

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

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

_____ Ларін В.Ю.

«_____» _____ 2023р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

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

Тема:

**Обслуговування повітряного руху та виконання
польоту в турбулентному сліді**

Виконавець: Сидоренко Ілля Олександрович

Керівник: Аргунов Геннадій Федорович

Керівник спеціального розділу

д.т.н. проф. Остроумов Іван Вікторович

Нормоконтролер

Аргунов Геннадій Федорович

Київ-2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Обслуговування повітряного руху»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АНС

_____ В.Ю. Ларін
« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Сидоренко Іллі Олександровича

- 1. Тема дипломної роботи: «Обслуговування повітряного руху та виконання польоту в турбулентному сліді»** затверджена наказом ректора від "22" жовтня 2023 р. № 1443/ст
- 2. Термін виконання роботи:** 23.10.2023 – 31.12.2023
- 3. Вихідні дані до роботи:** виконання та обслуговування повітряного руху .
- 4. Зміст пояснювальної записки:** Турбулентність атмосфери та зсув вітру. Історія досліджень турбулентності супутнього сліду. Моделювання руху літака/ супутнього сліду. Аналіз сучасних систем виявлення вихрового сліду. Авіаційні інциденти та катастрофи пов'язані з турбулентним слідом. Утворення кільватерної турбулентності. Турбулентність в сліді на маршруті. Рекомендації пілотам та авіадиспетчерам. RECAT - перекатегоризація турбулентності в сліді. Процедури зменшення впливу турбулентності в сліді.
- 5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:** ілюстрації пояснювальних матеріалів, порівняльні таблиці, схеми.

6. Календарний план графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Підготовка до написання роботи (пошук джерел, розробка плану роботи. ..)	23.10 -01.11.23	
2.	Підготовка та написання 1 розділу «Аналіз досліджень впливу турбулентного сліду на безпеку польотів»	30.10 - 10.11.23	
3.	Підготовка та написання 2 розділу «Характеристики небезпеки турбулентності в сліді»	01.11 - 20.11.23	
4.	Підготовка та написання 3 розділу «Методи уникнення турбулентності в сліді»	15.11 - 30.11.23	
5.	Підготовка та написання 4 розділу «Спеціальний розділ»	10.11 - 10.12.23	
6.	Підготовка та написання 5 розділу «Охорона праці та охорона навколишнього середовища»	20.11 - 15.12.23	
7.	Підготовка презентації та доповіді	20.12 - 25.12.23	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	Проф. д.т.н Остроумов І.В.	23.10.2023	

8. Дата видачі завдання: « 23 » жовтня 2023 р.

Керівник дипломної роботи _____ Аргунов Геннадій Федорович
 (підпис керівника) (прізвище, ім'я, по батькові)

Завдання прийняв до виконання _____ Сидоренко Ілля Олександрович
 (підпис студента) (прізвище, ім'я, по батькові)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту **«Обслуговування повітряного руху та виконання польоту в турбулентному сліді»**: 100 сторінок, 61 рисунок, 13 таблиць, 37 використаних джерел.

Мета дипломної роботи – аналіз турбулентного сліду та зменшення його впливу на безпеку польотів.

Засоби досягнення – аналіз впливу турбулентного сліду повітряних суден.

Об'єкт удосконалення – безпека польотів.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – проведений аналіз надасть змогу визначити оптимальні методи виявлення турбулентного сліду повітряних суден та підвищити поінформованість екіпажів повітряних суден про потенційну небезпеку.

АЕРОНАВІГАЦІЯ, ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ,
ТУРБУЛЕНТНІСТЬ, БЕЗПЕКА ПОЛЬОТІВ, СУПУТНІЙ СЛІД, ОРГАНІЗАЦІЯ
ПОВІТРЯНОГО РУХУ

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Терміни та визначення.....	9
Вступ.....	11
Розділ 1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТУРБУЛЕНТНОГО СЛІДУ НА БЕЗПЕКУ ПОЛЬОТІВ	13
1.1. Турбулентність атмосфери та зсув вітру	13
1.2. Історія досліджень турбулентності супутнього сліду.....	14
1.3. Моделювання руху літака/супутнього сліду	17
1.4. Аналіз сучасних систем виявлення вихрового сліду.....	20
1.5. Авіаційні інциденти та катастрофи пов’язані з турбулентним слідом	27
Висновки до розділу 1	31
Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБЕЗПЕКИ ТУРБУЛЕНТНОСТІ В СЛІДІ	32
2.1. Утворення кільватерної турбулентності.....	32
2.2. Турбулентність в сліді на маршруті.....	38
2.3. Рекомендації пілотам та авіадиспетчерам	41
Висновки до розділу 2	44
Розділ 3. МЕТОДИ УНИКНЕННЯ ТУРБУЛЕНТНОСТІ В СЛІДІ	45
3.1. Урахування повітряного руху під час застосування ешелонування.....	45
3.2. RECAT - перекатегоризація турбулентності в сліді.....	47
3.3. Процедури зменшення впливу турбулентності в сліді	54
3.4. Розроблення рекомендацій по зменшенню впливу турбулентності в сліді для аеродрому «Київ/Антонов-2».....	60
Висновки до розділу 3	66
Розділ 4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	67
4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності	67
4.2. Розрахунок часу зайнятості злітно-посадкової смуги для вильоту аеродрому Київ/Антонов-2.....	75

Розділ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО

СЕРЕДОВИЩА	82
5.1. Безпека праці при технічному обслуговуванні авіаційної техніки	82
5.2. Охорона навколишнього середовища. «Чистий» повітряний транспорт.....	89
Загальні висновки.....	96
Список використаних джерел.....	98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АНІ** – аеронавігаційна інформація
- ОПР** – Обслуговування повітряного руху
- ПАНО** – Постачальники аеронавігаційного обслуговування
- ПВП** – Правила візуальних польотів
- ППП** – Правила польотів за приладами
- ЗПС** – Злітно-посадкова смуга
- ПС** – Повітряне судно
- УПР** – Управління повітряним рухом
- АОМ** (*Aircraft Operating Manual*) – Посібник з експлуатації повітряного судна
- АТМ** (*Air Traffic Management*) — Організація повітряного руху
- EASA** (*European Aviation Safety Agency*) – Європейська агенція авіаційної безпеки
- IATA** (*International Air Transport Association*) – Міжнародна асоціація повітряного транспорту
- ICAO** (*International Civil Aviation Organization*) – Міжнародна організація цивільної авіації
- МТОМ** (*Maximum Take-Off Mass*) – Максимальна злітна маса літака
- FAA** (*Federal Aviation Administration*) – Федеральної авіаційне управління Сполучених Штатів Асерики
- RHI** (*Range-Height Indicator*) – Індикатор відстань-висота
- LIDAR** (*Light Identification, Detection and Ranging*) – Лідар
- LLWAS** (*Low-Level Wind Shear Alert System*) – Система оповіщення про зсув вітру низького рівня
- NM** (*Nautical Mile*) – Морська миля
- NWP** (*Numerical Weather Prediction*) – Чисельне прогнозування погоди
- UFO** (*Ultrafast Wind Sensors*) – Ультрашвидкі датчики вітру
- MSL** (*Mean Sea Level*) – Середній рівень моря
- NOTAM** (*Notice to airmen*) – повідомлення для пілотів
- WTC** (*Wake Turbulence Categories*) – Категорія турбулентності в сліді

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Аеродром – визначена ділянка суші або водної поверхні (включаючи розміщені на ній будь-які будинки, споруди та обладнання), призначена повністю або частково для прибуття, відправлення і руху повітряних кораблів. Якщо поняття «аеродром» використовується в положеннях, що стосуються планів польотів і повідомлень щодо обслуговування повітряного руху, воно включає також місця, які можуть використовуватися літальними апаратами певних видів, наприклад вертольотами або аеростатами.

Безпека польотів - комплексна характеристика авіаційної системи, визначається як здатність виконувати польоти без загрози для життя і здоров'я людей, або властивість авіаційної системи запобігати авіаційним подіям.

Глісада – профіль зниження, встановлений для вертикального наведення на кінцевому етапі заходження на посадку.

Донесення з борту ПС – донесення з борту ПС, що перебуває в польоті, складене відповідно до вимог стосовно повідомлення інформації про місцезнаходження, хід виконання польоту та/або метеорологічні умови.

Лідар — технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Обслуговування повітряного руху - загальний термін, що означає у відповідних випадках польотно-інформаційне обслуговування, аварійне сповіщення, консультативне обслуговування повітряного руху, диспетчерське обслуговування повітряного руху (районне диспетчерське обслуговування, диспетчерське обслуговування підходу або аеродромне диспетчерське обслуговування).

Повітряне судно — апарат, що підтримується в атмосфері у результаті його взаємодії з повітрям, відмінної від взаємодії з повітрям, відбитим від земної поверхні.

Політ за правилами візуальних польотів – політ, що виконується відповідно до правил візуальних польотів.

Політ за правилами польотів за приладами – політ, що виконується відповідно до правил польотів за приладами.

Поріг злітно-посадкової смуги – початок ділянки злітно-посадкової смуги, що може використовуватися для посадки.

Інформація про рух – інформація, що надається органом обслуговування повітряного руху екіпажу повітряного корабля для попередження його про інші відомі повітряні кораблі або повітряні кораблі, які можуть перебувати недалеко від його місцеперебування або зазначеного маршруту польоту, що допомагає екіпажу запобігати зіткненню.

Місцеві інструкції – інструкції, які визначають процедурні питання з виконання польотів, зокрема з прибуття, відправлення та руху повітряного корабля на аеродромі, з якого (на який) планується виліт (приліт).

Точка приземлення (*Touchdown*) – точка, у якій номінальна глісада перетинається зі злітно-посадковою смугою.

Примітка. Термін «точка приземлення» визначає лише точку відліку, а не точку, у якій повітряний корабель фактично торкнеться злітно-посадкової смуги.

ВСТУП

Турбулентність у сліді - це явище, яке виникає внаслідок проходження літака через атмосферу. Цей термін включає турбулентність потоку тяги, реактивний вибух, реактивний струмінь, пропелер і ротор, як на землі, так і в повітрі, але турбулентність у кільватерному сліді здебільшого стосується вихорів на кінцях крила.

Вихровий слід є неминучим побічним продуктом підйомної сили літака що злітає. Загалом він складається з двох хвилястих вихорів, що сильно обертаються в протилежних напрямках, і вважається однією з найсерйозніших небезпек в авіації. Вихровий слід, створений великим літальним апаратом, може призвести до того, що наступний літак втратить контроль, особливо під час фаз зльоту та посадки. З розвитком сучасного суспільства повітряний рух майже подвоювався кожні 15 років за останні десятиліття, що викликало нагальний попит на виявлення та відновлення параметрів вихрового сліду в управлінні повітряним рухом (УПР) для забезпечення безпеки польотів, або зменшення відстані між літаками.

Найважливішим інструментом успіху, доступним сьогодні для пілотів і диспетчерів повітряного руху, для зменшення кількості аварій і інцидентів, викликаних турбулентністю, є обізнаність і навчання. Це можна зробити, оновивши базове розуміння турбулентності в сліді, щоб допомогти зменшити та прояснити поширені помилкові уявлення та викликати повагу до безпеки. Таке навчання розширить обізнаність пілотів і диспетчерів повітряного руху про їхню взаємну участь в уникненні турбулентності в сліді. Крім того, навчання створить базові знання для інструкторів і тих, хто займається розробкою навчання програми.

Іншою чіткою метою навчання є підвищення обізнаності пілотів і авіадиспетчерів про турбулентність у кільватерному сліді. Це має призвести до спільної обізнаності та співпраці між авіадиспетчерами та пілотами. Покращена ситуаційна обізнаність краще підготує пілотів і диспетчерів повітряного руху до

майбутніх удосконалень і нових інструментів для боротьби з турбулентністю в сліді.

Відповідно до системи, оприлюдненої Міжнародною організацією цивільної авіації (International Civil Aviation Organization – ICAO), мінімальне ешелонування між літаками з нерухомим крилом під час заходу на посадку або під час зльоту на початковому наборі висоти визначається використанням категорій літаків на основі максимальної злітної маси літака (Maximum Take-Off Mass – МТОМ). Вважається, що це є відповідним показником сили турбулентності, яка може бути створена позаду великих реактивних літаків на відносно низьких швидкостях завдяки генерації завихрення в кільватерному сліді на кінцях крил. Ретельне дотримання цих мінімумів ешелонування запобігло втраті керованості внаслідок турбулентності в сліді на тих етапах польоту, де вони застосовуються, але коли вони ігнорувалися, раптові та швидкі некеровані крени відбувалися зі смертельними наслідками.

Метою дипломної роботи є аналіз турбулентного сліду та зменшення його впливу на безпеку польотів.

Для досягнення мети роботи, необхідно виконати наступні завдання:

1. Проаналізувати дослідження природи турбулентного сліду та методи його виявлення.
2. Проаналізувати методи зменшення ризику потрапляння в турбулентний слід.
3. Розрахувати час зайнятості ЗПС для аеродрому Київ/Антонов-2 для вильоту ПС.
4. Розробити рекомендації по зменшенню небезпеки турбулентного сліду для аеродрому Київ/Антонов-2

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТУРБУЛЕНТНОГО СЛІДУ НА БЕЗПЕКУ ПОЛЬОТІВ

1.1. Турбулентність атмосфери та зсув вітру

Турбулентність – безладні переміщення повітряного судна (ПС) при польоті в турбулентній атмосфері:

- помірна турбулентність – приріст перевантаження до $\pm 1,0g$;

- сильна – $\pm 1,0g$ і більше,

в посадковій конфігурації:

- помірна – $\pm 0,3 - 0,4g$,

- сильна – більше $\pm 0,4g$).

Турбулентний стан атмосфери – стан, під час якого спостерігаються неупорядковані вихрові рухи різних масштабів і різних швидкостей. Основною причиною турбулентності є виникаючі в атмосфері контрасти в полі вітру й температури.

Під час перетинання вихрів ПС зазнає впливу їх вертикальних і горизонтальних складових, представляють окремі пориви. У результаті чого порушується рівновага аеродинамічних сил. Виникають додаткові прискорення, що викликають перевантаження, а, отже, турбулентність.

Зсув вітру – зміна напрямку й/або швидкості вітру в просторі, включаючи висхідні й спадні потоки. Він визначається векторною різницею швидкості й напрямку вітру у двох точках, віднесених по відстані між цими точками. Залежно від орієнтації точок у просторі й напрямку руху ПС відносно злітно-посадкової смуги (ЗПС) розрізняють вертикальний і горизонтальний зсув вітру. Зсув вітру може бути:

– слабкий – до 2 м/с на 30 м висоти;

– помірний – від 2 до 4 м/с на 30 м висоти;

– сильний – від 4 до 6 м/с на 30 м висоти;

– дуже сильний – 6 м/с і більше на 30 м висоти).

