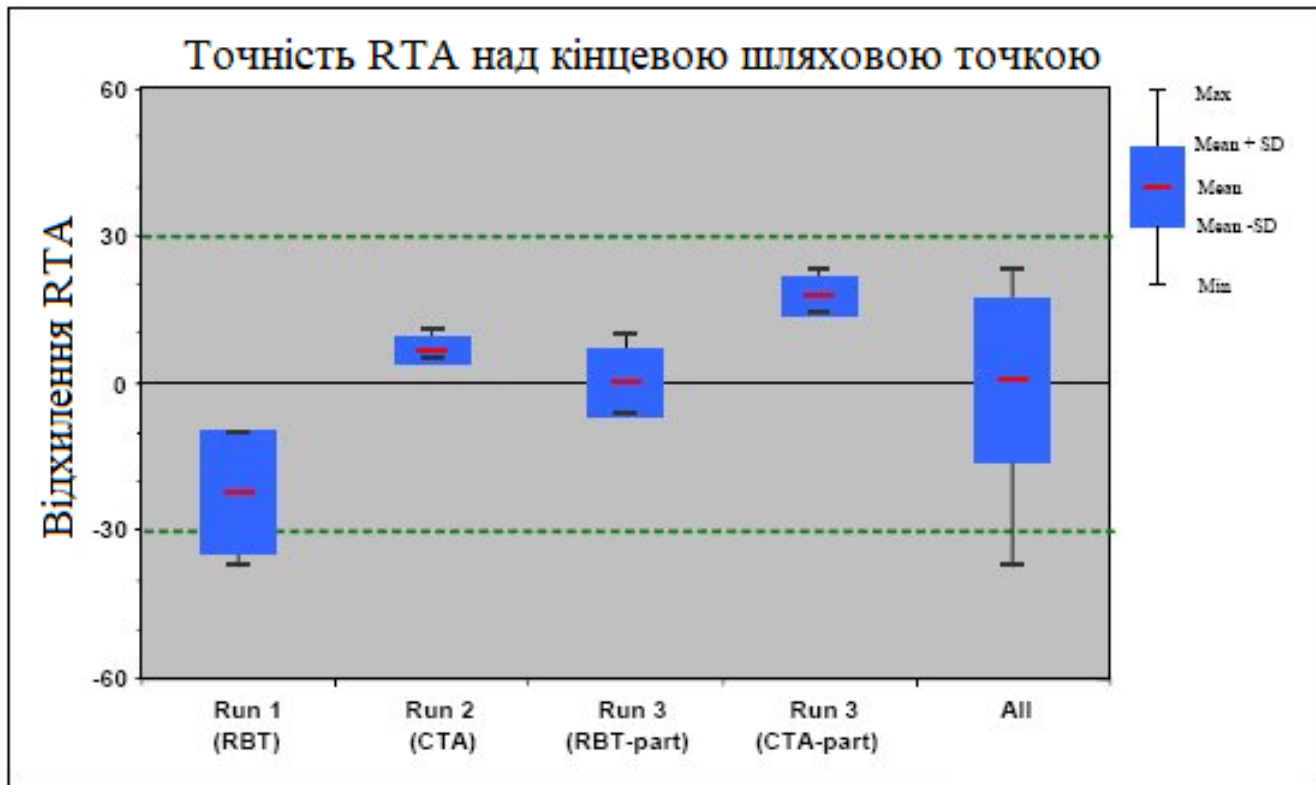


Рис. 1.12 - Точність RTA у часовій точці обмеженої точки за пробіг

Незважаючи на викликані коливання швидкості, пілоти вважали, що ефективність польоту така ж, як сьогодні. Зміни швидкості призводять до збільшення витрати палива, але їх можна було б зменшити за рахунок більш плавного управління швидкістю. Зменшення часу очікування або векторування в зоні заходу на посадку має привести до підвищення ефективності палива.

Більшість пілотів погодилися з тим, що управління 4D траєкторією може забезпечити кращу передбачуваність транспортних потоків (для управління рухом) і часу прибуття (для авіакомпаній) за умови належного планування перед зльотом. Проте, пілоти висловили деякі сумніви щодо загальної ефективності системи, оскільки несподівані події (погода, затримки посадки, забезпечення ешелонування) можуть спровокувати перегляд умов RBT (Reference business trajectory).

## Висновок до розділу 1

Підводячи підсумки першого розділу, можна сказати, що існує достатня кількість методів упорядкування побудови вхідного потоку. Найпростішим методом, який не вимагає від пілота дотримання спеціальної процедури прибуття, є векторування, оскільки авіадиспетчер дає всі інструкції, включаючи напрямок і швидкість, під час цих методів.

Від пілота вимагається лише виконувати вказівки авіадиспетчера. У разі інтенсивного руху реалізація цього методу є найбільш складною, кожному пілоту необхідно дати багато інструкцій, тому робоче навантаження на УПР високе, а також висока ймовірність потенційного конфлікту. Таким чином, метод векторування підходить для повітряного простору з невеликою інтенсивністю руху.

Існують також більш просунуті методи побудови послідовності. Вони допомагають оптимізувати і упорядкувати рух прибуття. Такі методи, як STAR і тромбони, є більш складними і вимагають від пілотів дотримання особливих схем процедури прибуття. Диспетчер УПР спостерігає і контролює виконання цих процедур і дає свої рекомендації, якщо це необхідно. Основна проблема таких методів полягає в тому, що пілот не може повернутися до цих STAR, якщо авіадиспетчер дав свою вказівку. У районах з високою щільністю руху, де диспетчери УПР повинні давати свої інструкції для забезпечення необхідних мінімумів ешелонування, такі ситуації з векторуванням повітряних суден трапляються дуже часто. Як ми бачимо, такі методи, як STAR і тромбони, не ідеальні для сектора з інтенсивним рухом, і потреба в нових методах все ще існує.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОД ТОЧКИ ЗЛИТТЯ

### 2.1 Вивчення точкового поєднання як нового перспективного методу

#### Як це працює

Point Merge був розроблений як інноваційний метод, спрямований на поліпшення і стандартизацію операцій в районі аеродрому з використанням точної зональної навігації (P-RNAV) і заходу на посадку з безперервним зниженням (CDA) в умовах інтенсивного руху. Оскільки він спирається на існуючі технології, то має потенціал для короткострокового впровадження в різних аеропортах по всьому світу.

Цей метод заснований на певній структурі маршруту (позначається системою point merge), яка складається з точки (point merge) із заздалегідь визначеними ділянками (етапами послідовності), які розташовані на однаковій відстані від цієї точки для подовження/скорочення шляху.

У верхньому повітряному просторі утворюються дві концентричні дуги; вони розділені по горизонталі відповідними мінімумами ешелонування (зазвичай це 5 м.м. в зонах аеродрому) і вертикально розділені на 1000 футів. Ці дуги визначаються як маршрути RNAV і називаються етапами послідовності. Повітряні судна будуть літати на цих етапах з економічною швидкістю (близько 260 вузлів).

Метод точкового поєднання складається з двох кроків:

- Створення інтервалу за допомогою інструкції «прямо до» точки злиття, котра видається для кожного літака у відповідний час на етапі.
- Дотримання інтервалу, контролюючи швидкість, після прольоту етапу.

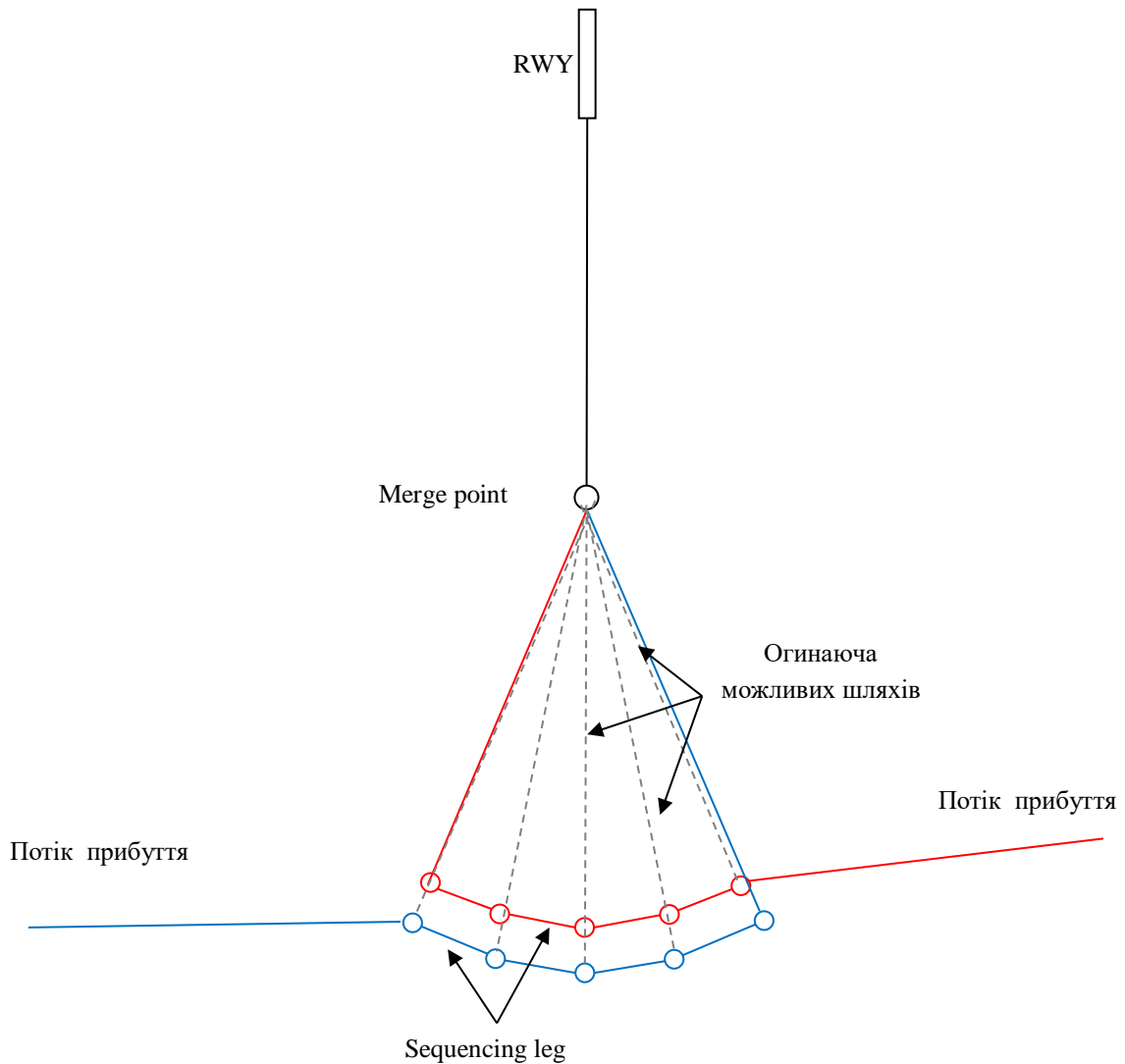
Зниження може бути дано при виході з ділянки (leg) (і в стороні від руху на іншій ділянці). При створенні декількох етапів послідовності відстань від точки поєднання повинно бути приблизно однаковим. Однак слід уникати точного накладання точок. На цьому етапі, найближчого до point merge, слід набрати найбільшу висоту. На етапі, який знаходиться трохи далі, слід взяти меншу висоту. Це забезпечує вертикальне ешелонування між повітряним судном, що