Вертикальний зсув вітру прийнято визначати, як зміна вектора вітру в метрах за секунду на 30 м висоти (залежно від напрямку зміни вітру щодо руху літака вертикальний зсув може бути поздовжнім (попутним – позитивним або зустрічним – негативним) або ж бічним (лівим чи правим).

Горизонтальний зсув вітру вимірюється в метрах за секунду на 600 м відстані.

Зсув вітру є показником стану атмосфери, здатної викликати турбулентність літака й навіть загрожувати безпеці польотів.

Турбулентність, може виникати за наступних умов:

- у нижньому приземному шарі через неоднакове нагрівання земної поверхні, тертя повітряного потоку об поверхню землі;
- під час перетинання інверсійних шарів (у зоні тропопаузи й у зоні інверсії над поверхнею землі);
- у зоні атмосферних фронтів;
- під час входження в хмарність (виділяється тепло конденсації);
- у гірській місцевості (гірські хвилі й вихрі на підвітренній стороні);
- у зоні струминної течії (вертикальний градієнт швидкості вітру $>10\text{ м/с}$ на 1 км висоти й зміна напрямку вітру >15 градусів на 1 км висоти);
- у зонах сходження та розходження повітряних потоків;
- у турбулентному (супутньому) сліді іншого ПС.

1.2. Історія досліджень турбулентності супутнього сліду

Турбулентність у сліді є природним побічним продуктом польоту з двигуном, але до кінця 1960-х років не вважалася серйозною небезпекою. Хаотичні переміщення або турбулентність, пов'язані з іншими літаками, зазвичай асоціювалися як «промивка», а пізніше — «струменева промивка». Інтерес до цього явища значно зріс із появою великих широкофюзеляжних турбореактивних літаків наприкінці 1960-х років із занепокоєнням щодо впливу більшої турбулентності в сліді. Це стало поштовхом для проведення досліджень, щоб отримати додаткову інформацію та визначити, які заходи щодо безпеки

були необхідні, оскільки все більше і більше великих літаків входило до повітряних флотів.

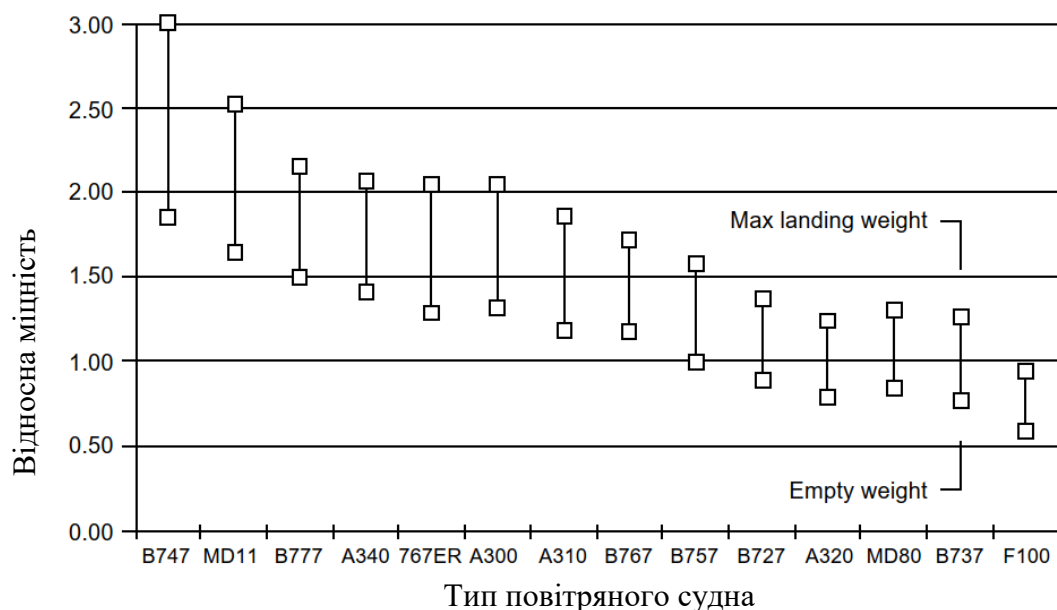
Дослідження явища турбулентності, проведене Boeing у середині 1969 року в рамках програми випробувань Федеральної авіаційне управління США (Federal Aviation Administration – FAA), включало як аналіз, так і обмежені льотні випробування, а також отримано більш детальну інформацію про вихори в сліді. Льотні випробування передбачалися прямими порівняння між B-747 і представником поточного парку реактивних літаків B-707-320C. Найменший реактивний літак Boeing, B-737-100 використовувався як основний літак для дослідження турбулентності разом із F-86 і NASA CV-990. Димові вежі також використовувалися для спостереження за турбулентністю в кільватерному сліді, яку створюють літаки, які пролітають повз [10]. Було зроблено декілька зауважень:

- Сила турбулентності в сліді залежить від ваги, швидкості та розмаху крил літака.
- Найбільша сила виникає, коли літальний апарат, що генерує турбулентний слід, важкий, на низькій швидкості з чистою конфігурацією крила.

Початкові льотні випробування дали достатньо інформації про силу, тривалість і рух турбулентного сліду, щоб зробити висновки та рекомендації щодо того, як цього уникнути. Спостерігалось, що слід спочатку рухається вниз, а потім вирівнюється. Він ніколи не зустрічався на тому ж рівні польоту, що й літак-генератор, або більше ніж на 900 футів нижче від літака-генератора. Таким чином, літальний апарат, який йде за ним, може уникнути турбулентності в кільватерному сліді, пролетівши над траєкторією польоту літака, що йде вперед. Хоча це можна зробити у візуальних умовах, для інструментальних метеорологічних умов була розроблена альтернатива. Літаки були розподілені за категоріями, визначеними їхньою повною вагою. Зазначалося, що поділ за розмахом крил наступного літака був більш технічно правильним способом встановлення категорій; однак, це не здавалося простим методом. Так як є кореляція між загальною вагою літака та розмахом крил, загальна вага була обрана як засіб класифікації літака та турбулентності сила. Мінімальні радіолокаційні дистанції поділу турбулентності були встановлені для наступних ПС.

Відстань ешелонування залежить від ваги як лідируючого, так і наступного літака. Коригування відстаней ешелонування було зроблено коли більше інформації про явище турбулентності в кільватерному сліді було отримано протягом 1960-х, 1980-х і 1990-х років, але основна концепція використання ваг літака залишалася незмінною.

Спочатку турбореактивні двигуни, які вироблялися, чітко вписувалися в окремі категорії з логічними точками розриву. Наприклад, важкі літаки, такі як Boeing B-747, Lockheed L-1011 і Douglas DC-10, явно були в окремому класі. Було дуже мало повітряних суден регіонального або ділового класу. Сьогодні існує майже континуум розмірів літаків, оскільки виробники розробили концепцію «сімейства літаків» і випустили багато нових транспортних і корпоративних літаків. Завдяки вдосконаленій технології виробляються більш важкі літаки з кращими характеристиками, що дозволяє використовувати коротші ЗПС, що раніше могли використовуватися лише меншими літаками. Крім того, поєднання регіональних літаків із важкими реактивними літаками в кооперації з уже активною популяцією приватних та рекреаційних літаків призводить до діапазону потужності кільватерної турбулентності, що створюється та потенційно зустрічається великою різноманітністю ПС (рис. 1.1).



* Відносна міцність — це зміна міцності між максимальною посадковою вагою та порожньою вагою відносно B-737 із середньою вагою між його максимальною вагою та порожньою вагою.

Рисунок 1.1. – Розрахована початкова сила вихору [10]

1.3. Моделювання руху літака/супутнього сліду

Оцінка небезпеки зіткнень із супутнім слідом була досліджена експериментальними льотними випробуваннями та моделюванням. На рисунку 1.2 зображено три потенційні зустрічі літаків із супутнім слідом.

Тип порушення, яке може виникнути, залежить від того, як літак проникає в кільватерний слід. McGowan [12] досліджував вплив на літак, що перетинає перпендикулярно сліду вихрового сліду іншого літака. Його аналіз показав, що перетин сліду таким чином може призвести до значних структурних навантажень під час зіткнення з слідом. Якщо літак летить між завихреннями (тобто в області низхідного потоку), літак, що проникає, зазнає зниження швидкості набору висоти (для літака, що набирає висоту), або збільшення швидкості зниження для літака, що знижується. Останнє зіткнення, зображене на рисунку 1.2, відбувається, коли літак проникає вздовж осі вихору. Поле швидкості вихрового сліду створює момент крену на літак, що проникає. Вважається, що цей тип зіткнення є найнебезпечнішим, оскільки вихор може спричинити великий крен, що було б неприйнятним на низькій висоті. Результати льотних випробувань показали, що відносно великі літаки можуть бути не чутливі до значних відхилень від крену. [13 - 15]

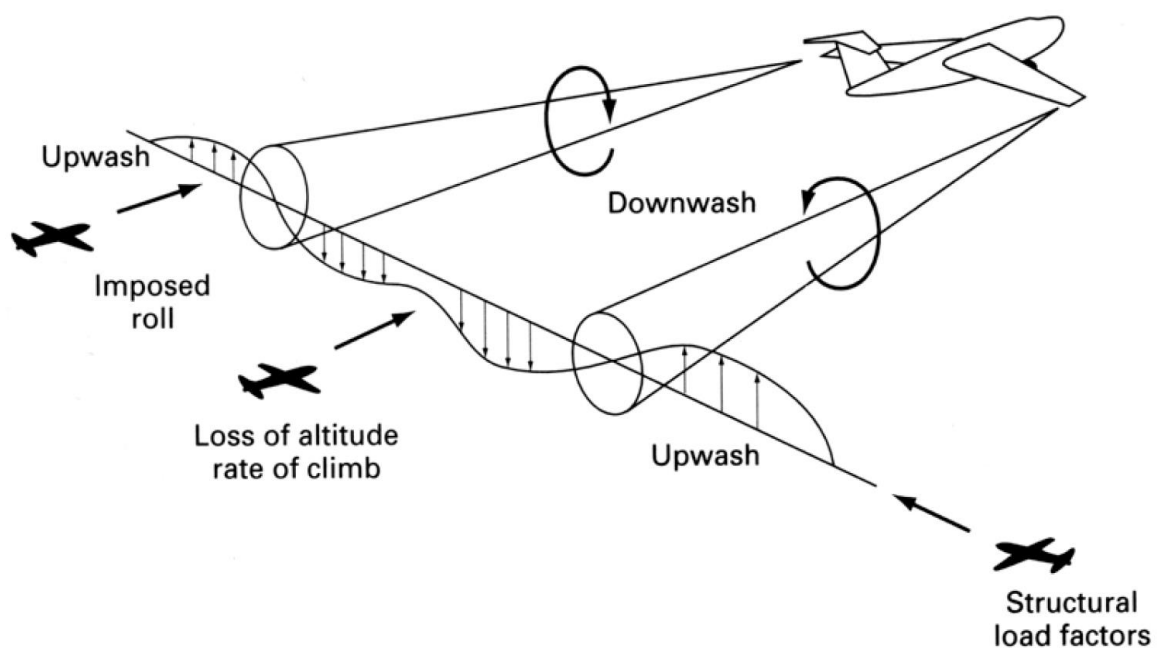


Рисунок 1.2. – Можливі зустрічі з турбулентним слідом [11, 12]

Для оцінки небезпеки вихору було використано комп'ютерне моделювання зіткнення літака/вихрового сліду. Це моделювання, як правило, включає в себе модель шести ступенів свободи проникаючого літака, метод оцінки вихрових навантажень на крило та оперення, а також математичну модель системи пілота та/або автопілота. Відстаючий вихровий слід зазвичай представляється як пара прямих вихрових ниток і модель розпаду вихору. Вихрові навантаження розраховуються за допомогою модифікованої лінії підйому або теорії стрічки. Поверхні підйому зазвичай діляться на серії сегментів, і нормальна складова індукованої швидкості на кожному сегменті визначається за допомогою закону Біо-Савара. Нормальна швидкість, викликана вихором, змінює місцевий кут атаки на кожному сегменті, створюючи зміну навантаження на літак. Потім сили та моменти використовуються в рівняннях руху літака для обчислення траєкторії літака для наступного кроку в часі [11].

Моделювання зіткнень із слідом показало, що величина коливання дуже залежить від:

- кута входу в вихрову систему;
- розміру літака, що проникає, відносного до генеруючого, і
- сили вихрового сліду.

Крім того, моделювання також показало, що система керування пілотом або автопілотом може погіршити рух. Хоча підхід теорії смуг до моделювання аеродинамічних навантажень, спричинених вихровими рухами, спочатку може здатися неточним методом, більш ранні дослідження навантажень, спричинених вихровими рухами, показали, що теорія смугових навантажень може давати точні результати.

Техніка була оцінена з використанням експериментальних даних, отриманих у Національному повномасштабному аеродинамічному комплексі (NFAC) у дослідницькому центрі NASA Ames.

Випробувальна установка складалася з моделі літака, розташованої у верхній частині випробувальної секції, за якою слідувала модель крила, розташована нижче за течією моделі літака. Нижче за течією крило було

встановлено на опорі жала, яка могла розташувати крило в різних місцях у вихровому сліді. Підйомну силу, спричинену вихором, і момент обертання вимірювали за допомогою внутрішньої ваги. Крім того, вимірювання гарячим дротом розподілу швидкості в сліді генераторного літака були зроблені в кількох місцях нижче за течією, що відповідає тому, де проводилися вимірювання індукованого крену. На рисунку 1.3 показано порівняння теорії смуги з експериментально визначеними вимірюваннями моменту крену, викликаного вихровим рухом. Використовуючи виміряні дані поля швидкості та геометричні характеристики крила, було обчислено оцінки як підйомної сили крила, так і моменту обертання як функції положення крила в сліді. Оцінки теорії смуги чітко забезпечують хорошу оцінку вихрових навантажень. Подібні сприятливі результати були отримані для оцінки коефіцієнта підйомної сили на крилі, коли воно проходило вихровий слід.