залишає зовнішньою ділянкою (outer leg) для повороту до точкового поєднання, і повітряним судном, що пролітає над внутрішньою ділянкою (inner leg).

Слід створити додаткові лінії на радіолокатору, щоб допомогти диспетчеру визначити, чи встановили два літака, необхідне ешелонування для послідовності. Коли одне повітряне судно перетинає першу лінію на шляху до точки поєднання, встановлюється ешелонування з усіма іншими повітряними судами, які все ще знаходяться на етапі (ах) послідовності. Це означає, що наступний літак можна повернути «прямо до» точки поєднання. Частина процедури - зафіксувати швидкість літака. Таким чином подовжене ешелонування зберігається навіть після точки поєднання. Процес спостереження за літаками, коли вони перетинають ізолюючі лінії, і поворот наступного літака до точки поєднання постійно повторюється. Таким чином можна безпечно і ефективно керувати трафіком високої щільності.

Після цієї точки поєднання повітряні судна встановлюються на загальний маршрут до виходу з системи поєднання точок. На цьому етапі розділення підтримується за рахунок регулювання швидкості. Приклад однієї з систем точкових злиттів зображений на малюнку 2.1.

Спуск від ділянки послідовності до точки поєднання повинен бути безперервним, так як відстань, яке залишилося пройти, відомо FMS. Властивість рівновіддаленості - це ключ для контролю диспетчера, що дозволяє легко і інтуїтивно оцінити відстань між повітряним судном на ділянці і попереднім судном (на курсі до точки поєднання). Слід зазначити, що подовження траєкторії виконується без втручання диспетчера, дозволяючи повітряному судну летіти уздовж етапу на необхідну відстань (опублікована процедура, закодована в FMS, включає повну довжину ділянки послідовності).



NOT TO SCALE

Рис 2.1. – Проектування системи точкового поєднання з двома потоками, що прибувають

### Модель потоку прибуття /відльоту

Основною метою системи точкового поєднання є побудова безпечної послідовності прибуття літаків у термінальній зоні, збільшення пропускної здатності та обмеження шуму та парникових газів. У той же час це підвищує безпеку в гарячих точках, де траєкторія польоту вхідного та вихідного трафіку



перетинається. Наведемо приклад міжнародного аеропорту Осло, де система point merge була випробувана в 2011 році.

При використанні звичайних схем підходів (SID і STAR) в цьому аеропорту перетин траєкторій польоту зазвичай відбувається на висоті 9000 - 10000 футів.

На таких перехрестях повітряне судно змушене вирівнятися, щоб забезпечити достатнє вертикальне ешелонування. Це передбачає більшу витрату пального, ніж необхідно. Для уникнення сегменту рівня польоту зменшується і вплив шуму, і викиди. У новій системі точкового поєднання точка перетину вхідного та вихідного трафіку віддаляється. Траєкторія польоту літаків, що вилітають, зараз проходить вище, значно вище тих, що вилітають з літаків (зазвичай FL 120 для вхідного руху та FL 160 для вихідного руху). Це покращує безпеку та усуває необхідність вирівнювання.

Якщо ми говоримо про модель УПР в системі точкового поєднання, вона також має зміни. Основні відмінності стосуються практики того, як повітряний простір, обмежений IAF, використовується для руху, що прибуває. Векторування повітряного простору базувалася на стандартних маршрутах прибуття (STAR), що відповідали номінальним маршрутам від кожного IAF до злітно-посадкової смуги, тоді як повітряний простір Point Merge був в рамках STAR, що відповідає найдовшим маршрутам від кожного IAF до злітно-посадкової смуги.

Повітряний простір ТМА має дві виконавчі позиції диспетчера прибуття: диспетчер заходу та кінцевий. Диспетчери планування не беруться до уваги. При векторуванні диспетчера підходу відповідає за ініціювання інтеграції послідовностей шляхом розтягування контуру за допомогою курсових інструкцій. Кінцевий диспетчер відповідає за завершення інтеграції послідовностей з використанням інструкцій швидкості та поперечного точного налаштування, якщо це необхідно, за допомогою інструкцій. Інструкції щодо зниження можуть бути видані будь-яким диспетчером залежно від поздовжнього прогресу. У Point Merge диспетчер підходу відповідає за ініціювання інтеграції послідовностей шляхом розтягування контурів, використовуючи інструкції

прямого точкового поєднання. Кінцевий диспетчер відповідає за управління зниженням та завершення інтеграції послідовностей за допомогою вказівок швидкості та поперечного точного налаштування, якщо необхідно, за допомогою курсових інструкцій.

### **Передбачувані та реальні вигоди від впровадження системи**

Система злиття точок:

- Інноваційний – point merge є новою та оригінальною процедурою. Система дуже інтуїтивно зрозуміла для АТСО. Він забезпечує зв'язок між секторами маршруту та диспетчером підходу (ТМА). Диспетчери зможуть використовувати цю нову процедуру ефективно, доцільно та безпечно.

- Клієнтоорієнтованість - ця система надає літакам можливість залишатися в режимі бічної навігації та надавати підтримку для впровадження нових послуг АТМ, 4D траєкторії або управлінням чергою.

- Збільшення пропускної спроможності - метод поєднання точок збільшує пропускну здатність АТС, одночасно зменшуючи кількість радіоконтактів та підвищуючи безпеку.

- Зниження витрати палива - оскільки система підтримує постійні операції зниження, літаки економлять паливо та мінімізують викиди газу в атмосферу.

## **2.2. Безперервні операції зниження (CDO) як частина процедури точкового поєднання**

### **Значення CDO**

Однією з найбільших проблем авіаційної промисловості є її вплив на нашу екологію. Щороку мільйони тонн CO<sub>2</sub> викидаються з двигунів сучасних літаків. Інше питання, яке хвилює людей, особливо тих, хто живе поблизу аеропортів, є шум, який створюється авіаційними двигунами. Майже всі аеропорти,

розташовані в межах міст, повинні дотримуватися обмежень щодо шуму. що означає зменшення щоденних операцій, і всі учасники авіаційної галузі страждають від цих обмежень.

Вирішенням цих проблем може бути концепція Continue descent Arrival (CDA). Ця концепція вже впроваджена та апробована в деяких американських та європейських аеропортах (Міжнародний аеропорт Лос-Анджелеса, Лондонський аеропорт Хітроу). Перші випробування в реальних умовах показали, що безперервне зниження з 6000 футів може зменшити шум між 1-5 децибелами та заощадити до 250 кілограмів палива. У той же час безперервне зниження з 20 000 футів забезпечує ще більшу економію до однієї тонни палива. Збільшення операцій безперервного зниження у Великобританії на 5% призвело до 30 000 індивідуальних тихіших польотів, заощадило близько 10 000 тонн CO<sub>2</sub> та запропонувало економію палива на суму 2 000 000 фунтів.

Ось чому CDA є пріоритетною вимогою SESAR Master, і Євроконтроль планує розробити цю технологію посадки в 100 аеропортах по всій зоні ECAC протягом найближчих років.

### **Як працює CDA?**

Щоб пояснити, як працює CDA, нам потрібно зрозуміти, як літає літак і які сили на нього діють. Є чотири основні сили, які діють на літак під час горизонтального польоту (рис. 2.2). Це: тяга (T), опір (D), підйом (L), вага (W).

Другий варіант, який ми розглянемо, - це зниження літака. На цьому етапі польоту ми бачимо додаткову результуючу силу (рис. 2.3).

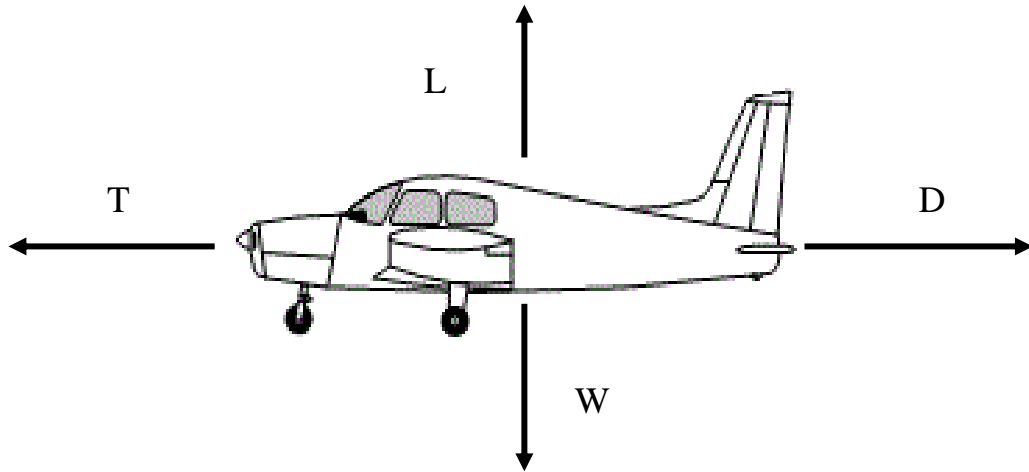


Рис. 2.2 - Сили, що діють на літаки під час горизонтального польоту

Тепер перетворимо його в математичну форму, щоб побачити різницю між цими етапами польоту в цифровому вигляді.

Математичними рівняннями, що описують аеродинамічні характеристики під час спуску, є рівняння (2.2.1), (2.2.2) та (2.2.3).

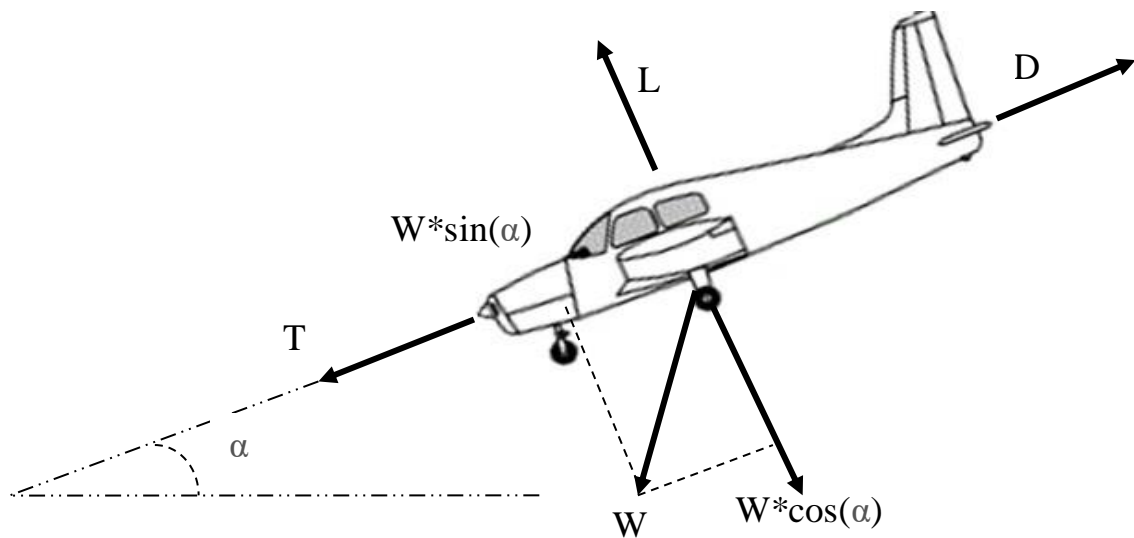


Рис.2.3 - Сили, що діють на літаки під час зниження

$$W \cdot \sin \alpha + T = D \quad (2.2.1)$$

$$W \cdot \cos \alpha = L \quad (2.2.2)$$

$$K = L/D \quad (2.2.3)$$

Де (Т) - тяга, (D) - опір, (L) - підйом, (W) - вага, (K) - коефіцієнт аеродинамічних характеристик, який зазвичай дорівнює 6 або 7.

Перший випадок, який ми розглянемо, використовуючи ці рівняння, - це простий горизонтальний політ (0о) літака, вага якого становить 100 тонн, а коефіцієнт аеродинамічної характеристики is 6.

$$L = W \cdot \cos \alpha = 100 \cdot \cos 0^\circ = 100(t) \quad (2.2.4)$$

$$D = \frac{L}{K} = \frac{100}{6} = 16.66(t) \quad (2.2.5)$$

$$T = D - W \cdot \sin \alpha = 16.66 - 0 = 16,66(t) \quad (2.2.6)$$

На цьому етапі польоту пілота доводиться підтримувати (в деяких випадках навіть збільшувати) тягу, таку ж, як і опору, щоб не впасти під дією сили тяжіння. Витрата палива велика, особливо під час заходу на посадку та посадки, коли літак літає на малих висотах із звільненими закрилки та шасі.

Розглянемо другий випадок, коли той самий літак з однаковим коефіцієнтом аеродинамічної характеристики опускається під кутом 3 градуси.

$$L = W \cdot \cos \alpha = 100 \cdot \cos 3^\circ = 99.8(t) \quad (2.2.7)$$

$$D = \frac{L}{K} = \frac{99.8}{6} = 16.64(t) \quad (2.2.8)$$

$$T = D - W \cdot \sin \alpha = 16.64 - 5.2 = 11.44(t) \quad (2.2.9)$$

Тепер бачимо, що літак буде продовжувати літати і не падати навіть при меншій тязі. Менша тяга означає менша витрата палива, відповідно менший викид CO2 в атмосферу та знижений рівень шуму в аеропорту та його околицях.

CDA заснована на цій аеродинамічній особливості літака. Головною метою літаків та льотного екіпажу під час експлуатації за програмою CDA є підтримка постійного та плавного зниження з оптимального положення (в ідеалі від рівня круїзу) до точки входу на глісаду з мінімальною тягою. На малюнках 2.3 та 2.4 показана різниця між профілем CDA та профілем не CDA (звичайний, ступінчастий профіль). Очікується, що літаки залишатимуться на круїзному рівні якомога довше. Потім він буде безперервно опускатися під градусом до горизонту (рис. 2.4).

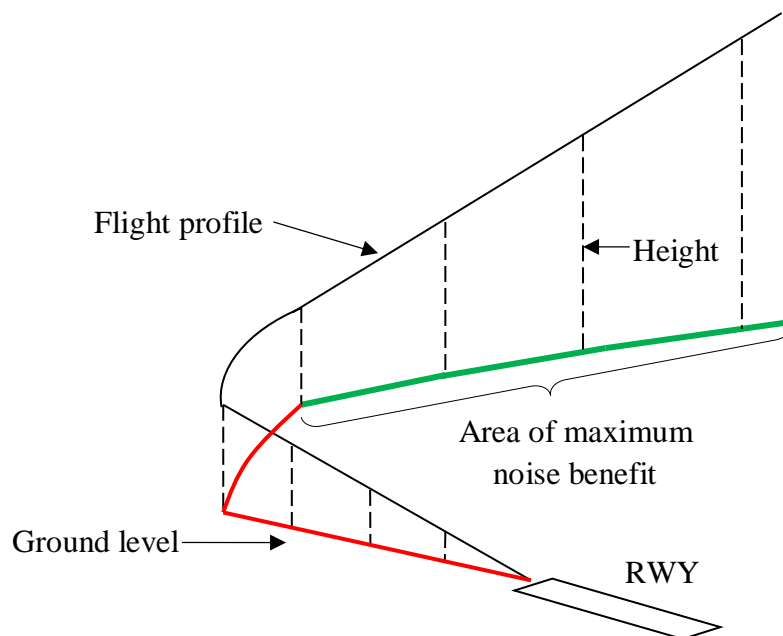


Рис 2.4 - профіль CDA

Цей профіль дає нам безліч переваг. По-перше, це економить паливо під час тривалого польоту на круїзному рівні через низький тиск і малий опір повітря на круїзному рівні. Це також економить паливо під час етапу зниження, оскільки на цьому етапі потрібна менша тяга. Ці переваги неможливо досягти під час роботи, що не виконується CDA, оскільки повітряне судно тривалий час залишається в горизонтальному польоті в нижньому повітряному просторі (рис. 2.5). Ще однією перевагою CDA є створення області вигоди від шуму. Менша тяга означає

нижчий рівень шуму. Під час роботи CDA ми зберігаємо його майже протягом усього профілю польоту.

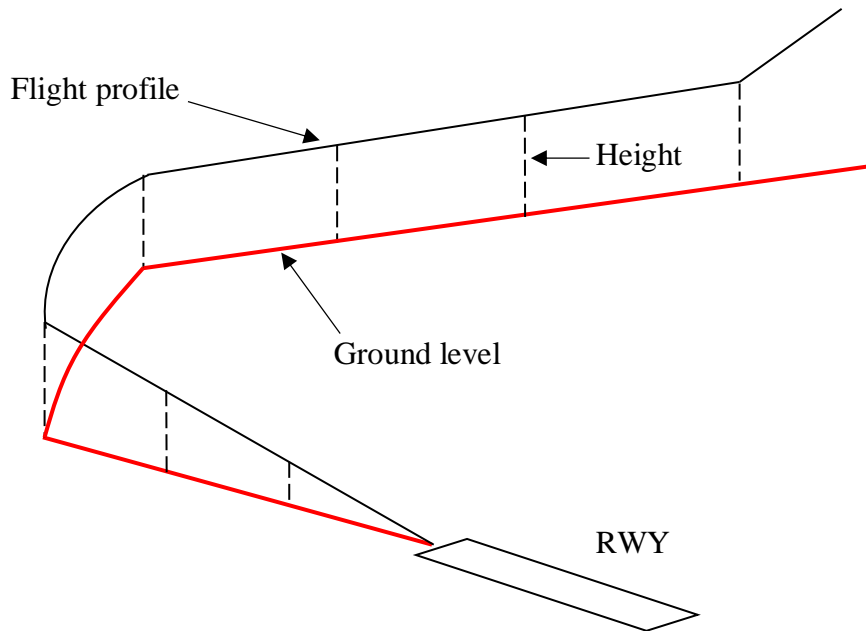


Рис. 2.5 – профіль без CDA

## Висновок до розділу 2

Метод точковий поєднання є одним з найбільш перспективних методів побудови послідовності літаків у термінальних зонах з високою щільністю руху.