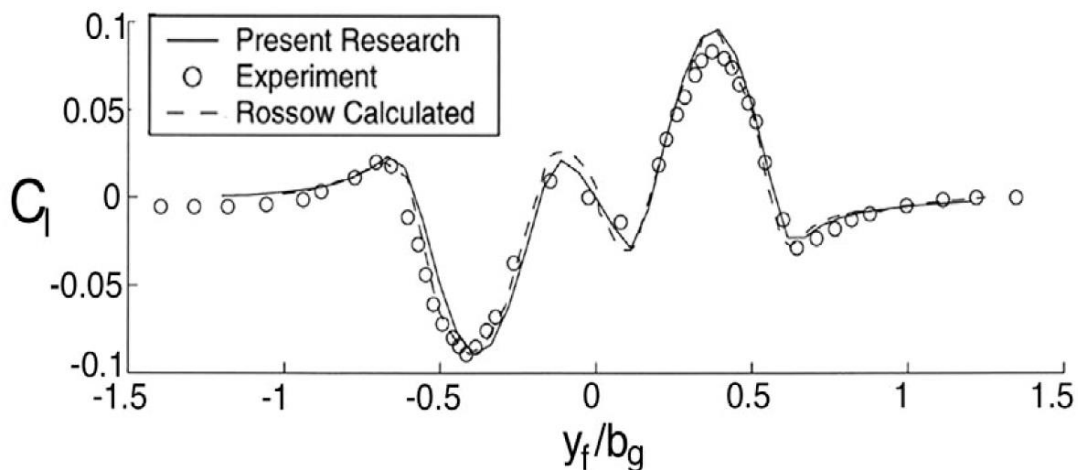


Рисунок 1.3. – Прогнозований коефіцієнт моменту обертання, викликаного вихором, порівняно з експериментальними даними [16]

Справжня корисність комп'ютерного моделювання проблеми зіткнення з літаком/слідом полягає в тому, щоб мати можливість вивчити широкий діапазон можливих зіткнень, щоб можна було ідентифікувати потенційно небезпечні зіткнення. Нам потрібно покращити моделювання кільватерного сліду літака принаймні в двох областях, якщо ми хочемо мати можливість ідентифікувати критичні сценарії польоту. Одним із основних обмежень у більшості попередніх симуляцій є обмеження на геометрію сліду. У цих попередніх дослідженнях

прямий кільватерний слід мав сенс, оскільки ці дослідження моделювання були зосереджені на заходах на посадку зльоту та посадки, де траєкторія польоту обмежена. Однак, за межами коридорів зльоту та посадки більш імовірно, що літак, що проникає, натрапить на кільватерний слід із сильно спотвореною геометрією. Крім того, слід контролювати навантаження на всі підйомні поверхні та порівнювати їх із структурними обмеженнями навантаження. [16]

1.4. Аналіз сучасних систем виявлення вихрового сліду

У поточних операціях аеропорту небезпека місцевого вітру визначається місцевим прогнозом погоди, поверхневими вимірюваннями на місці та/або метеорологічними радарми, які надають інформацію про профілі вітру, швидкість вітру, напрямок вітру та зсув вітру. Швидкість і напрям приземного вітру отримують за допомогою мережі анемометрів. В аеропортах, де зсув вітру викликає занепокоєння, використовується система оповіщення про зсув вітру низького рівня (Low-Level Wind Shear Alert System – LLWAS), яка використовує мережу анемометрів навколо аеропортів для оцінки горизонтального зсуву вітру. Доплерівські метеорологічні радары були розроблені в різних діапазонах (C, S, X), які можуть виявляти небезпечний зсув вітру, але через їхній принцип вимірювання вони вимагають достатніх відбивачів, що робить їх доступними переважно під час дощу, а не під час ясної погоди.

У вдосконалених концепціях динамічного ешелонування необхідні точні та часті спостереження за вітром та інтенсивністю турбулентності в певних областях, таких як траєкторії заходу на посадку та зльоту літака. Вимірювання вітру за допомогою LLWAS і звукового анемометра на місці обмежені для цієї мети, оскільки вони представляють наземні вимірювання, яким бракує репрезентативності, необхідної для зони маневрування. Для отримання точної інформації про вітер на великих висотах бажано проводити вимірювання вздовж траєкторії заходу на посадку та зльоту літака. Крім того, для вдосконалення моделей чисельного прогнозування погоди (Numerical Weather Prediction – NWP) потрібно більше спостережень для асиміляції даних [18].

Міжнародний аеропорт Гонконгу

У міжнародному аеропорту Гонконгу було проведено ряд експериментів з виявлення супутнього сліду за допомогою доплерівського лідара. Під час визначення супутнього сліду лідар Windcube 200s, параметри якого наведено в таблиці 1.1, був тимчасово встановлений на даху Asia World-Expo (приблизно 19 м над землею) для спостереження за північною ЗПС (25 RA) НКІА на відстані 400 м на південь (рис. 1.4). Лідар по черзі сканує вгору та вниз у площині, перпендикулярній до злітно-посадкової смуги, і виводить доплерівські швидкості у формі РНІ (рис. 1.5). [9].

(a)



(b)

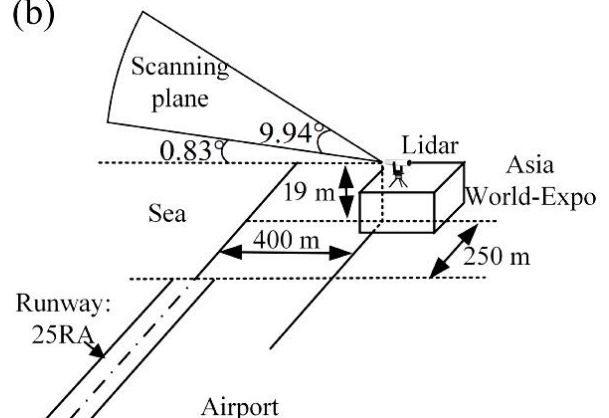


Рисунок 1.4. – Макет Лідара та північної злітно-посадкової смуги (25RA) у НКІА, де вертикальна площина сканування є суцільною лінією червоного кольору (a), і детальне налаштування Лідара (b). [9]

Таблиця 1.1. – Основні параметри імпульсного Лідара в НКІА

Параметри	Значення за умовчанням
Довжина хвилі (мкм)	1,54
Тривалість імпульсу (нс)	200
Частота повторення імпульсів (кГц)	20
Дальність (м)	[50, 6000]
Кут підйому (°)	[0,83, 10,77]
Кутова роздільна здатність (°)	0,43
Швидкість сканування (°/с)	1,87 (вгору), -1,87 (вниз)

На рисунку 1.5 показано розподіл виміряної доплерівської швидкості в 07:17:46–07:17:51 (UTC) 3 серпня 2014 р. Відстань між центральною лінією регіону ① та лідаром становить 375 м, а ширина регіону ① та Ділянка ② встановлена як 225 м і 200 м відповідно. Початкові положення для вихрових ядер символи Δ і O на рис. 1.5.

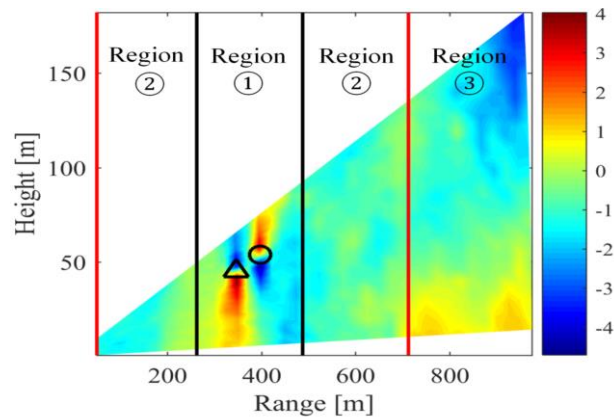
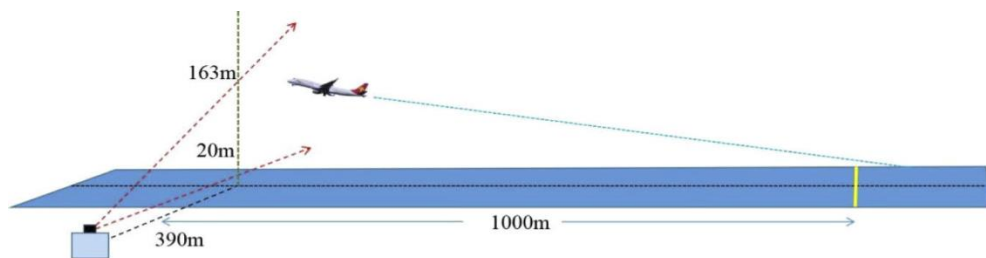


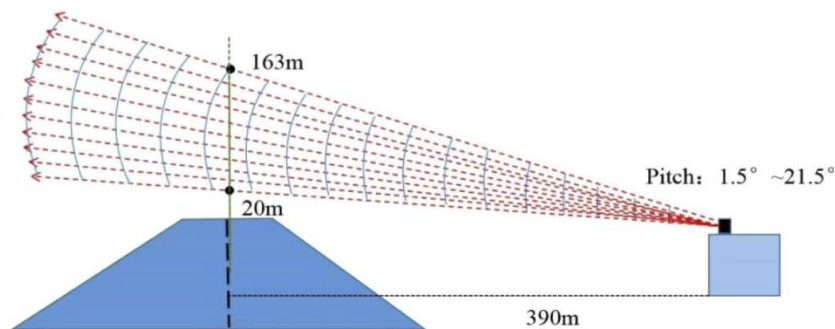
Рисунок 1.5. – Доплерівська швидкість RHI вихрового сліду, отримана в НКІА о 07:17:46–07:17:51 (UTC 3 серпня 2014 р., де початок координат – позиція Лідара (на висоті 19 м до землі)). [9]

Міжнародний аеропорт Циндао

У листопаді 2018 року компанія Tsingtao HuaHang Lidar провела серію досліджень у міжнародному аеропорту Цінтао Лютін за допомогою доплерівського лідара (WindPrint S4000). Лідар тривалість імпульсу 200 нс, довжина хвилі 1,55 мкм. Його встановили на балконі метеорологічної обсерваторії (приблизно 10 м над землею) для спостереження за ЗПС на відстані 390 м (рис. 1.6). Один із отриманих RHI радіальної швидкості в дослідженні показаний на рис. 1.7



(a) View angle 1



(b) View angle 2

Рисунок 1.6. – Геометрична схема спостереження в міжнародному аеропорту Циндао Лютін, 2018 рік [9]

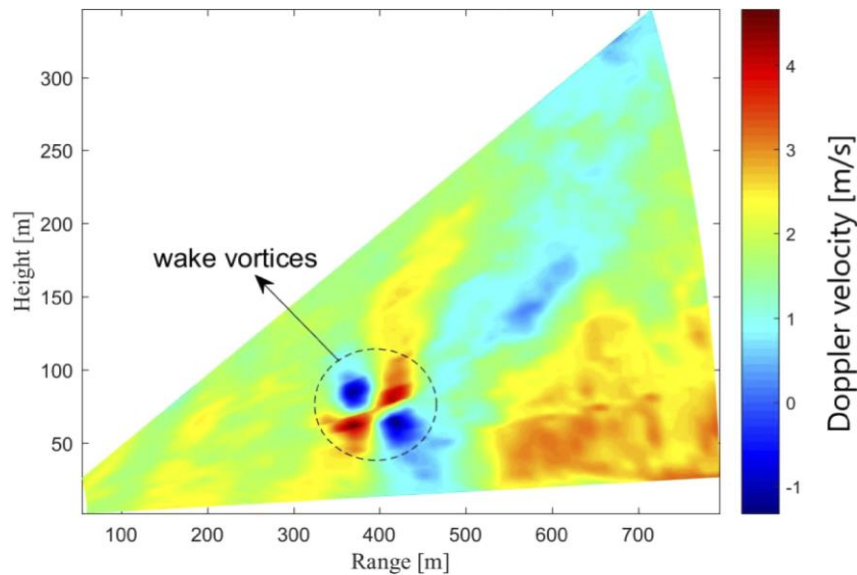


Рисунок 1.7. – Приклад розподілу радіальних швидкостей вихорів у кільватерному кільватері, які спостерігалися в Циндао в 2018 році. [9]

Траєкторії вихрового ядра та циркуляції методу РІ для двох випадків посадки літаків ((a) – Airbus A321-100, (b) – Airbus A330-300) показані на рис. 1.8. На рисунку 1.7, помічено, що ядро вихору добре розташоване, а траєкторії досить плавні.

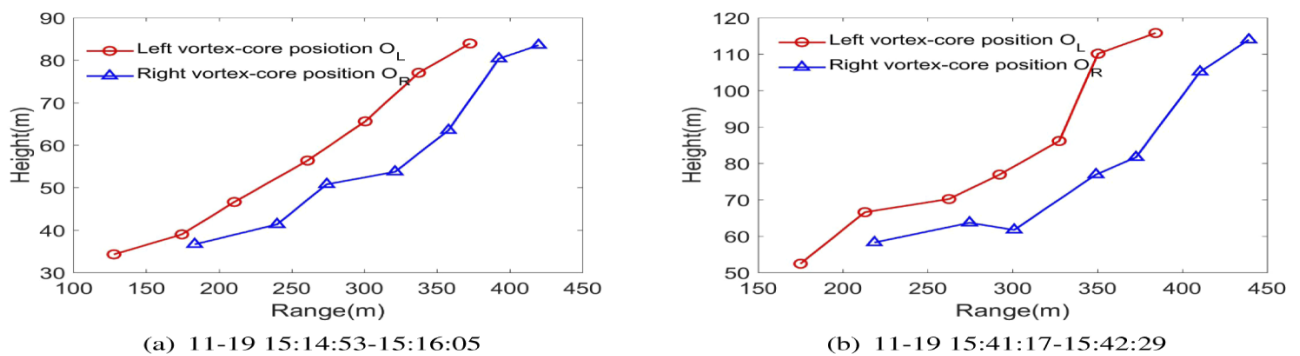


Рисунок 1.8. – Результати визначення місцезнаходження ядра Vortex для двох випадків, які спостерігалися в міжнародному аеропорту Циндао в 2018 році.

Проект ультрашвидких датчиків вітру

Проект ультрашвидких датчиків вітру (Ultrafast Wind Sensors – UFO) був запущений для розробки унікального складу датчиків визначення вектора вітру та систем вимірювання інтенсивності турбулентності для пом'якшення небезпеки вихрового сліду. Першою метою проекту UFO є визначення та розробка оптимальної комбінації вдосконалених систем вимірювання, яка

1) дозволяє спостерігати вектори вітру та інтенсивність турбулентності за будь-яких погодних умов і

2) задовольняє поточні та майбутні вимоги до моніторингу небезпеки вітру та турбулентності. в авіації, включаючи передові концепції динамічного поділу на відстані.

Складність тут полягає в тому, що наземні дистанційні датчики мають внутрішні обмеження щодо точності, діапазону та доступності даних за різних погодних умов. Друга мета проекту UFO полягає у визначенні того, як використовувати ці вимірювання для покращення місцевих прогнозів погоди, що передбачає моделі NWP з вищою роздільною здатністю, ніж ті, які зараз використовуються в роботі [18, 19].

Вимірювальні системи, які використовуються в проекті UFO (рис. 1.9):

- 1) електронний скануючий радар X-діапазону,
- 2) скануючий когерентний доплерівський лідар на 1,5 мкм,
- 3) профільний радар X-діапазону,
- 4) профільний радар лідар і
- 5) низхідні лінії зв'язку Mode-S.



Рисунок 1.9. – Системи вимірювання в проекті UFO: а) скануючий радар Thales X-діапазону; б) скануючий лідар Leosphere і с) профільний радар CURIE X-діапазону. [18]

Лідар (Light Identification, Detection and Ranging – LIDAR) — технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Лідар як прилад являє собою, як мінімум, активний далекомір оптичного діапазону. Скануючі лідари в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору. «Атмосферні» лідари здатні

не тільки визначати відстані до непрозорих цілей, що відбивають світло, а й аналізувати властивості прозорого середовища, що розсіює світло. Різновидом атмосферних лідарів є доплерівські лідари, що визначають напрямок і швидкість переміщення повітряних потоків в різних шарах атмосфери.