Простими словами, концепція цієї системи полягає в наступному: існує певна точка, яку повинні пролетіти всі літаки, що прибувають, і ця точка розташована на невеликій відстані від точки входу на глісаду

Літаки літають спеціальною відведеною дугою перед тим, як увійти до цієї точки. Таким чином, в кожен момент часу ці літаки розташовуються на фіксованій відстані від точки поєднання. Диспетчер повітряного руху дає дозвіл для польоту одного літака до точки злиття, а після того, як він переконається в підвищенні конкретних мінімумів ешелонування, він дає вказівку пілоту іншого літака до точки злиття. При цьому не має значення, де ці два літаки розташовані

один від одного, оскільки вони повинні пролетіти однакову відстань з однаковою швидкістю. Це значно спрощує завдання формування їх послідовності та створення інтервалів. Більше того, кількість інструкцій, які диспетчер повітряного руху дає літаку за допомогою методів Point merge, значно менша, ніж в інших методах, які використовуються зараз.

Ця концепція демонструє весь свій спектр переваг та можливостей під час паралельної реалізації CDA. Після дозволу авіадиспетчера для польоту літака до точки злиття, пілот може використовувати режим CDA під час прибуття. Це дає можливість мінімізувати кількість палива, що використовується повітряним судном під час остаточного заходу на посадку, і значно зменшити кількість CO<sub>2</sub>, що виділяється з двигунів літаків. Ще однією перевагою впровадження CDA є створення зони максимальної вигоди від шуму, що дозволяє аеропортам продовжувати свій робочий час або навіть не зупиняти свою роботу в нічний час через шум від літаків.



## **РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКУ ЛІТАКІВ, ЩО ПРИЛІТАЮТ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ТОЧКИ ЗЛИТТЯ.**

### **3.1 Опис методу точкового поєднання для чотирьох потоків прибуття**

Як було описано раніше, метод point merge показав хороші результати під час першого тестування, і є кілька аеропортів по всьому світу, які вже впровадили або розробили та застосували технологію злиття точок. Вони є:

- Аеропорт Осло, Гардермуен (2011) + три регіональні аеропорти в регіоні Норвегії;
- Дублінський аеропорт, Дублін (2012);
- Сеульський аеропорт Інчхон, Сеул (2012);
- Paris ACC, Париж (2013);
- аеропорт Куала-Лумпур, Куала-Лумпур (2014);
- аеропорт Муртала Мухаммеда, Лагос (2014);
- Аеропорт Гран-Канарія, Канарські острови (2014);
- Ганноверський аеропорт, Лангенгаген (2014);
- аеропорт Лондон-Сіті, Лондон (2016);
- Аеропорт Лондона Біггін Хілл (2016).

Найбільша перевага методу точкового поєднання - простіша побудова послідовності літаків під час заходу на посадку та посадки, тим самим скорочуючи час прийняття рішення та зменшуючи навантаження для диспетчерів повітряного руху. Однак диспетчер повітряного руху в будь-якому випадку вибирає траєкторію руху повітряного судна і приймає остаточне рішення щодо швидкості літака та затвердження його для посадки.

Хоча система точкового поєднання починає широко використовуватися у всьому світі, немає чітко визначеного алгоритму, що використовується для визначення розподілу та послідовності наближення та посадки літаків в аеропорту за допомогою цього методу. Ось чому в цій роботі ми пропонуємо модель автоматизованого побудови послідовності літаків під час заходу на посадку та посадки в районах з високою щільністю.

Експериментальна схема точкового поєднання у цій роботі розроблена на базі Міжнародного аеропорту Бориспіль.

Міжнародний аеропорт «Бориспіль» — основний і найбільший пасажирський міжнародний аеропорт України та її столиці, який обслуговує Київ, Київську агломерацію та інші регіони України, забезпечуючи майже дві третини авіапасажирських перевезень у країні.

В даний час у Борисполі використовується метод тромбону (рис. 3.1). Однак через велику відстань польоту у цього типу методів та нездатність цього методу боротися з величезним потоком руху ми пропонуємо модернізувати його до методу точкового point merge.

Міжнародний аеропорт «Бориспіль» має дві злітно-посадкові смуги довжиною 4 000 м і 3 500 м та чотири пасажирські термінали (серед яких експлуатуються лише два новіші, «D» і «F»). Основна злітно-посадкова смуга 18L/36R довжиною 4000 метрів і шириною 60 метрів спроможна приймати повітряні судна всіх типів цілодобово, включно і в умовах обмеженого огляду під час негод та ожеледиці.

Друга ЗПС 18R/36L на даний момент використовується в обмеженому режимі бортами терміналу F і згідно стратегії розвитку буде реконструйована до 2020 р.

На малюнку 3.2 проілюстрована відносна схема зони в повітряному просторі, в якій реалізована система точкового поєднання. Ця схема була розроблена для чотирьох потоків прибуття. За основу для розробки експериментального зразка був узятий міжнародний аеропорт Бориспіль.

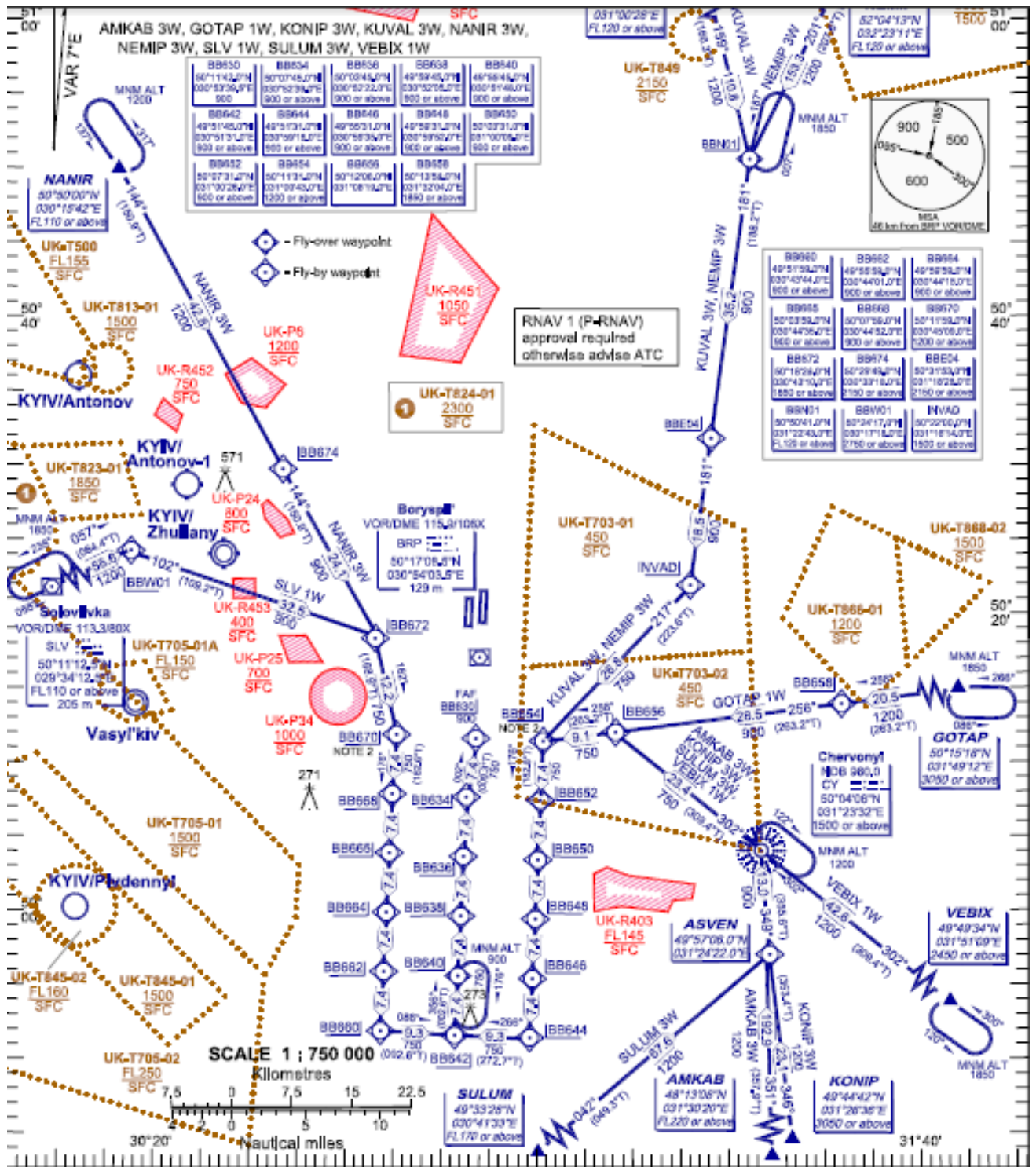


Рис.3.1. - Схема тробонів для аеропорту Бориспіль

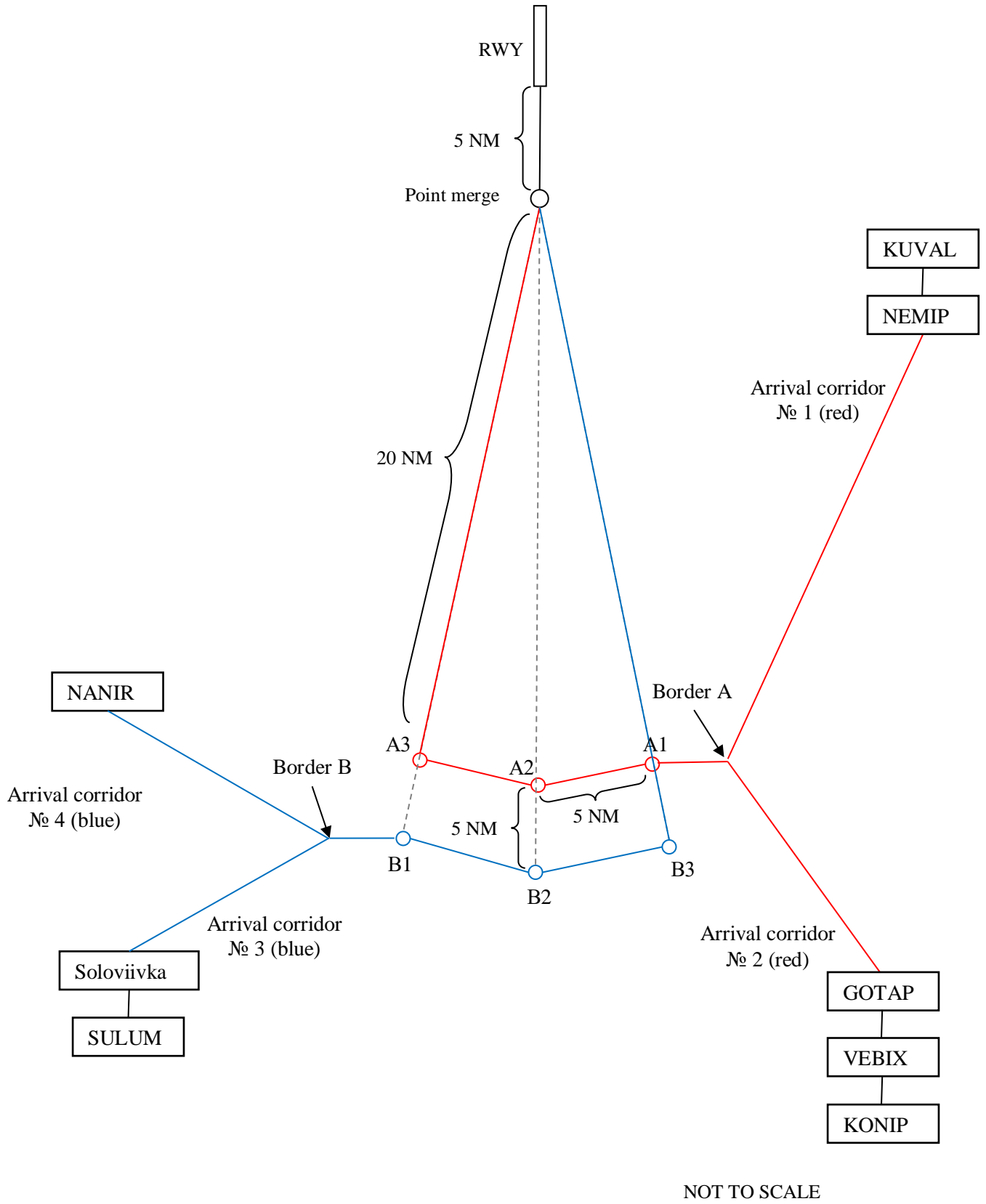


Рис. 3.2. Відносна схема точкового поєднання для 4 коридорів прибуття

Є чотири коридори прибуття:

- Коридор 1 (червоний) - для літаків, що наближаються з північного сходу (напрямок Москви);

KUVAL, NEMIP - засоби навігації, які починають коридор прибуття 1.

- Коридор 2 (червоний) - для літаків, що наближаються з південного сходу (напрямок Азії);

GOTAP, VERBIX, KONIP - навігаційні засоби, які починають коридор прибуття 2.

- Коридор 3 (синій) - для літаків, що наближаються з півдня (напрямок Близького Сходу);

Солов'ївка, SULUM - навігаційні засоби, які є початком коридору прибуття 3.

- Коридор 4 (синій) - для літаків, що наближаються із заходу (напрямок до Європи).

NANIR - навігаційне засіб, початок коридору прибуття 4.

Коридор 1 і 2 сходяться на внутрішню частину, а коридори 3 і 4 входять в зовнішню частину схеми поєднання точок. Відстань між внутрішньою і зовнішньою ділянкою становить 5 морських миль. Внутрішня частина розташована на висоті 10000 футів (FL 100), тоді як зовнішня знаходиться на висоті 11000 футів (FL 110). На внутрішній частині три точки (A1, A2, A3), розділених між собою 5 морськими милями. На зовнішній стороні також є три точки (B1, B2, B3). Ці точки є важливою частиною всієї системи поєднання точок. Зокрема, використовуючи їх, авіадиспетчер скорочує дальність польоту або збільшує її, щоб забезпечити поділ між літаками.

Кордон А і кордон В - це граничні точки між контролем підходу і місцем, де починається система поєднання точок.

При заході на посадку авіадиспетчери повинні забезпечувати ешелонування між повітряними суднами, які наближаються до аеропорту, та вважається, що всі

літаки, що входять в схему поєднання точок, мають необхідні мінімуми ешелонування.

Повітряні судна літають по внутрішній або зовнішній ділянці до останньої точки (якщо це внутрішня ділянка, ця точка - точка А3; якщо це зовнішня ділянка, ця точка - точка В3) за замовчуванням, вони повертаються до точки поєднання і продовжують свій політ. Ще 35 миль при безперервному спуску від FL 100, якщо це внутрішня ділянка, і Fl 110, якщо це зовнішня ділянка. Цієї відстані досить для зниження ПС до рівня виходу на глісаду в режимі безперервного зниження. Цей режим забезпечує економію палива і зниження шуму в околицях аеродрому. Також передбачено ще 10 морських миль після точки поєднання до початку злітно-посадкової смуги, де літаки рівняються в лінію і виконується остання перевірка ешелонування.

### 3.2 Розробка алгоритму

На основі схеми, описаної вище, був розроблений алгоритм визначення послідовності літаків при заході на посадку (рисунок 4.3, рисунок 4.4). Перед описом алгоритму необхідно ввести кілька важливих моментів, щоб зрозуміти, як він працює:

- схема розроблена для чотирьох потоків, що прибувають;
- до кожного коридору прибуття прибуває один літак;
- при заході на посадку авіадиспетчер забезпечує ешелонування літаків до «межі»;
- ПС летять з постійною швидкістю 250 вузлів при виході на схему поєднання точок;
- всі повітряні судна летять по найкоротшій доступній траєкторії, якщо авіадиспетчер не дає вказівок
- під «першим» повітряним судном мається на увазі повітряне судно, що першим увійшло в зону, і так далі.

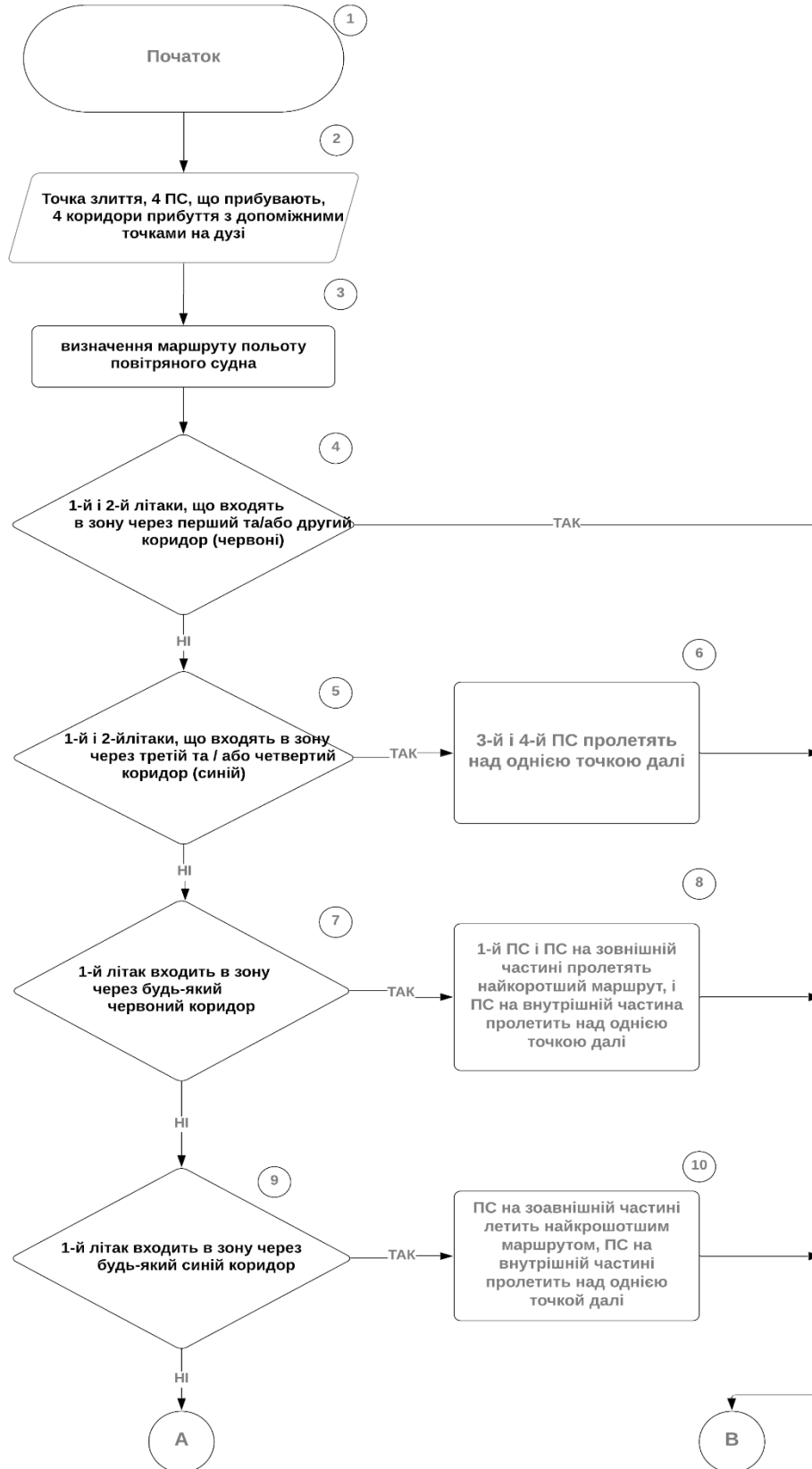


Рис.3.3 Алгоритм побудови послідовності (початок)