Запропонована комбінація систем вимірювання небезпеки вітру UFO

Рівні продуктивності скануючого радара та скануючого лідара були вивчені для різних діапазонів (відстаней до приладів) шляхом моделювання та аналізу даних, щоб визначити, за яких метеорологічних обставин їх можна використовувати для отримання векторів вітру та EDR, і як вони можуть працювати разом. Ефективність схематично зображена на рис. 1.5 як функція видимості та кількості опадів. Під час вимірювань радар X-діапазону можна було використовувати за будь-яких дощових умов для отримання EDR і векторів вітру на необхідному діапазоні 10 км, а не під час ясного повітря. Ефективність діапазону лідара в основному залежить від вмісту аерозолю, який можна виразити через метеорологічну видимість і кількість опадів. Оскільки існує прямий зв'язок між видимістю та атмосферним згасанням, ослаблення сигналу лідара приблизно пропорційне видимості. Це означає, що в умовах ясного повітря (видимість вище 10 км і низьке затухання) діапазон вимірювань лідара перевищує 10 км. У разі помірного ослаблення (низька видимість/невеликий дощ) діапазон вимірювань лідара зменшується. На рис. 1.10 області, де скануючий лідар можна використовувати для оцінки векторів вітру та EDR, відображені відповідно світло-зеленим кольором (діапазон >2 км), зеленим (діапазон >6 км) і темно-зеленим (> діапазон 10 км).

Дослідження ефективності підтвердили, що в дощову погоду скануючий радар X-діапазону буде кращим варіантом вибору, а скануючий лідар краще використовувати в умовах ясного повітря. Аналіз даних, зібраних під час випробування в Тулузі, привів до таких висновків: 1) в умовах ясного повітря лідарні вимірювання на відстані від 7 до 10 км корисні протягом приблизно 50% усього часу вимірювання, і 2) у разі невеликий дощ (до 2,5 мм/год), діапазон лідара може бути зменшений до 36%. Нижче 0,5 мм/год зменшення дальності

набагато менше. Для невеликого дощу скануючий радар і лідар мають спільну зону вимірювань, яка досягає максимальної дальності лідара для таких випадків (~6 км). У разі помірного та сильного дощу радіус дії лідара зменшується щонайменше на 80%. Тим не менш, діапазон лідара може бути корисним для доповнення радару для вимірювань поблизу розташування приладів, де радар не може вимірювати через мінімальний діапазон вимірювання.

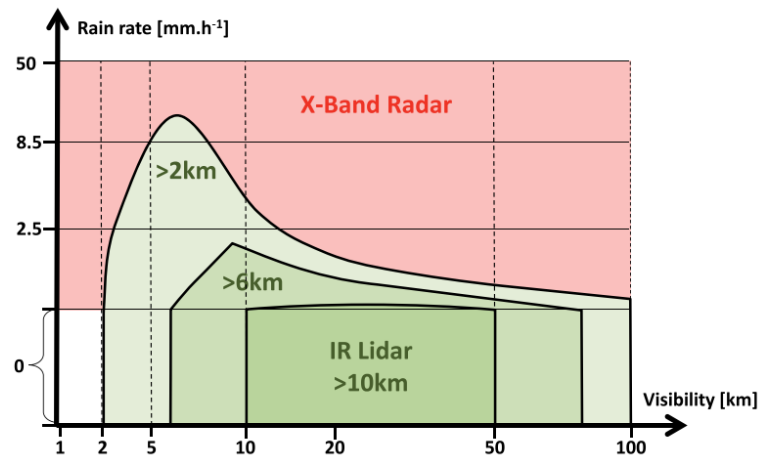


Рисунок 1.10 – Робота скануючого лідара та скануючого радару за різних погодних умов. [18]

Для радару можна зробити висновок, що 1) у чистому повітрі радіус дії обмежений кількома кілометрами, і 2) у разі сильного дощу радіус дії обмежений загасанням, але для інтенсивності дощу до 75 мм/год максимальна дальність достатня для об'єктів системи вимірювання UFO (10 км). На цьому місці ясно повітря відповідає 90% погодних умов, а умови з кількістю дощу понад 1,1 мм/год відповідають 1%. Що стосується моделей NWP, майбутня синергія систем вимірювання небезпеки вітру UFO підсумована на рис. 1.11.

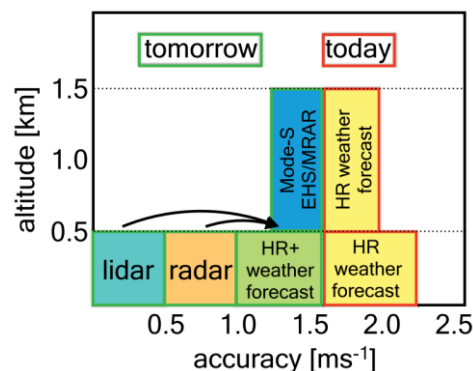


Рисунок 1.11. – Майбутня синергія систем вимірювання небезпеки вітру НЛО з урахуванням моделей NWP. [18]

Точність радіолокаційних оцінок CURIE X-діапазону залежить від рівня EDR, а недооцінка EDR за радіолокаційними значеннями зростає зі зменшенням EDR. Радарне моделювання показало, що EDR можна точно оцінити за доплерівським спектром зворотного розсіяного сигналу для значень $EDR^{1/3}$, вищих за $0,15 \text{ м}^{2/3} \text{ с}^{-1}$ для цього приладу. Крім того, вертикальні профілі EDR, отримані радіолокаційним профайлером CURIE та лідарним профайлером, також продемонстрували хорошу взаємну роботу. [18]

1.5. Авіаційні інциденти та катастрофи пов'язані з турбулентним слідом

Нещодавнє дослідження аварій літаків, де можливою причиною підозрювалося зіткнення з вихровим слідом, показує, що, можливо, настав час перевірити експлуатаційні процедури за межами коридорів зльоту та посадки.

Процедури, які використовуються для керування літаками в коридорах зльоту та посадки, забезпечили комерційній авіації високий рівень безпеки від зіткнень із супутнім слідом, що створює літак. Експлуатаційні процедури в коридорах зльоту та посадки розроблені таким чином, щоб уникнути зустрічей у кільватері. Однак питання турбулентності в сліді необхідно переглянути за межами коридорів зльоту та посадки.

Була низка інцидентів та аварій комерційних літаків зі смертельними наслідками, у яких як можливу причину або фактор, що сприяв аварії, припускали, що були збої в кільватерному руслі.

Національна рада з безпеки на транспорті (NTSB) досліджує широкий спектр можливих причин під час розслідування авіакатастроф. Багато теорій розглядаються, і врешті-решт, якщо є достатньо інформації з місця аварії, слідчі групи NTSB можуть визначити найбільш імовірну причину аварії.

Приклад 1. Gulfstream IV вилетів із Нью-Джерсі у звичайну нічну подорож до Флориди з 3 членами екіпажу та 2 пасажирями. Погода була ясною з необмеженою видимістю та рівним повітрям. Під час повільного зниження для посадки приблизно на ешелоні польоту 250 диспетчер повідомив пілоту, що він може побачити рух іншого ПС справа наліво. Пілот Gulfstream помітив рух далеко

попереду. Приблизно на висоті 15 000 футів і швидкості 300 вузлів пілот Gulfstream повідомив, що він відчував, ніби «вдарився об бетонну стіну товщиною 20 футів на швидкості 300 вузлів». Постраждали бортпровідник і пасажирів. Пасажирів відкинуло до стелі та впали на підлогу. Літак був перевірений на наявність пошкоджень і безперешкодно приземлився.

Приклад 2. Катастрофа рейсу 587 American Airlines

Катастрофа A300 у Нью-Йорку – велика авіаційна катастрофа, що сталася у понеділок 12 листопада 2001 року. Авіалайнер Airbus A300B4-605R авіакомпанії American Airlines здійснював плановий рейс AA587 за маршрутом Нью-Йорк—Санто-Домінго, але через 1 хвилину та 46 секунд після зльоту потрапив у супутній слід від іншого літака, внаслідок чого стався відрив вертикального хвостового стабілізатора. Некерований лайнер впав на житловий район боро Квінс у Нью-Йорку. У катастрофі загинули 265 людей — усі 260 осіб, що знаходилися на борту літака (251 пасажир і 9 членів екіпажу) і 5 осіб на землі.

Незабаром після зльоту рейс 587 зіткнувся з турбулентністю рейсу 47 авіакомпанії Japan Air Lines — спочатку о 09:15:36 і знову о 09:15:51. Одразу після початку другої турбулентності рейсу 587 (приблизно за 7 секунд до відриву вертикального стабілізатора) FDR зафіксував серію з п'яти циклічних рухів керма та педалей керма. Розслідування Ради безпеки не виявило жодних ознак механічної несправності, яка могла спричинити ці рухи.

На рисунку 1.12 показано траєкторію польоту рейсу 587 від зльоту до зіткнення з траєкторією рейсу 47 Japan Air Lines, а на рисунку 1.13 показано траєкторію польоту рейсу 587, накладену на топографічну карту, разом із ключовими подіями [17].

Остаточний звіт розслідування NTSB було опубліковано 24 жовтня 2004 року. Згідно з звітом, причинами катастрофи рейсу AA 587 стали попадання літака в супутній слід від японського Boeing 747-400, помилкові дії другого пілота і висока чутливість керма на пряму лайнера до педалів керуючих дій.

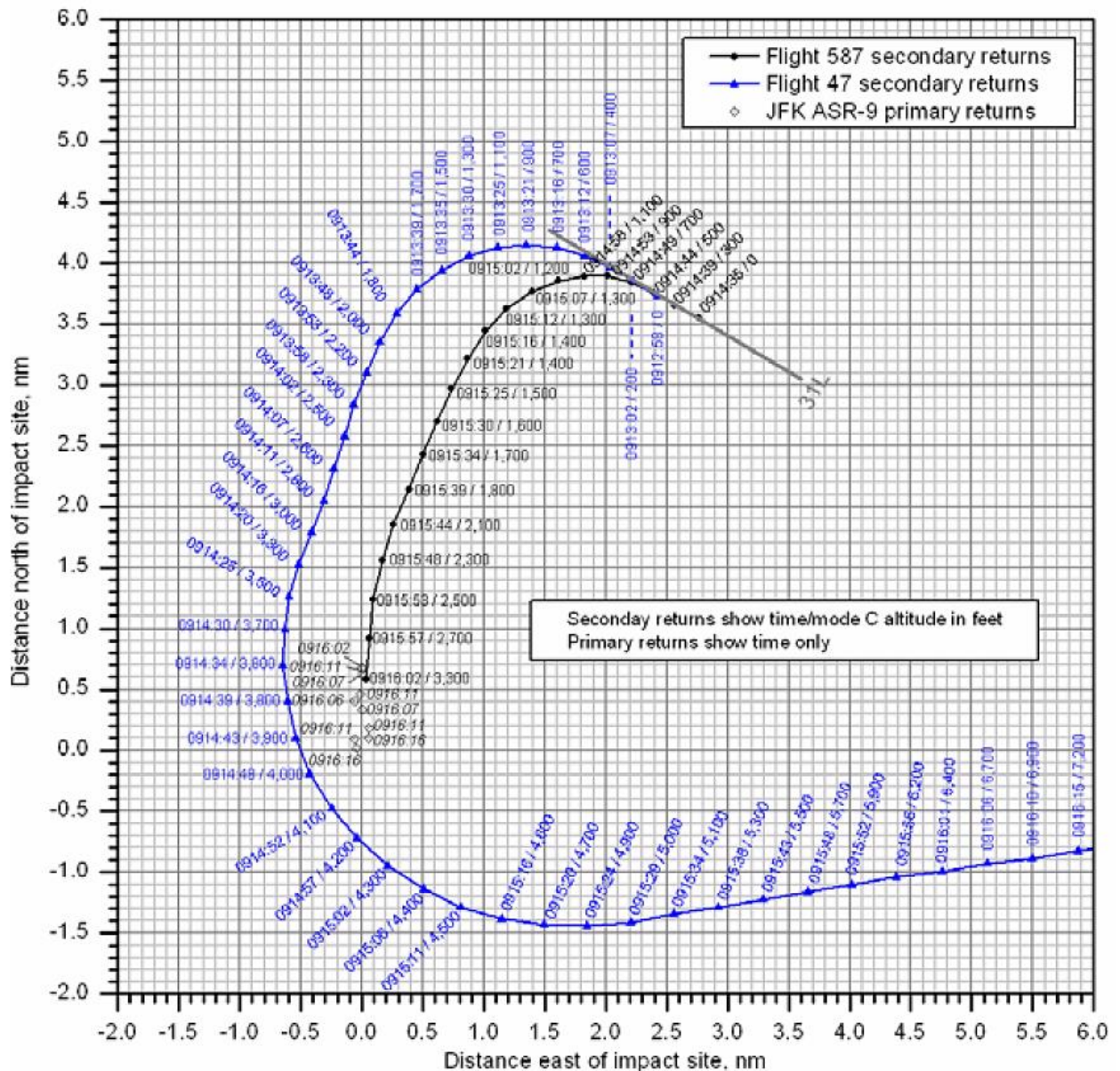


Рисунок 1.12. – Маршрути рейсу 587 American Airlines і 47 Japan Airlines

Через збільшення повітряного руху, а також через різницю в розмірі комерційних літаків, потрібно вивчити ризик турбулентності за межами коридорів зльоту та посадки. Єдина річ, якої необхідно навчитися з аварії A300, полягає в тому, що потрібно розширити перспективу в пошуках потенційної небезпеки в сліді. Незважаючи на те, що навантаження, спричинене турбулентним слідом, на вертикальне оперення було нижчим за структурну межу, поєднання коригувальних дій пілота з кермом призвело до навантажень, які призвели до відмови хвостового оперення. Цей сценарій просто не розглядався в минулому. Основна увага була зосереджена на оцінці величини прямолінійного поширення вихору, де небезпека полягала б у зміні крену. У випадку такого літака, як A300,

симуляція передбачила б лише невеликий крен, яким пілот міг би легко керувати. Очевидно, що необхідно переглянути типи небезпечних сценаріїв, які можуть виникнути за межами коридорів зльоту та посадки.