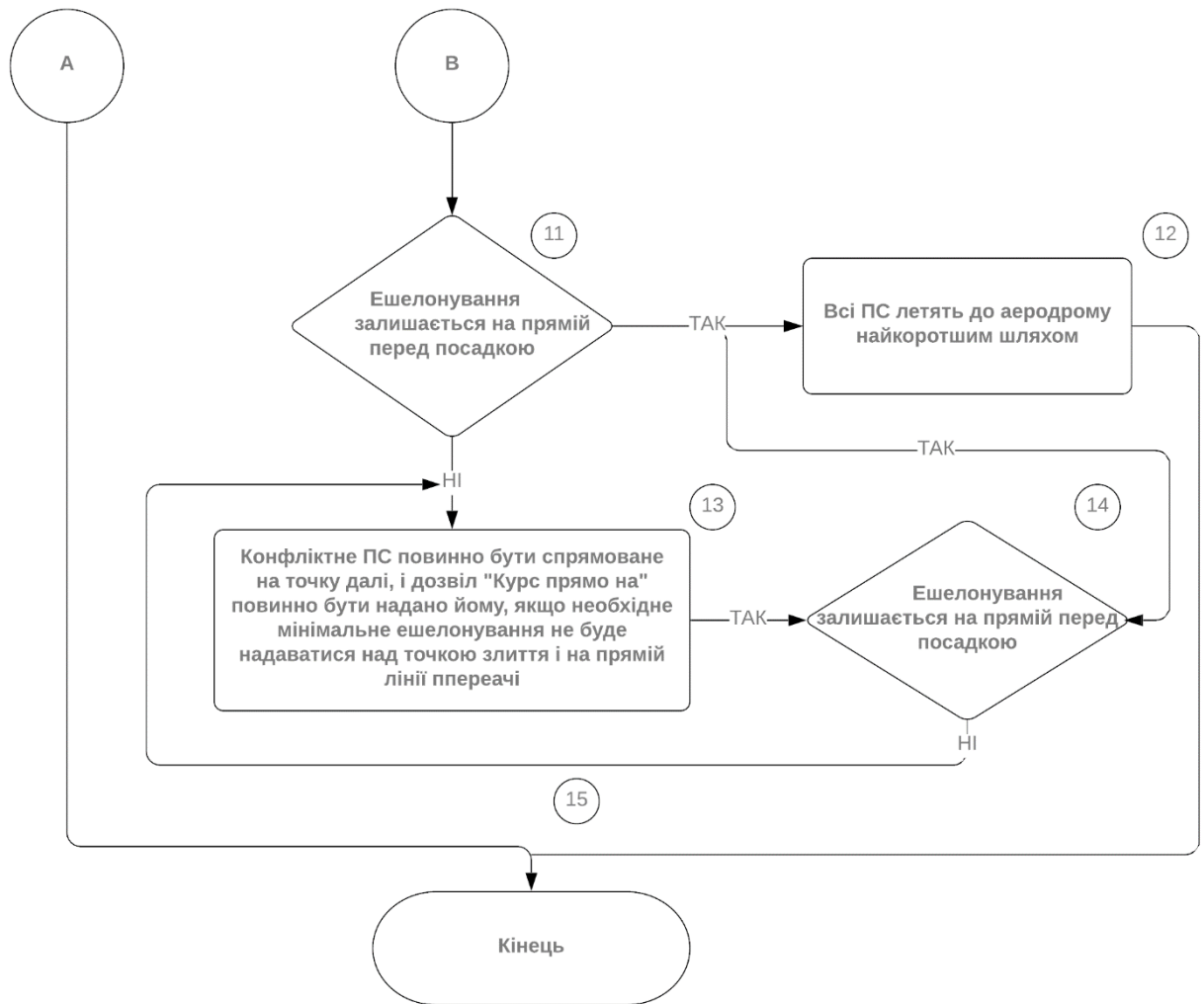


Рис.3.4 Алгоритм побудови послідовності (кінець)

Тепер розглянемо опис кожного блоку цього алгоритму:

- блок 1- визначення початку алгоритму;
- блок 2- визначення точки злиття (point merge), чотирьох літаків, що наближаються, чотирьох коридорів прибуття з додатковими точками;
- блок 3 - визначення маршруту польоту повітряного судна;
- блок 4 - якщо перший і другий літаки входять в зону через перший та / або другий коридор (червоні коридори), то процес переходить до блоку 11 (перевірка чи залишається ешелонування на прямій лінії до посадки), якщо ні - переходимо до блоку 5 (наступна перевірка);



- блок 5 - якщо перший і другий літаки входять в зону через третій та / або четвертий коридор (сині коридори), то процес переходить до блоку 6, після цього процес переходить до блоку 11, якщо ні - переходить до блоку 7 (наступна перевірка);

- блок 6 - третій і четвертий літаки летять на точку далі ( $A1 \rightarrow A2$ ,  $A2 \rightarrow A3$ ,  $B1 \rightarrow B2$ ,  $B2 \rightarrow B3$ );

- блок 7 - якщо перший літак входить в зону через будь-який червоний коридор (перший або другий коридор), то процес переходить до блоку 8, після цього процес переходить до блоку 11 (перевірка чи є ешелонування на прямій лінії до посадки) , якщо ні - переходить до блоку 9 (наступна перевірка);

- блок 8 - перший літак і літак на зовнішній частині пролітають найкоротшим маршрутом, а ПС на внутрішній ділянці летить на точку далі, потім процес переходить до блоку 11;

- блок 9 - якщо перший літак входить в зону через будь-який синій коридор (третій або четвертий коридор), то процес переходить до блоку 10, після цього процес переходить до блоку 11 (перевірка, чи ешелонування залишається на прямій лінії до посадки) , якщо ні - переходить до блоку 15 (кінцевий блок, оскільки всі можливі варіанти перевірені);

- блок 10 - всі літаки на зовнішній частині літають найкоротшим маршрутом, а літаки на внутрішній ділянці літають на точку далі, потім процес переходить на блок 11;

- блок 11 - якщо ешелонування залишається на прямій до посадки, то процес переходить до блоку 12, якщо ні - процес переходить до блоку 13;

- блок 12 - всі літаки літають до аеродрому найкоротшим шляхом, а алгоритм переходить до кінцевого блоку (блок 15);

- блок 13 - літаки, що конфліктують, повинні бути спрямовані ще на одну точку, і дозвіл “Курс прямо на” не повинен надаватися йому, якщо необхідні мінімуми ешелонування не будуть надані над злиттям точок та прямою лінією перед посадкою;

- блок 14 - якщо ешелонування залишається на прямій до посадки, тоді процес переходить до блоку 12, якщо ні - процес переходить до блоку 13;

- блок 15 - кінцевий блок алгоритму.

У цьому алгоритмі була визначена точка поєднання чотирьох повітряних суден, які випадковим чином приземляються на певний аеродром через чотири коридори прибуття. Також було виявлено три точки на внутрішній та зовнішній ділянках, які можуть бути використані для прямолінійного руху літаків до злітно-посадкової смуги.

На основі цих даних та діаграм був розроблений алгоритм визначення порядку підходу літака. Суть алгоритму полягає в тому, що він може автоматично визначати можливі точки на дугах, через які повинен пролетіти повітряне судно, який у той самий проміжок часу ввійшов в область. А саме, чотири літаки, які входять в зону, автоматично отримують вказівки до польоту з урахуванням мінімумів ешелонування, які слід витримувати в цій зоні. Диспетчери повітряного руху повинні контролювати лише повітряну обстановку, і у разі конфліктів між повітряними суднами вони повинні вживати заходів для їх усунення.

Усунення цих конфліктів може здійснюватися різними методами. Є деякі з них:

- регулювання швидкістю літака;
- зміна маршрут польоту;
- виведення конфліктуючого літака з послідовності літаків.

Цей алгоритм є особливим випадком з найскладніших ситуацій, так само як для чотирьох літаків, які приземляються з чотирьох різних коридорів. Якщо один коридор не використовується, це ще більше спрощує роботу диспетчера повітряного руху. Використовуючи цей алгоритм для визначення порядку, диспетчеру повітряного руху не потрібно буде розглядати та розраховувати кожен окрему ситуацію. Диспетчер повітряного руху зможе працювати за

допомогою схеми повітряного руху, в результаті зменшуючи його робоче навантаження, економлячи свій час для інших завдань.

### 3.3 Розробка програми та її результати

Для кращого розуміння роботи алгоритму та візуального відображення траєкторій повітряних суден, визначених відповідно до алгоритму, була створена програма в програмному середовищі MATLAB.

Після компіляції ця програма показує сліди чотирьох літаків, що наближаються до аеропорту зі швидкістю 250 вузлів за схемою точкового поєднання. Відповідно до алгоритму існує шістнадцять можливих варіантів комбінацій способу наближення літаків до аеропорту. Це буде показано і описано з трьох з них. Повний перелік програми прикріплено до додатків (Додаток 1).

#### Варіант 1

Перший приклад показано на малюнку 4.5. Ви можете побачити частину реалізованої програми, коли:

- перший літак, який прибуває в зону через третій коридор;
- другий літак, що прибуває в зону через перший коридор;
- третій літак, який прибуває в зону через четвертий коридор;
- і четвертий літак, що проходить через третій коридор.