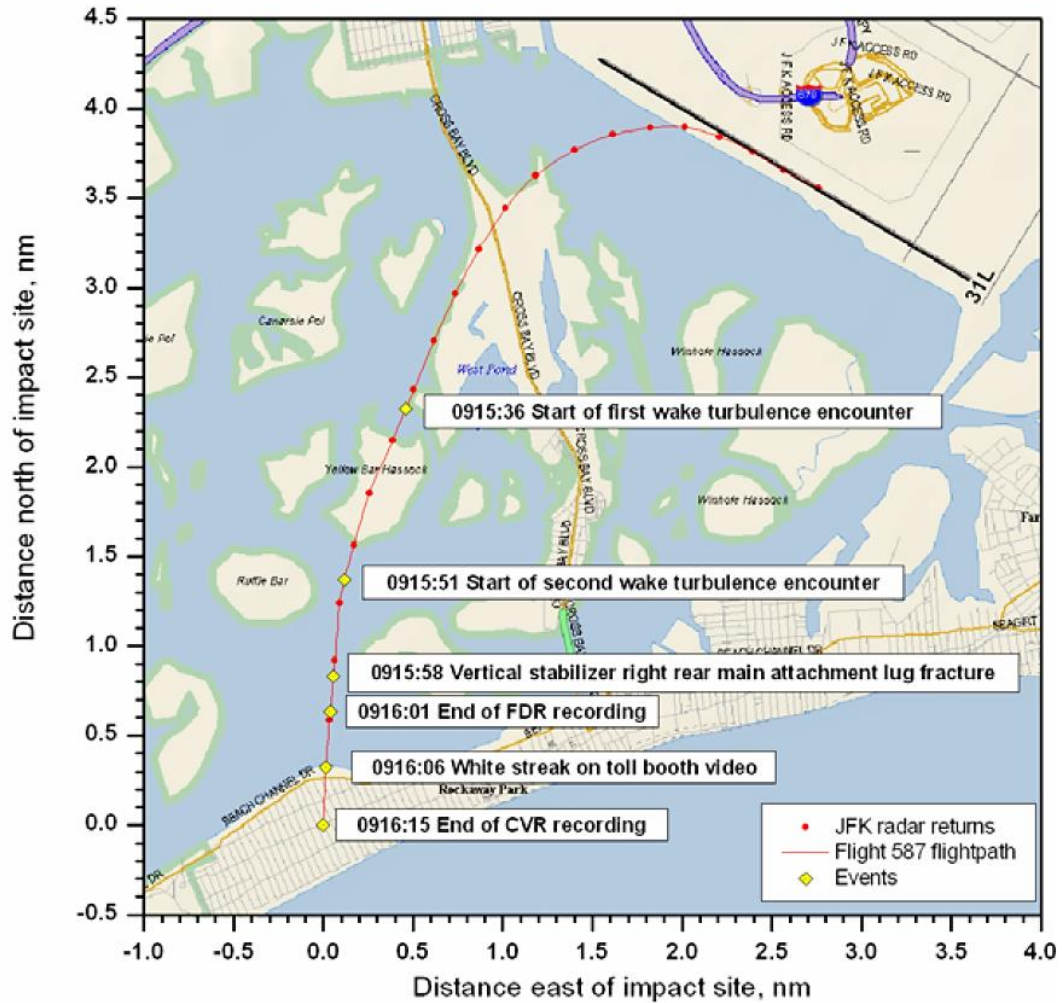


Рисунок 1.13. – Маршрут польоту рейсу 587 і ключові події

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Кожен літак створює турбулентність у своєму кільватері. Для літака з фіксованим крилом ця турбулентність згортається в пару узгоджених вихорів, що обертаються протилежно, які можуть зберігатися протягом кількох хвилин поблизу траєкторії польоту літака, рухаючись загалом вниз і вбік із вітром. Це створює потенційну небезпеку для безпечного польоту іншого літака, який перетинає або виконує політ нижче траєкторії літака-генератора, і зустрічається з його вихором. Інтенсивність вихору та час розсіювання залежать від таких факторів, як вага, розмір і швидкість літака, а також від переважаючих атмосферних умов. Фактором ризику також є відносний розмір і вага літака-генератора порівняно з літаком, що постраждав. Зіткнення з турбулентністю в сліді може відбуватися на будь-якому етапі польоту. Мінімуми ешелонування спрямовані на те, щоб такі зіткнення не спричиняли ризику, але слід зазначити, що ці положення не повністю запобігатимуть зустрічам у кільватері.

Комп'ютерне моделювання зіткнення літака з турбулентним слідом пропонує найефективніший спосіб вивчення потенційних небезпек. Симуляція повинна включати: дії пілота та/або автопілота та змінна геометрія сліду.

На крейсерській висоті момент обертання, викликаний вихором, може бути таким же великим, як і той, що створюється при заходженні на посадку.

Експерименти показали, що як радар, так і лідар-профайлери мають змогу постійно контролювати атмосферу та демонструвати щоденний цикл турбулентності та, таким чином, забезпечували цінні оцінки EDR. Зокрема, радар CURIE X-діапазону здатний відновлювати інтенсивність турбулентності в умовах ясного повітря, що може покращити усвідомлення небезпек, спричинених турбулентністю. Логічним наступним кроком для подальшого підвищення довіри до дистанційних датчиків є розгортання довгострокового проекту в аеропорту та тестування цих вимірювальних систем за різноманітних погодних умов, включаючи порівняння векторів вітру та EDR з вимірюваннями на місці.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБЕЗПЕКИ ТУРБУЛЕНТНОСТІ

2.1. Утворення кільватерної турбулентності

Явище, яке створює турбулентність у сліді, є результатом сил, які піднімають літак. Повітря під високим тиском з нижньої поверхні крил тече навколо кінчиків крил до області нижчого тиску над крилами. Таким чином, пара протилежних вихорів відходить від крил, правий вихор обертається проти годинникової стрілки, а лівий вихор обертається за годинниковою стрілкою, як показано на рисунку 2.1. У цій області обертового повітря позаду літака виникає турбулентність. Сила турбулентності в основному визначається вагою, розмахом крил і швидкістю літака.

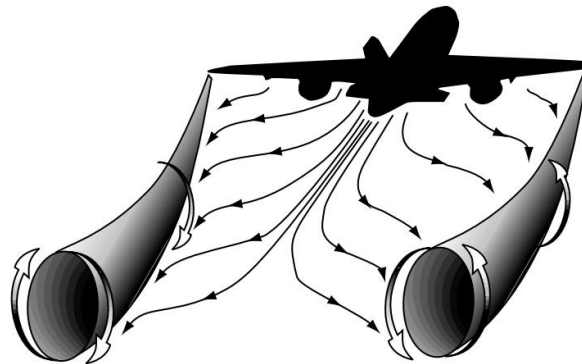


Рисунок 2.1 – Утворення кільватерної турбулентності

Створення вихрового сліду починається, коли носове колесо відривається від злітно-посадкової смуги під час зльоту, і продовжується, поки носове колесо не торкнеться під час посадки.

Розмір: активна частина вихору має дуже малий радіус, не більше кількох метрів. Однак завдяки високій швидкості обертання повітря є багато енергії.

Інтенсивність. Характеристики завихрення, створюваного літальним апаратом під час польоту, спочатку визначаються загальною вагою літака, розмахом крил, конфігурацією та положенням літака. Як правило, чим важчий літак, тим інтенсивнішими будуть вихори. Однак є винятки – наприклад, Boeing 757 генерує особливо інтенсивні вихори в сліді, які вимагають спеціальних мінімумів ешелонування.

Швидкість зниження: у спокійному повітрі вихор опускається повільно. За порядком величини в крейсерському режимі він може бути на 1000 футів нижче та позаду літака-генератора на відстані приблизно 15 морських миль. На більшій відстані від літака-генератора, швидкість зниження стає дуже малою. Під час заходження на посадку зазвичай обмежується приблизно 700 футами. Однак залежно від погодних умов швидкість зниження може суттєво відрізнятись і навіть бути дуже малою. Одним із ключових факторів, що впливає на швидкість зниження, є зміна температури з висотою. Температурна інверсія може обмежити швидкість зниження.

Швидкість затухання. Одним з важливих параметрів вихору в кільватері є зменшення його сили з часом. Швидкість розпаду дещо відрізняється від одного типу літака до іншого, а також на неї впливають умови навколишнього середовища. На жаль, у спокійному повітрі через низькі зовнішні перешкоди швидкість затухання досить низька, тому відстань між літаками має бути більшою. У середовищі на маршруті слід можна зустріти на відстані понад 25 морських миль позаду літака-генератора. Повідомляється про найбільш значні зустрічі на відстані 15 морських миль.

Вплив землі: коли літальний апарат знаходиться близько до землі, менше ніж розмах крил, два вихори мають тенденцію дрейфувати від центральної лінії, кожен у свою сторону, зі швидкістю приблизно від 2 до 3 вузлів. Саме це явище, пов'язане з легким компонентом бокового вітру, має тенденцію «утримувати» вихор «на вітрі» приблизно на центральній лінії, тоді як вихор «за вітром» віддаляється. Затухання вихрового сліду відбувається набагато швидше в приземному шарі порівняно з більш високими рівнями.

Турбулентність у кільватерному сліді, пов'язана з вертольотами, також є результатом повітря під високим тиском на нижній поверхні лопатей гвинта, що тече навколо кінців у область нижчого тиску над лопатями ротора. Зависаючий вертоліт генерує низхідний потік від свого основного ротора (-ів), як показано на рисунку 2.2.

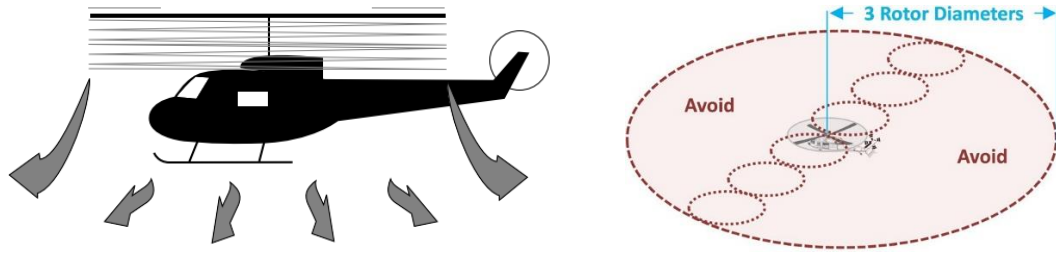


Рисунок 2.2. – Формування турбулентності в сліді гелікоптера (висіння)

Під час польоту вперед пара вихорів, що обертаються вниз, відриваються від лопатей ротора, як показано на рисунку 2.3. У цій області обертового повітря під гелікоптером виникає турбулентність.

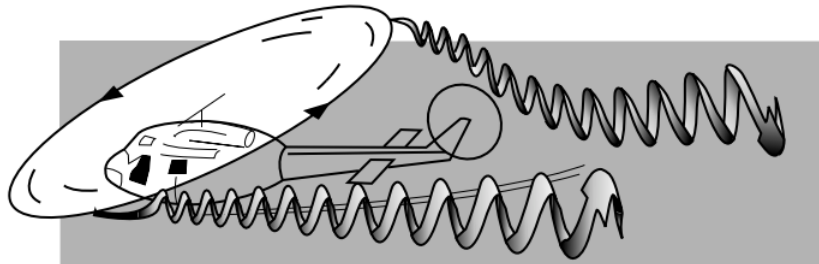


Рисунок 2.3. – Формування турбулентності в сліді гелікоптера (прямий політ)

Ранні теорії до 1970 року, які описували характеристики вихрового сліду літака, були дуже спрощеними. Вони заявляли, що:

- 1) Сила вихору залежала від розміру, ваги та швидкості літака;
- 2) Пара вихорів, як правило, опускалася після генерації і розділялася, коли вони наближалися до землі;
- 3) На вихровий рух суттєво впливав зовнішній вітер.

Відсутність аеродромних випробувань до 1970 року, особливо вихорів поблизу землі, перешкождала глибокому розумінню поведінки вихорів і, зокрема, процесу розпаду. Зараз, галузь визнає, що існує більше факторів, пов'язаних з турбулентністю в сліді.

Багато чого дізналися про характеристики вихорів, але все ще є прогалини в нашому розумінні. Вага, розмах крил і швидкість літака визначають початкову силу і рух вихорів; однак навколишня атмосфера (вітер, стабільність, турбулентність тощо) зрештою визначає рух і швидкість розпаду вихорів.

Поле швидкісного потоку. Загальне поле течії вихору приблизно є круговим потоком і складається з таких областей: Ядро вихору може коливатися від кількох дюймів у діаметрі до кількох футів. Зовнішній край ядра має

максимальну швидкість обертання вихору. Максимальна швидкість ядра може перевищувати 300 футів/сек. Найбільша максимальна міцність виникає, коли літак має чисте крило. Зовнішня область вихору характеризується спадаючим профілем швидкості. Як видно на рисунку 2.4, ця область може досягати 100 футів у діаметрі.

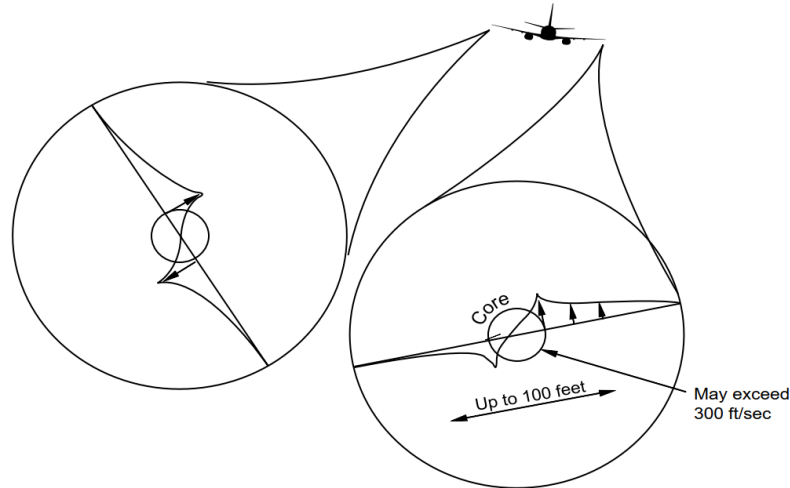


Рисунок 2.4. – Профіль швидкості

Небезпека

Зазвичай небезпека, пов'язана з турбулентністю в сліді, полягає в тому, що викликаний момент обертання, що зустрічається, може перевищувати контроль крену літака. Щоб оцінити викликаний момент обертання, загальний профіль вихору необхідно поєднати з аеродинамічними характеристиками літака. Під час льотних випробувань літаки навмисно входили у вихор важкого літака. Ці випробування показали, що здатність літака протидіяти крену, спричиненому вихором, головним чином залежить від розмаху крил і чутливості керування при зустрічі з літаком (рис. 2.5).