З рисунка 3.5 ми бачимо, що згідно з алгоритмом, за яким була розроблена ця програма, рух літаків розподіляється в наступному порядку:

- перший літак (синя лінія) розпочав рух по третьому вхідному коридору і закінчив на злітно-посадковій смугі через точку В1 на зовнішній частині дуги;
- другий літак (жовта лінія) - проклав собі шлях через точку А2 на внутрішній частині дуги;

- третій літак (червона лінія) - розпочав рух по четвертому вхідному коридору і закінчила на злітно-посадковій смузі через точку В1 на зовнішній частині дуги;

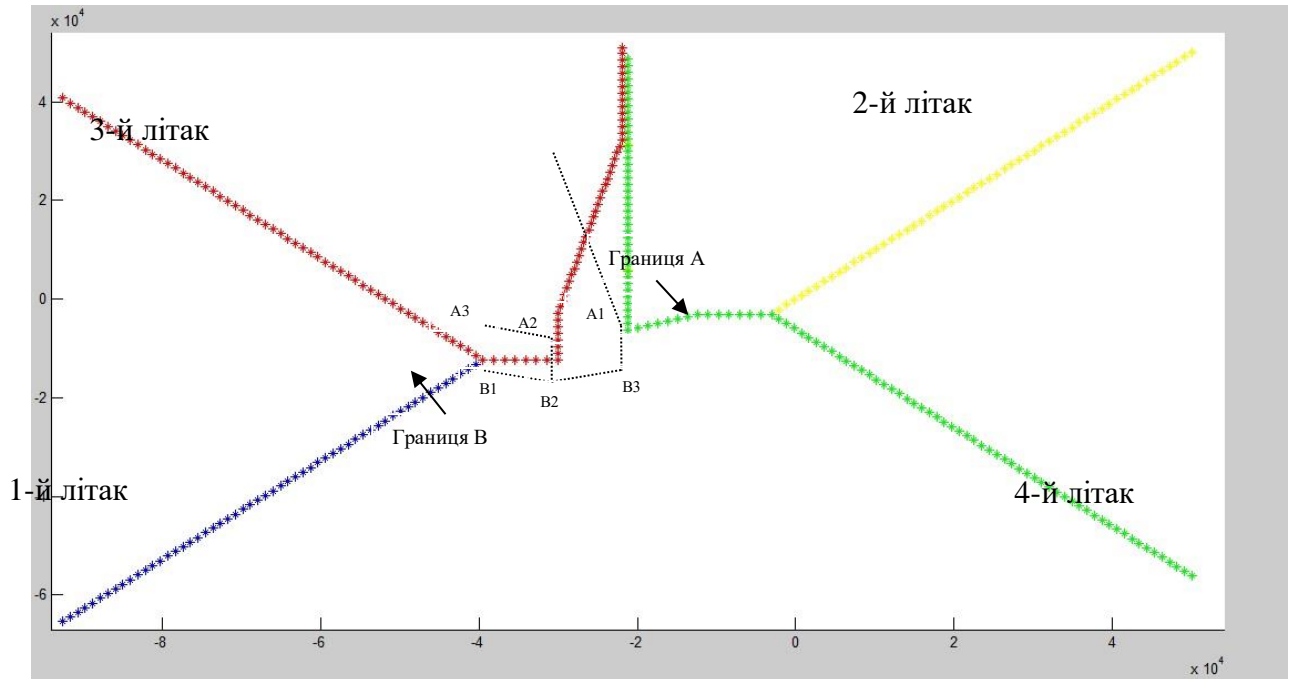


Рис. 3.5 Візуальне представлення траєкторій літаків (Варіант 1)

- нарешті, четвертий літак (зелена лінія) - проклав собі шлях через точку А2 на внутрішній частині дуги.

## Варіант 2

Другий приклад відображено на малюнку 4.6. Ви можете побачити частину реалізованої програми, коли:

- перший літак, що прибуває в зону через другий коридор;
- другий літак, що прибуває в зону через перший коридор;
- третій літак, що прибуває в зону через четвертий коридор;
- і четвертий літак, що проходить через третій коридор.

З малюнка 3.6 ми бачимо, що відповідно до алгоритму, за яким була розроблена ця програма, рух літальних апаратів розподіляється в наступному порядку:

- перший літак (жовта лінія) - почав рух по другому вхідному коридору і закінчив на злітно-посадковій смугі через точку A1 на внутрішній частині дуги;
- другий літак (зелена лінія) - проклав собі шлях через точку A1 на внутрішній частині дуги;
- третій літак (червона лінія) - почав рух по четвертому вхідному коридору і закінчила на злітно-посадковій смугі через точку B1 на зовнішній частині дуги;
- нарешті, четвертий літак (синя лінія) - проклав собі шлях через точку B2 на зовнішній частині дуги.

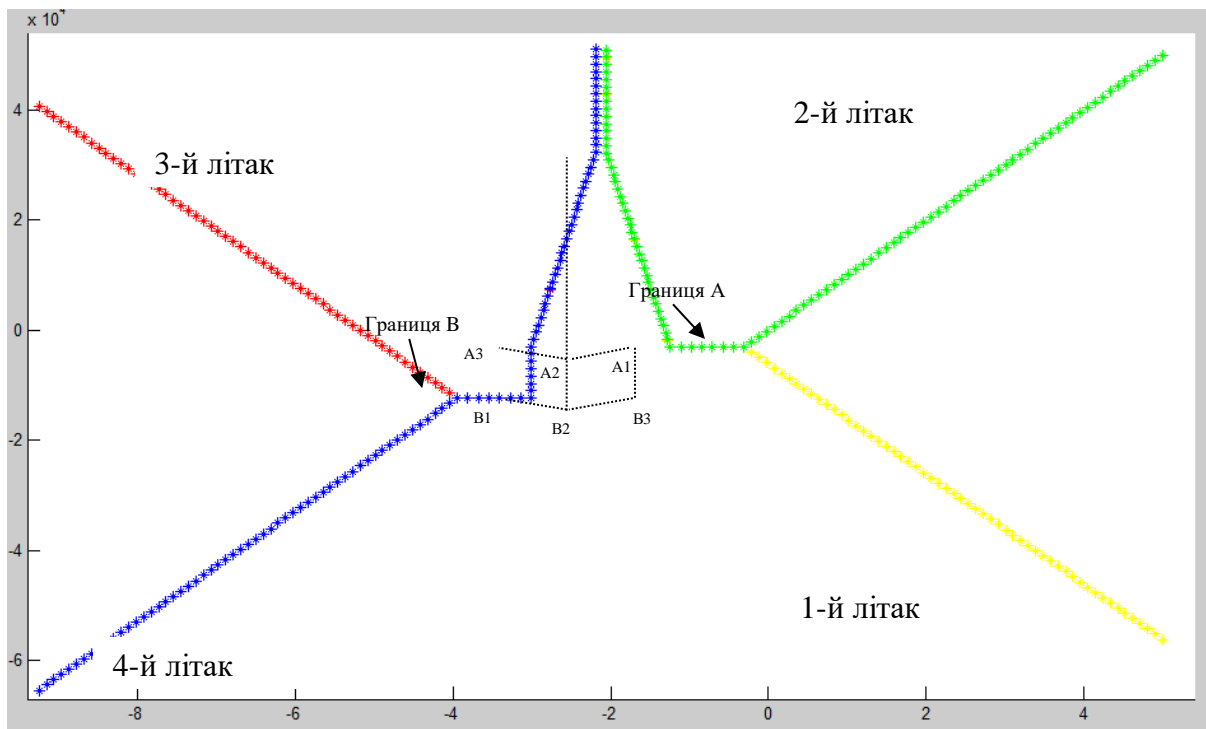


Рис. 3.6 Візуальне представлення траєкторій літаків (Варіант 2)

### Варіант 3

Третій приклад показаний на малюнку 3.7. Ви можете побачити частину реалізованої програми, коли:

- перший літак, що прибуває в зону через другий коридор;
- другий літак, що прибуває в зону через четвертий коридор;
- третій літак, який прибуває в зону через третій коридор;
- і четвертий літак, що проходить через перший коридор.

З малюнка 4.7 ми бачимо, що згідно з алгоритмом, за яким була розроблена ця програма, рух літаків розподіляється в наступному порядку:

- перший літак (синя лінія) - розпочав рух по другому вхідному коридору і закінчив на злітно-посадковій смузі через точку A1 на внутрішній частині дуги;

- другий літак (жовта лінія) - проклав собі шлях через точку B1 на зовнішній частині дуги;

- третій літак (зелена лінія) - розпочав свій рух по третьому вхідному коридору і закінчила на злітно-посадковій смузі через точку B1 на зовнішній частині дуги;

- нарешті, четвертий літак (червона лінія) - проклав собі шлях через точку A2 на внутрішній частині дуги.

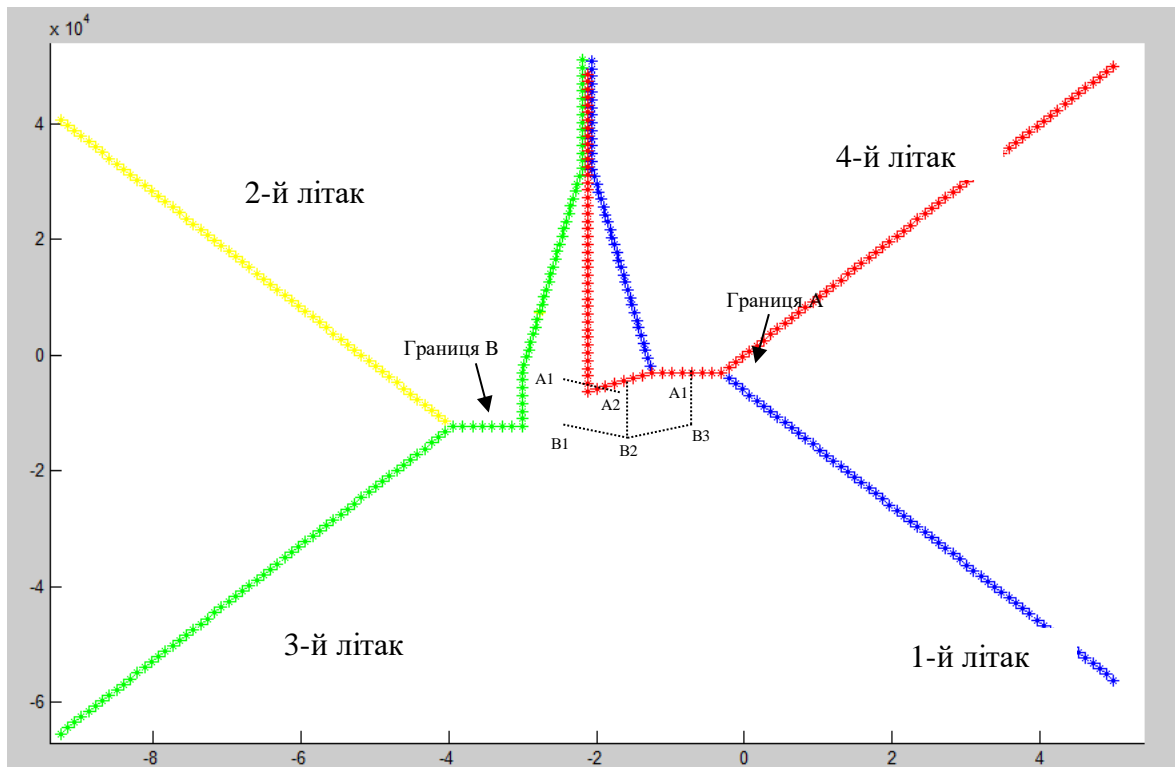


Рис. 3.7 Візуальне представлення траєкторій літаків (Варіант 3)

Отже, як бачимо, розроблена програма показала траєкторії літаків згідно з вихідними даними та розробленим алгоритмом. Всі літаки у всіх трьох випадках пролетіли найкоротші траєкторії. У той же час, у ситуаціях, коли ризик небезпечної близькості між повітряними суднами на зовнішній та внутрішній частині дуги був можливим, згідно з алгоритмом літаки, що конфліктували, змінили свою траєкторію і пролетіли на одну точку далі, щоб уникнути потенційного конфлікту.