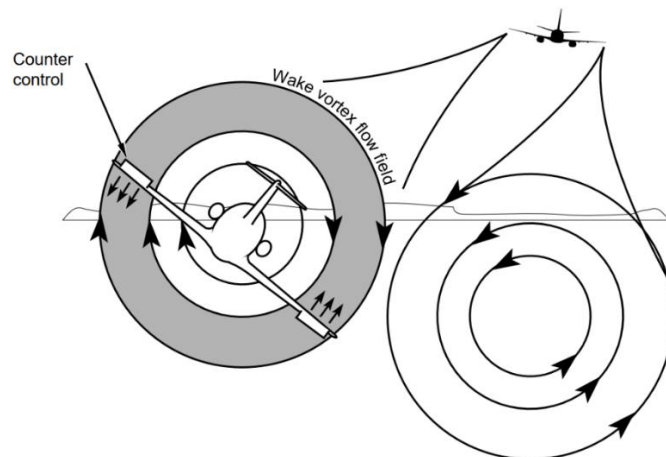


Рисунок 2.5. – Індукований крен

Зустрічний контроль є найефективнішим, а індукований крен мінімальний, коли розмах крил літака, що зустрічається, знаходиться за межами поля обертального потоку вихору. Зустрічний контроль є складнішим для зустрічі літаків з розмахом крил, який відносно коротший, ніж у літака-генератора. Пілоти літальних апаратів з коротким крилом і високопродуктивних літаків повинні бути особливо уважними до зіткнення з вихором.

Реакція літака на звичайну турбулентність в кільватерному сліді проілюстрована нижче на рисунках 2.6 – 2.11. Пілоти також повідомили про зіткнення з «цегляною стіною», коли літак відчуває досить різке зміщення. Схоже, що ці зустрічі відбуваються на шляху, коли літак, що зустрічається, перетинає кільватерну смугу літака-генератора. Коли наближається зверху, низхідний потік між вихорами тягне літак крізь кільватерний слід. Це створює спуск без команди (рисунки 2.6 та 2.7).

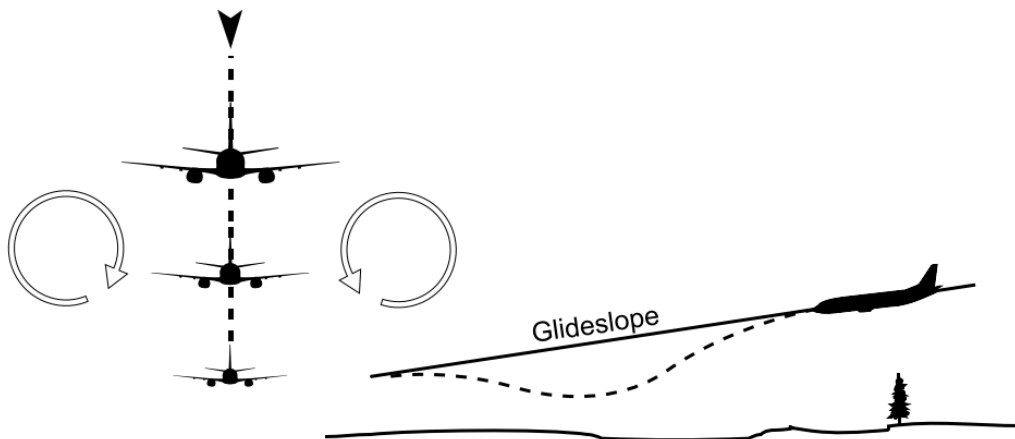


Рисунок 2.6. – Реакція літака на зустріч із турбулентністю, зближення зверху від центру (вид ззаду)

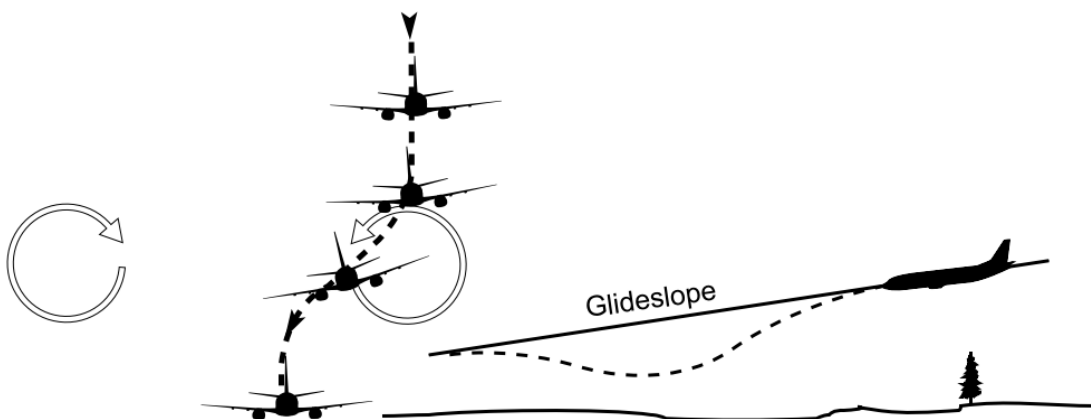


Рисунок 2.7. – Реакція літака на зустріч із турбулентністю, зближення зверху справа (вид ззаду)

При наближенні збоку висхідний потік з зовнішньої сторони сліду спричинить крен літака від сліду. Швидке наближення збоку може призвести до того, що повітряне судно пройде крізь смугу (рисунки 2.8 та 2.9).

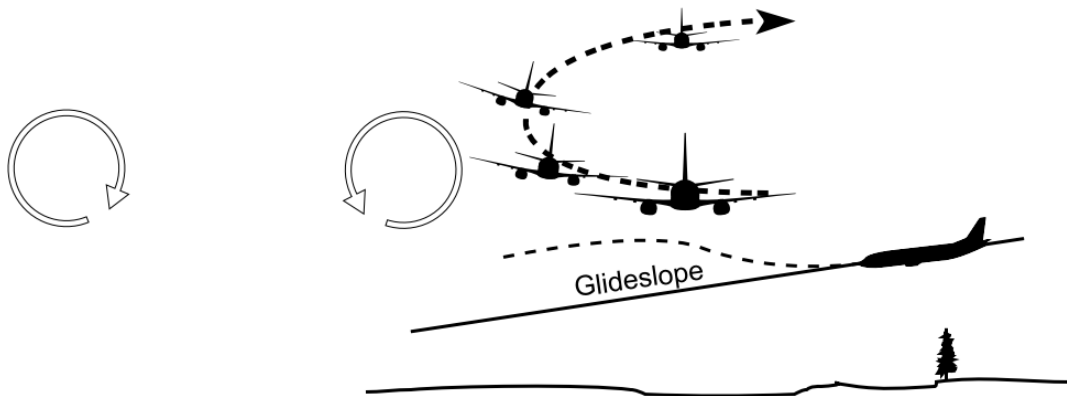


Рисунок 2.8. – Реакція літака на турбулентність у кільватерному сліді, наближення збоку (вид ззаду)

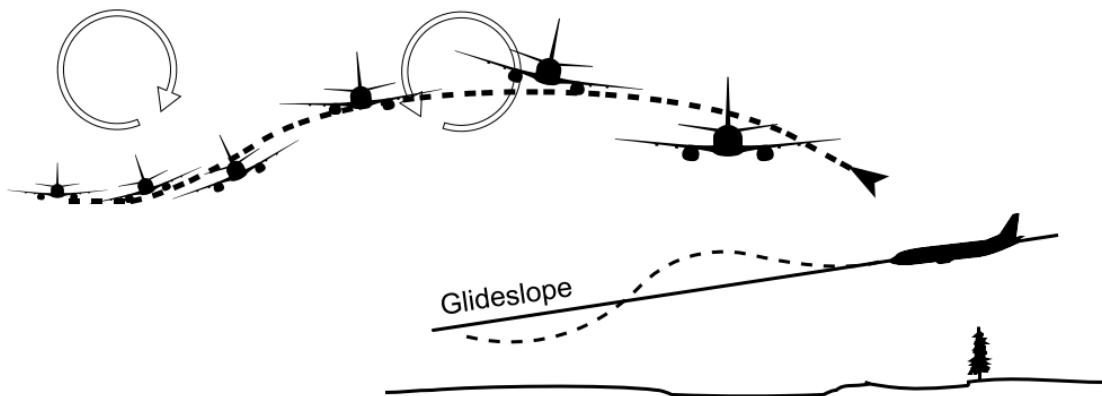


Рисунок 2.9. – Реакція літака на турбулентність у кільватерному сліді, швидке наближення збоку (вид ззаду)

При наближенні знизу низхідний потік крізь кільватерну сліду штовхає літак униз і від неї. Якщо наближатися з досить швидкою швидкістю, літак пройде крізь смугу (рисунки 2.10 – 2.11).

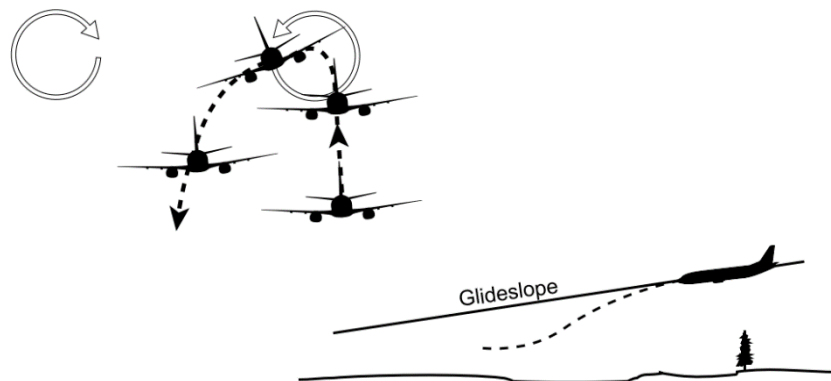


Рисунок 2.10. – Реакція літака на зустріч із турбулентністю, зближення знизу справа (вид ззаду)

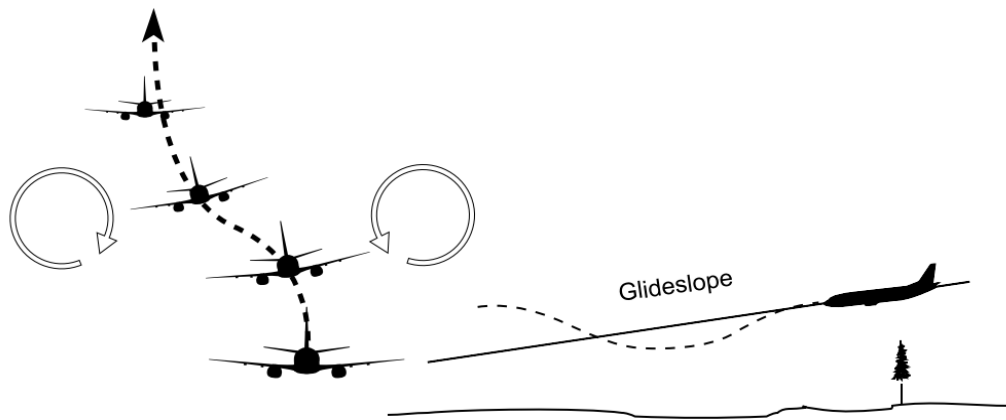


Рисунок 2.11. – Швидка реакція літака на зустріч із турбулентністю підхід знизу (вид ззаду)

2.2. Турбулентність в сліді на маршруті

Зі збільшенням загального обсягу повітряного руху та підвищенням точності навігації зустрічі з турбулентністю в сліді на етапі польоту на маршруті вище 10 000 футів від середнього рівня моря (MSL) поступово за останні кілька років стали частими.

Основними наслідками турбулентності в сліді для літака, що йде слідом, є індукований крен, вертикальне прискорення (може бути від'ємним) і втрата або збільшення висоти. Найбільшу небезпеку, як правило, становить індукований крен, який може призвести до втрати контролю та можливих травм екіпажу та пасажирів.

Під час руху вихори розвиваються по висотах, на яких швидкість розпаду призводить до типової стійкості 2-3 хвилин, з типовою швидкістю опускання приблизно 400 футів/хв. Турбулентні хвилі також будуть переноситися вітром.

Враховуючи високі експлуатаційні повітряні швидкості в крейсерському режимі та стандартне вертикальне ешелонування 1000 футів у повітряному просторі RVSM, слід можна зустріти на відстані до 25 морських миль (NM) позаду літака-генератора. Повідомляється про найбільш значні зустрічі на відстані 15 морських миль. Однак у PANS-ATM для польотів по маршруту не визначено жодних конкретних мінімумів ешелонування горизонтальної турбулентності в сліді, а держави використовують процедурні мінімуми ешелонування або ешелонування на основі спостереження.

Пілоти в основному повідомляють про раптові та несподівані події. Тому усвідомлення небезпечної конфігурації трафіку та факторів ризику має особливе значення для передбачення, уникнення та управління можливими зустрічами в сліді. На етапі польоту на маршруті є три основні фактори які сприяють збільшенню ймовірності турбулентності в сліді:

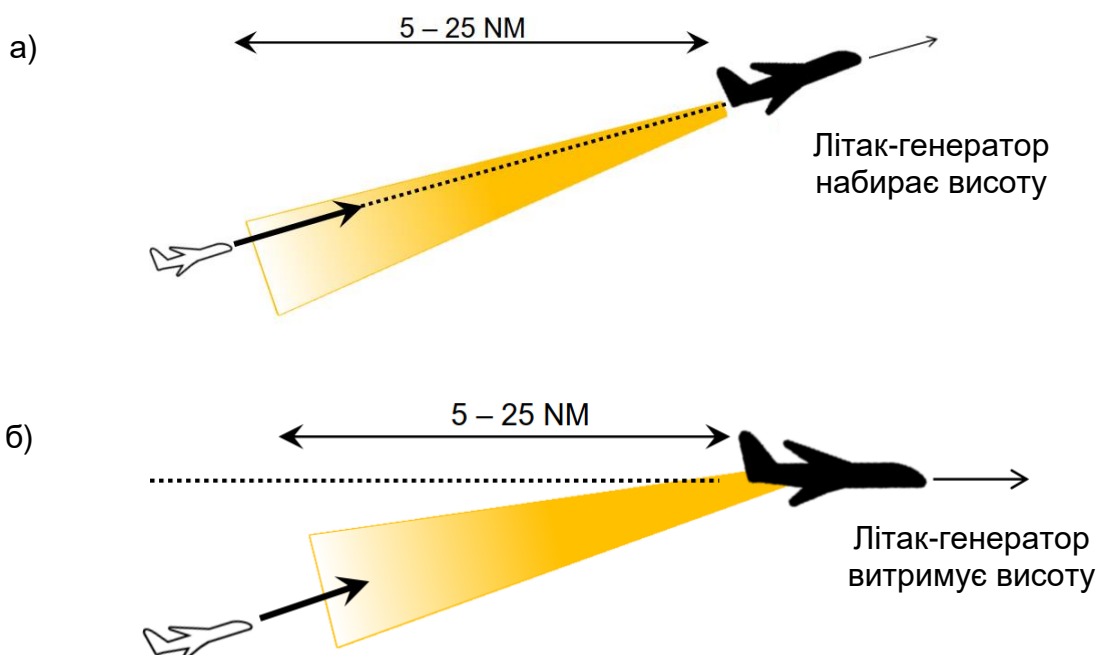
1. Ситуація на перетині: у випадку, коли ПС в точці перетинання набирає висоту або знижується поблизу (літак, що генерує, або літак, що слідує), створений кільватерний слід може перетинати траєкторію з мінімальним часом на затухання, тому може виникнути сильніша турбулентність сліду.