### 3.4 Майбутні перспективи вдосконалення моделі

Як зазначалося вище, метод точкового поєднання є відповідно новим методом побудови послідовності літаків у зонах з інтенсивним повітряним рухом.

Цей метод вже впроваджений в деяких аеропортах по всьому світу, однак немає встановленого алгоритму визначення руху літаків в тій чи іншій ситуації, тим більше немає розроблених програм, які могли б бути частиною автоматизованої системи повітряного руху .

Оскільки майбутні системи аеронавігації - це автоматизована система аеронавігації, тому сьогодні дуже важливо розробити різні моделі автоматизованого управління повітряним рухом та побудови послідовності літаків.

У цій роботі вперше була розроблена автоматизована модель побудови послідовності для літаків, що підходять до аеропорту в зонах інтенсивного повітряного руху на основі методу точкового злиття.

За основу було взято випадок з чотирма коридорами прибуття та чотирма літаками, які підходять до аеропорту призначення. Результати моделювання в програмному середовищі MATLAB показали, що метод точкового поєднання та алгоритм працюють. Всі чотири літаки приземлилися в аеропорту призначення ефективно проходячи відстань, не порушуючи мінімуми ешелонування між ними.

Надалі ми можемо продовжити цей особливий випадок і запровадити:

- додаткові перевірки відстані між літаками протягом усього періоду їх руху, що допоможе виявити потенційні конфлікти на більш ранньому етапі і, таким чином, ефективно їх усунути;

- новий алгоритм, який не буде обмежений кількістю маршрутів прибуття та кількістю літаків. Універсальний алгоритм, який застосовуватиметься в різних ситуаціях та різних аеропортах.



### Висновок до розділу 3

Точковий метод поєднання набирає широкої популярності у всьому світі, оскільки його наявність проста побудова послідовності літаків під час заходу на посадку та самої посадки. Він має такі переваги, як:

- скорочений час прийняття рішення;
- зменшене навантаження на диспетчерів повітряного руху.

Однак диспетчер повітряного руху в будь-якому випадку вибирає траєкторію руху повітряного судна і приймає остаточне рішення щодо швидкості повітряного судна та затвердження його для посадки.

Хоча система точкового поєднання починає широко застосовуватися у всьому світі, немає чітко визначеного алгоритму, що використовується для визначення розподілу та послідовності наближення та посадки літаків в аеропорту за допомогою цього методу. Ось чому в цьому розділі ми розробили модель автоматизованого побудови послідовності літаків під час заходу на посадку та посадки в районах високої щільності.

У цій главі на базі Міжнародного аеропорту Бориспіль була розроблена експериментальна схема поєднання точок.

Після цього був розроблений алгоритм визначення послідовності літаків під час заходу на посадку. Розроблено алгоритм визначення порядку процедури підходу літака. Суть його полягає в тому, що він може автоматично визначати можливі точки на дугах за схемою точкового поєднання, через які повинен пролетіти літак, який увійшов в область за той самий інтервал часу. Отже, чотири літаки, які входять в зону, автоматично отримують вказівки до польоту з урахуванням мінімумів ешелонування, які слід тримати в цій зоні. Диспетчери повітряного руху повинні контролювати лише повітряну обстановку, і у разі конфліктів між повітряними суднами вони повинні вживати заходів для їх усунення. Ще один момент, який розглядався в цьому розділі, - це програмне забезпечення MATLAB, розроблене для візуального представлення.

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У цій дипломній роботі я вивчав методи побудови послідовності повітряних суден під час заходу на посадку в вузлових диспетчерських районах з інтенсивним повітряним рухом. Було виявлено, що сучасні методи, такі як векторування, STARs та тромбони, не цілком підходять для побудови послідовності заходу на посадку через їхню нездатність мати справу з величезною кількістю повітряних суден у зоні та великою дистанцією польоту, якою повинні літати повітряні судна.

Рішення було знайдено в новому методі побудови послідовностей, який називається метод точкового поєднання – point merge method. Точкове поєднання - це інноваційний метод, який має свої переваги для різних користувачів повітряного простору. Для диспетчерів повітряного руху це простіший набір послідовності на останніх етапах польоту, підвищення рівня безпеки в зоні і, як результат, зменшення навантаження. Для авіакомпаній безперервна операція спуску, яка є частиною методу поєднання точок, є прекрасною можливістю забезпечити зменшення використання палива. Пілоти, в свою чергу, мають здатність літати за більш простою схемою і тим самим також зменшувати своє навантаження.

Оскільки метод точкового поєднання є відносно новим методом, який зараз активно тестується, немає чітко визначеного алгоритму, що використовується для визначення розподілу та послідовності наближення та посадки літаків в аеропорту за допомогою цього методу. Ось чому в цій роботі ми запропонували алгоритм, згідно з яким ми можемо виконувати автоматизовану побудову послідовності літаків під час заходу на посадку та посадки в районах високої щільності. Цей алгоритм був реалізований для схеми точкового поєднання з чотирма коридорами прибуття з повітряними суднами, що входять в зону випадковим чином.

Ще одна річ - програма в середовищі програм MATLAB, яка також була розроблена під час цієї роботи. Ця програма була створена для кращого розуміння

того, як працює алгоритм, та для наочного відображення траєкторій повітряних суден, визначених відповідно до алгоритму.

В результаті під час цієї роботи:

- ми вивчили проблеми сучасних методів послідовності прильоту повітряного руху;

- проаналізовано метод точкового поєднання як новий метод оптимізації прибуття повітряного руху;

- розроблено алгоритм визначення послідовності прибуття;

- на основі розробленого алгоритму реалізована програма в MATLAB для візуального представлення роботи алгоритму.

Практичне значення роботи полягає в тому, що цей алгоритм може бути використаний як частина майбутньої автоматизованої системи управління повітряним рухом. Також його можна використовувати в навчальних цілях для студентів авіаційних спеціальностей.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Muliar P.I. Importance, problems and solutions of continuous descent arrival [Text] / P.I. Muliar, Argunov G.F. // Avia – 2015 – 2015. – P. 7.25 – 7.28.
2. Муляр П.І. Автоматизація процесу побудови черговості повітряних суден, що прибувають [Текст] / Муляр П.І., Луппо О.Є. // Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт – 2015. – Ст. 48 – 69.
3. Muliar P.I. Scattering and mitigation of wake vortex turbulence near airports [Text] / Muliar P.I., Dolhov D.O. // Polit – 2013 – 2013. – P. 33
4. Muliar P.I. “Green” approach trajectory as a part of clean sky program [Text] / Muliar P.I., Bogunenko M.M. // Polit – 2012 – 2012. – P. 92
5. Eight-states free route airspace project. Free route airspace concept [Text] / – 2-nd ed.–European Organisation For The Safety Of Air Navigation, 2002.– P.2 – 5
6. European route network improvement plan. European airspace design methodology guidelines. General principles and technical specifications for airspace design [Text]/ – Part 1–2-nd ed. – European Organisation For The Safety Of Air Navigation, 2012. – P. 4-12 – 4-14
7. Point merge system Oslo ATCC [Text] / –Avinor, 2011. – P. 3 – 7
8. Models of Air Traffic Merging Techniques: Evaluating Performance of Point Merge [Text] / AAIA 2009 – 7013 – Eurocontrol Experimental Centre, Bretigny-sur-Orge, 2009. – P. 1 – 10
9. Керівництво з дизайну структури повітряного простору України [Текст] / Державна авіаційна адміністрація, 2008. – Ст. 47 – 50
10. Live “Point Merge” within Paris ACC: the first “Point Merge” to be assessed in E-TMA [Text] / FABEC (Functional airspace block Europe central), 2012. – P. 1 – 2
11. Point merge in extended terminal area [Text] / EEC Technical/Scientific report № 2010-011 // Eurocontrol experimental centre, 2010. – 45 – 60

12. 4D Trajectory Concept – 2014 [Электронный ресурс] – Eurocontrol, 2014. Режим доступа: [http://ww.skybrary.aero/index.php/4D\\_Trajectory\\_Concept](http://ww.skybrary.aero/index.php/4D_Trajectory_Concept)
13. 4D trajectory management: an initial pilot perspective – 2014 [Электронный ресурс] – Eurocontrol, 2014. Режим доступа: [https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard\\_page/EEC\\_News\\_2008\\_2\\_TM.html](https://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/EEC_News_2008_2_TM.html) – доступ 09.06.2016
14. Matlab Manual – 2009 [Электронный ресурс] – Matlab, 2009. Режим доступа: <http://www.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html> – доступ 10.05.2016