2. Висота термічної тропопаузи: вихровий слід повільніше затухає нижче тропопаузи, отже, існує підвищений ризик зіткнутися з сильною турбулентністю в сліді.

3. Вага генеруючого літака: важкі типи літаків генерують сильніші вихори в сліді та, ймовірно, спричиняють більш сильну турбулентність у сліді, особливо для менших типів літаків.

Типові небезпечні конфігурації перетину траєкторії

Вказані у вертикальній площині, хоча відповідна траєкторія польоту також може перетинатися в горизонтальній площині. При горизонтальному перетині, чим менший кут перетину, тим вищий ефект сліду (рис. 2.10. – 2.12).



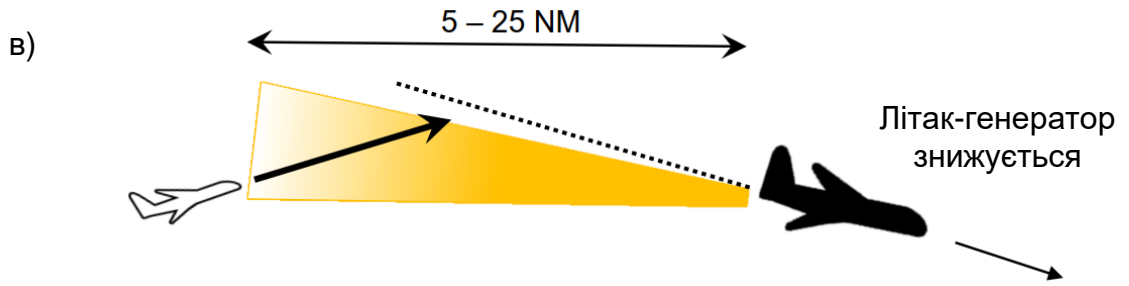


Рисунок 2.10. – Набирання висоти за літаком-генератором

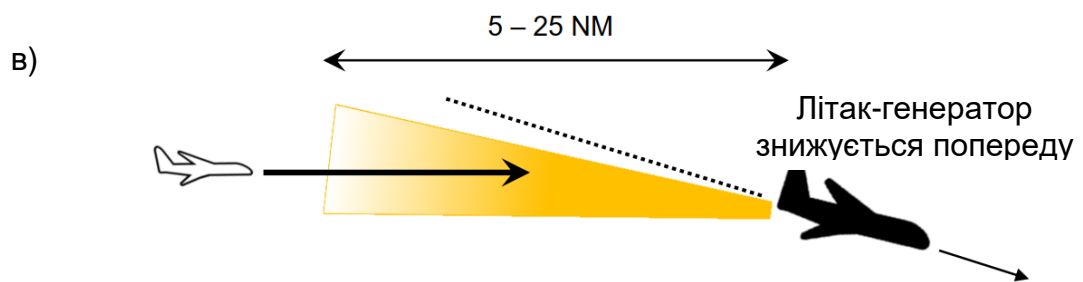
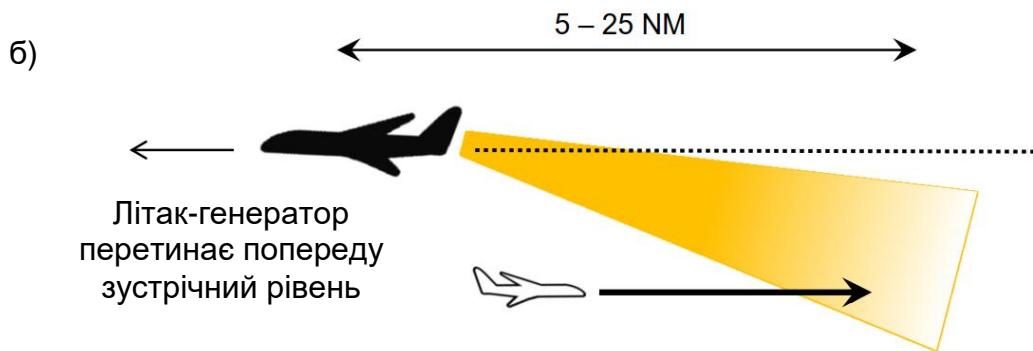
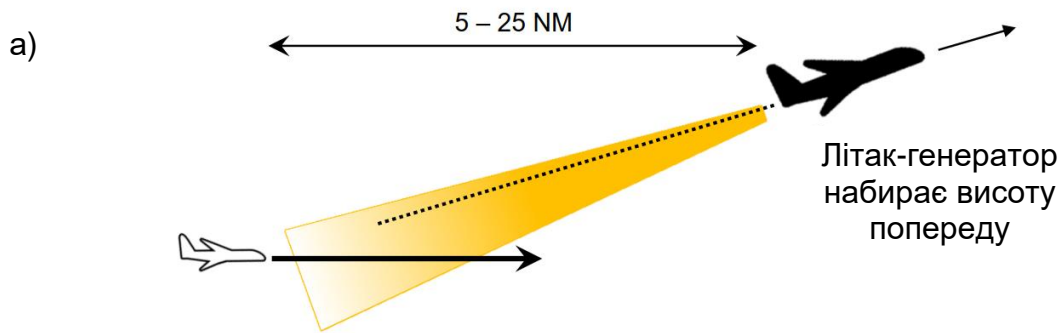
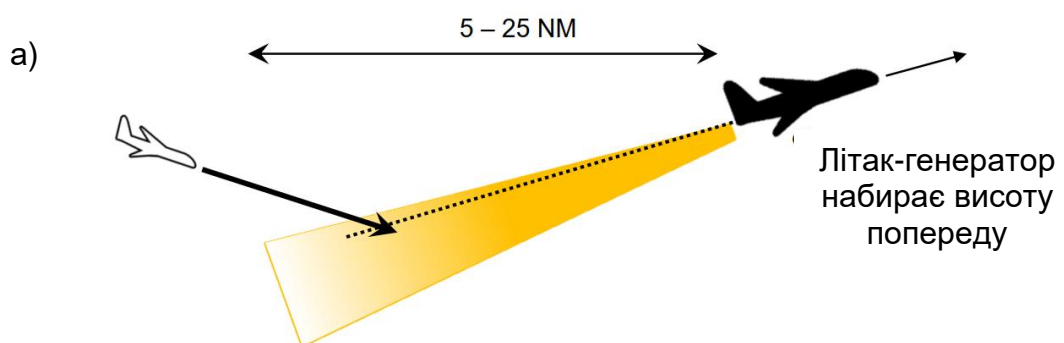


Рисунок 2.11. – Витримування висоти за літаком-генератором



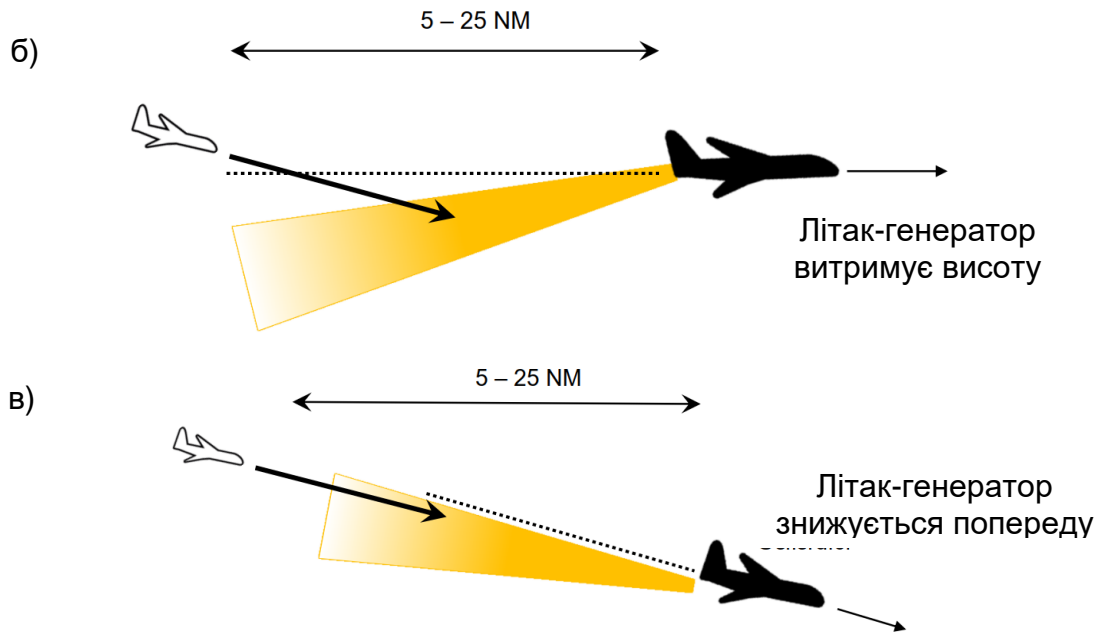


Рисунок 2.12. – Зниження за літаком-генератором

Примітка: мінливість швидкості набору висоти або зниження літака-генератора ускладнює визначення точного місця розташування вихора. Отже, під час фази польоту по маршруту пілотам слід очікувати можливих зустрічей із кильватерною лінією, коли інші ПС поблизу, здається, перебувають на попутних треках попереду, перетинають вище вашого рівня, набирають висоту або знижуються попереду вашої траєкторії польоту, тоді як напрямком вітру, ймовірно, перемістять кильватер у напрямку вашої траєкторії.

Обізнаність диспетчера про збереження турбулентності в сліді на висотах маршруту, що перевищують мінімальне ешелонування, іноді є поганою. Функції підтримки надійної наземної системи інформування та попередження диспетчерів УПР про негативну зустріч з кильватерним слідом ще не використані. Якщо на маршруті відбувається рух з ризиком виникнення небезпечного зіткнення з кильватерним слідом, він може надати інформацію про повітряний рух наступному літаку, включаючи застереження щодо наявної турбулентності в сліді, і, якщо можливо, може запропонувати зміну бічної або вертикальної траєкторії польоту.

2.3. Рекомендації пілотам та авіадиспетчерам

В якості запобіжних заходів оператори та пілоти повинні знати, що:

- Як передбачено в Рег. 965/2012 AMC1 до CAT.OP.MPA.170,

повідомлення для пасажирів має включати запрошення не розстібати ремені безпеки, навіть коли знак ременя безпеки вимкнено, якщо тільки вони не рухаються по салону. Це мінімізує ризик травмування пасажирів у разі зіткнення з турбулентністю в польоті (вихор або атмосферна турбулентність).

- Як зазначено в ICAO PANS-ATM, для літаків категорії «важкі» або Airbus A380-800 слово «HEAVY» або «SUPER», відповідно, повинно бути включене відразу після позивного літака в початковому радіотелефонному зв'язку між такими літаками і органами ОНР.

- Якщо це можливо, конденсаційні сліди слід використовувати для візуалізації слідів і оцінки того, чи траєкторія польоту їх перетинає.

- Слід приділяти більше уваги під час польоту нижче висоти тропопаузи, оскільки збільшується ймовірність зустрічі з турбулентним слідом. Висота тропопаузи змінюється (між днями, між місцями) і може бути знайдена на метеорологічних картах.

- Бічне зміщення слід використовувати, якщо є підозра на ризик зустрічі з турбулентним слідом, коли це дозволено або надано дозвіл органу ОНР. Крім того, зміна FL для перетину «ВАЖКОГО» або «СУПЕР» трафіку зверху може бути використана, якщо це можливо та дозволено УНР.

Постачальники аеронавігаційного обслуговування повинні знати, що:

- Важливим пом'якшувальним заходом є забезпечення поінформованості диспетчерів повітряного руху на маршруті про фактори ризику, а також про потоки руху в секторі з високим ризиком зіткнення з турбулентністю в сліді. Мети можна досягти за допомогою інформаційних матеріалів, електронного навчання та модуля підвищення кваліфікації.

- Запобіжні практики можуть складатися з наступного.

- o Оцінити місцеві потреби щодо зменшення ризиків турбулентності в смузі на маршруті та для впровадження відповідних функцій підтримки системи для інформування та попередження диспетчерів повітряного руху про потенційно небезпечні зустрічі з турбулентністю в сліді, з огляду на попередження пілотів

та/або вжиття відповідних заходів. Поки системне рішення не буде доступним, початкові заходи можуть полягати у впровадженні місцевих практик для типів ПС і геометрії руху/конфігурацій, які вважаються такими, що мають високий ризик створення потенційно небезпечної турбулентності в сліді для наступного ПС, враховуючи мінімальне ешелонування, що застосовується в цьому обсязі повітряного простору.

о Коли диспетчер повітряного руху на маршруті визначає ситуацію поблизу руху з ризиком потенційно небезпечного зіткнення з турбулентністю в сліді, надаючи інформацію про рух літаку, включаючи застереження щодо потенційної турбулентності в кільватерному сліді та, якщо можливо, пропонуючи змінити бічний або вертикальний профіль польоту, відповідно.

У разі зустрічі з турбулентністю в сліді пілоти повинні:

- Майте на увазі, що досвід показує, що якщо пілот реагує на перший крен, перебуваючи в центрі вихору, цей крен потенційно може бути посилений цією початковою дією пілотування.

- Майте на увазі, що деякі інциденти під час польоту продемонстрували, що введення пілотом може погіршити незвичайний стан орієнтації завдяки швидкому реверсуванню керування креном, виконаному «не по фазі».

- Майте на увазі, що якщо автопілот увімкнено, навмисне відключення може ускладнити сценарій, а автопілот у більшості випадків сприятиме відновленню.

- Намагайтеся уникати великих відхилень керма, які можуть створити значні бічні прискорення, які потім можуть створити дуже великі сили на вертикальному стабілізаторі, які можуть перевищити опір конструкції. Незважаючи на те, що деякі новітні типи літаків захищені системами Fly-by-Wire, зазвичай використання керма не зменшує серйозність зіткнення та не покращує легкість відновлення.

- Використовуйте спеціальні вказівки в посібнику з експлуатації ПС (АОМ – Aircraft Operating Manual) для їх конкретних типів/парку, якщо вони є.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Сприяючі фактори для виникнення турбулентності в сліді:

- Велика вага літака
- Конфігурація крила літака (налаштування закрилків тощо)
- Відносний розмір літака, що прямує попереду
- Відносні шляхи, положення та поперечне/вертикальне рознесення найближчих літаків - небезпека більша для літаків, які рухаються однією траєкторією, більша, ніж у випадку перетинання.
- Близькість до землі - вихор перестає бути небезпечним при контакті з землею
- Напрямок вітру по відношенню до траєкторії, на якій летить літак-генератор - поперечний вітер зменшує ризик для літака в слід.
- Швидкість вітру - легкий вітер затримує розпад
- Турбулентність з джерел, відмінних від вихрового сліду, прискорює розпад вихору.

Важливим пом'якшувальним заходом зменшення впливу турбулентності в сліді є забезпечення поінформованості диспетчерів повітряного руху на маршруті про фактори ризику, а також про потоки руху в секторі з високим ризиком зіткнення з турбулентністю в сліді. Мети можна досягти за допомогою інформаційних матеріалів, електронного навчання та модуля підвищення кваліфікації.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ УНИКНЕННЯ ТУРБУЛЕНТНОСТІ В СЛІДІ

3.1. Урахування повітряного руху під час застосування ешелонування

Орган ОНР відповідає за безпечний, упорядкований і швидкий потік усіх ПС у зоні їх відповідальності. Основними факторами, які впливають на здатність диспетчера робити це, є:

- Тип доступних заходів на посадку (IFR або VFR)
- Змішаний рух (турбореактивний, гвинтовий, гелікоптерний)
- Щільність руху
- Ешелонування, пов'язане з турбулентністю
- Процедури зменшення шуму.

Диспетчер підходу може безпечно видавати дозвіл на посадку та зліт більшій кількості ПС, якщо візуальні метеорологічні умови і використовуються візуальні заходження на посадку. Як правило, літаки, що виконують візуальні заходи на посадку, матимуть приблизно 1-1/2 милі між літаком, що приземляється, і літаком, що прибуває. За погодних умов за ППП літакам потрібно щонайменше 2-1/2 милі в точці кінцевого заходження на посадку, а якщо потрібне ешелонування внаслідок турбулентності, ешелон може бути збільшений до 4, 5 або 6 миль між літаками.

Щільність руху є головним фактором кількості ПС, яким можна безпечно, упорядковано та швидко видати дозвіл на зліт чи посадку. Найбільш завантажені аеропорти планують зліт і посадку літаків залежно від погоди умови. Майже в будь-якому завантаженому аеропорту, коли погода за ППП, можливі значні затримки та навіть скасування рейсів, якщо погода за ППП зберігається протягом тривалого періоду часу.

Візуальні умови та візуальне розділення дозволяють обслуговувати більше літаків у системі. Коли диспетчери дозволять пілотам підтримувати візуальне ешелонування або здійснювати візуальне заходження на посадку, вони можуть зосередити свої зусилля на розділенні інших літаків за ППП, якими вони

керують. Чим швидше диспетчер на підході передає відповідальність за ешелонування пілота, тим краще він або вона може надати обслуговування іншим ПС, які все ще потребують контролю за ППП.

Є кілька факторів, які диспетчер повинен враховувати перед тим, як дозволити пілоту підтримувати візуальне ешелонування або здійснювати візуальне заходження на посадку, коли необхідно застосувати ешелонування через турбулентність. По-перше, вітер має значний вплив на турбулентність у сліді. Менший літак проти вітру від більшого літака навряд чи зіткнеться з будь-якою турбулентністю. Однак не завжди практично або можливо, щоб менший літак слідував за більшим літаком з боку проти вітру. Схеми руху, конфігурація злітно-посадкової смуги та швидке керування іноді не роблять практичною послідовність літаків на основі бокового вітру. Іншим фактором, який слід враховувати диспетчерам, є траєкторія польоту попереднього літака порівняно з траєкторією польоту наступного літака. Круті зниження більших літаків з будь-якої причини можуть створити небезпеку для менших літаків, які слідують за ними, що здійснюють звичайне зниження до тієї ж злітно-посадкової смуги. Це пояснюється тим, що менший літальний апарат у якийсь час може опинитися нижче глісади більшого літака.

Виготовляється набагато більше швидких малих реактивних ПС. Це вже не середовище «малі літаки літають повільніше, ніж великі літаки». Швидші малі реактивні ПС, які слідує за повільнішими великими реактивними ПС, можуть створити серйозну проблему турбулентності, оскільки менший літак може підійти занадто близько до більшого реактивного літака. ЗПС, що перетинаються, також створюють небезпеку, коли малому реактивному літаку дозволено приземлитися на ЗПС, і його траєкторія польоту пройде через траєкторію польоту більшого реактивного ПС, який приземлявся або вилітав на іншій ЗПС.

Найкращою профілактикою для уникнення турбулентності в кільватерному сліді є поінформованість як пілота, так і диспетчера. Диспетчери повинні знати, де може виникнути турбулентність і як це вплине на інші літальні апарати. Бічний вітер, круті спуски, різні швидкості повітря та перетинання ЗПС – це

фактори, які диспетчери повинні враховувати. Пілоти також повинні знати, де існують потенційні небезпеки. Іноді недостатньо надати застережну пораду щодо турбулентності. Пілот повинен знати, чи літак, за яким він/вона слідує, має крутіший спуск, ніж зазвичай, чи летить повільніше, чи літак, що йде попереду, вилетів або приземляється на іншу ЗПС. Якщо диспетчери знають про потенційну небезпеку турбулентності в кільватерному сліді, вони повинні повідомити пілотів про ці небезпеки та дозволити пілоту відповідно скорегувати свою траєкторію польоту.

3.2. RECAT - перекатегоризація турбулентності в сліді

Існуючі правила поділу вихрового сліду ICAO базуються виключно на вазі літака. Категорія турбулентності в сліді ICAO (WTC) вводиться у відповідний індикатор категорії турбулентності в сліді з одним символом у пункті 9 форми плану польоту ICAO та базується на максимальній сертифікованій злітній масі таким чином [20]:

J (супер) типи ПС, визначені як такі в Doc 8643 (Позначення типів повітряних суден). На даний момент єдиним таким типом є Airbus A380-800 з максимальною злітною масою близько 560 000 кг.

H (важкі) типи ПС вагою 136 000 кг (300 000 фунтів) або більше (за винятком тих, що зазначені як J);

M (середні) типи літаків менше 136 000 кг (300 000 фунтів) і більше 7 000 кг (15 500 фунтів); і

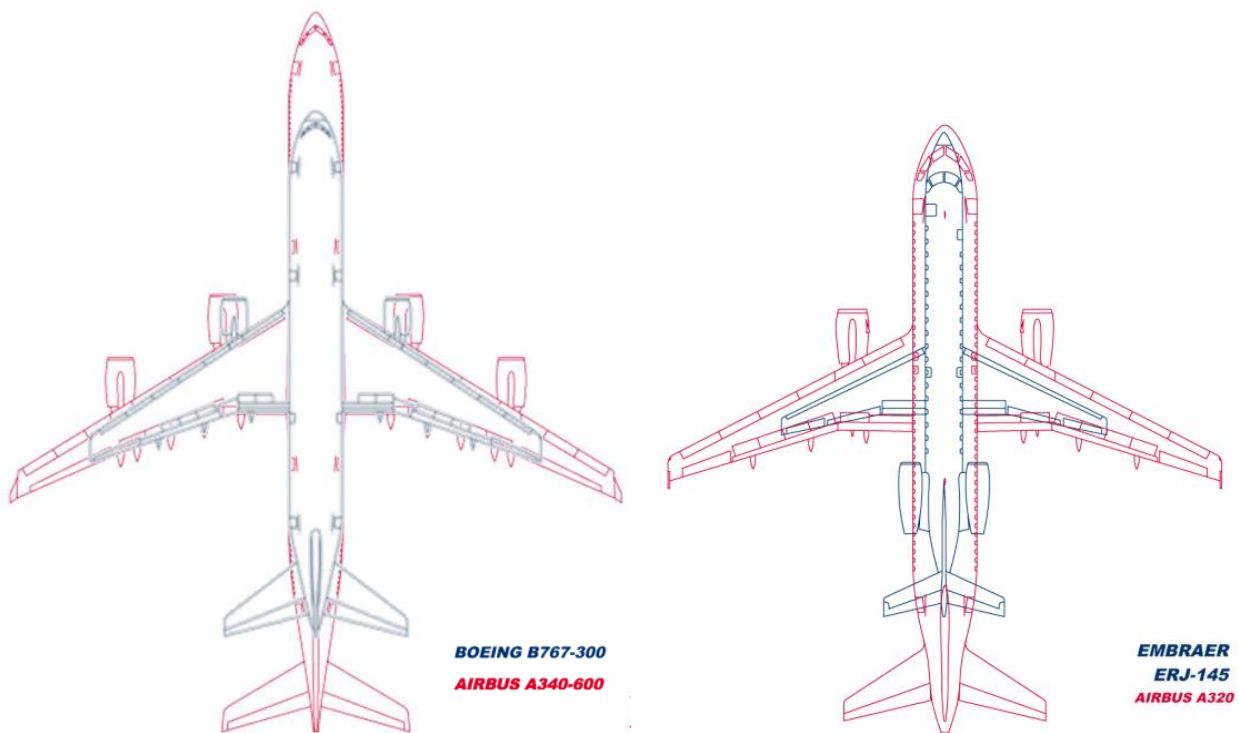
L (легкі) типи літальних апаратів 7 000 кг (15 500 фунтів) або менше.

Відповідно до стандартних критеріїв ICAO, відстань від турбулентності в сліді для прибуття або вильоту може бути нанесено таким чином:

Preceding Aircraft	Following Aircraft	Minimum Separation
HEAVY	HEAVY	4.0 NM
HEAVY	MEDIUM	5.0 NM
HEAVY	LIGHT	6.0 NM
MEDIUM	LIGHT	5.0 NM

Також застосовуються спеціальні стандарти ешелонування 6, 7 і 8 морських миль для важких, середніх і легких відповідно Airbus A380.

Незважаючи на те, що в деяких аспектах вони безпечні, вони вже застаріли і в багатьох випадках призводять до надмірного ешелонування. Це, у свою чергу, зменшує пропускну здатність аеропорту та спричиняє непотрібні затримки руху, збільшуючи витрати, використання палива та викиди. Наприклад, Boeing 747 і Boeing 767 класифіковані ICAO як "важкі" літаки. Хоча традиційна відстань 4 мм, що застосовується між двома «важкими», є доречною, коли 767 слідує за 747, у зворотному випадку стандартна відстань є надмірною. Щоб безпечно зменшити мінімальне ешелонування між певною парою повітряних суден під час вильоту чи кінцевого заходження на посадку, слід враховувати як вихровий слід, створений лідером, так і опір наступного повітряного судна.



І А346, і В763 належать до поточної категорії ICAO **HEAVY**, тоді як розмах їхніх крил має різницю понад 15 метрів.

І А320, і Е145 належать до поточної категорії ICAO **MEDIUM**, тоді як розмах їхніх крил має різницю понад 12 метрів.

Рисунок 3.1 – Порівняння розмірів літаків

Після багатьох років інтенсивних спільних досліджень між EUROCONTROL, FAA, їхніми дослідницькими установами та авіаційною

промисловістю експерти дійшли висновку, що необхідне ешелонування між певними літаками можна безпечно зменшити.

Дослідження довели, що, окрім ваги, інші характеристики літака, такі як швидкість і розмах крил, також впливають на силу створюваного кільватерного сліду, а також на реакцію літака на нього. Використовуючи цю інформацію, згідно зі схемою 6 категорій RECAT-EU, літаки були повторно віднесені до однієї з шести нових категорій (від А до F), які були отримані шляхом перевизначення ваги переходу між старими категоріями, додавання категорії Super та розділення кожної середньої та важкої категорій на дві нові.

Критерії, які використовуються для категоризації існуючих і нових типів повітряних суден, наведені відповідно на рисунку 3.2.

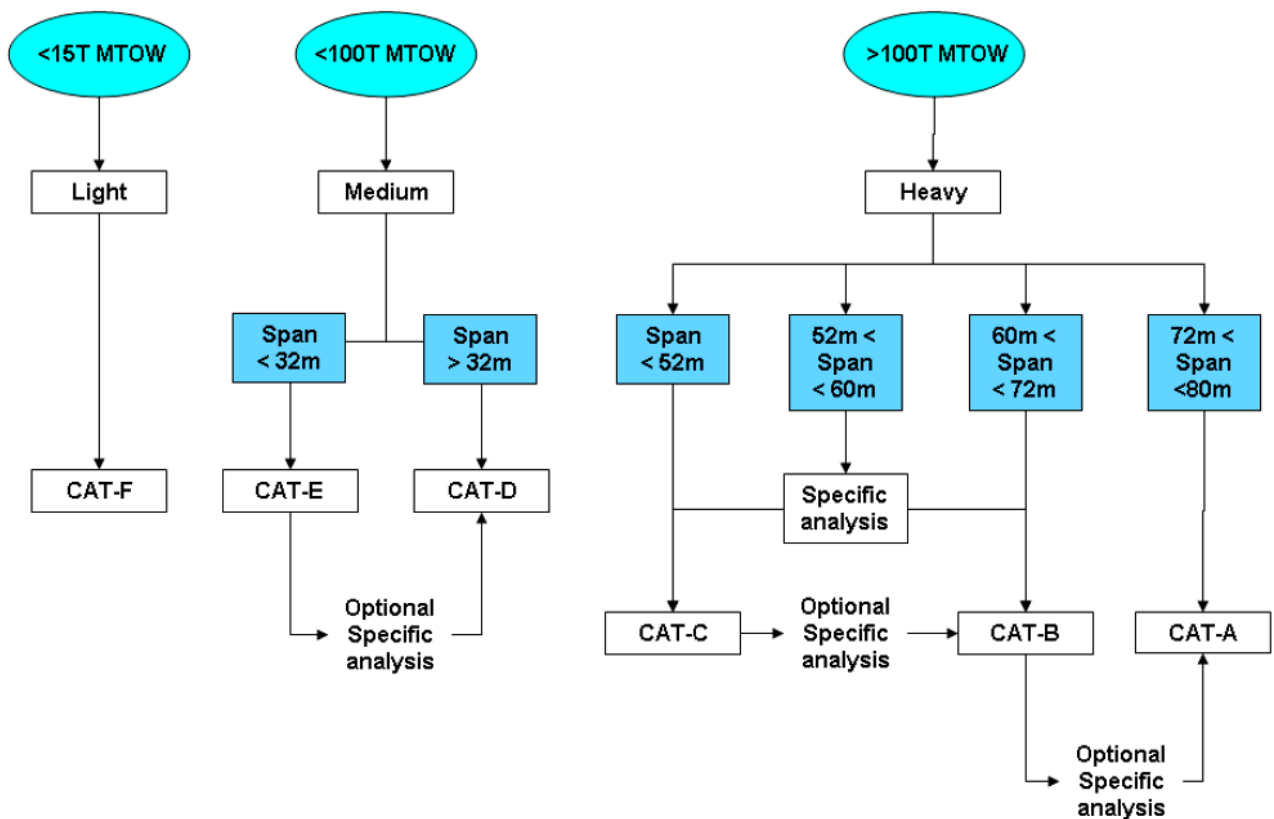


Рисунок 3.2. – Схема процесу категоризації та критеріїв для віднесення існуючого типу повітряного судна до RECAT-EU

Мінімуми RECAT-EU на основі відстані та мінімуми на основі часу були схвалені EASA та опубліковані як AMC7 до ЄС 2020/469 ATS.TR.220 Застосування ешелонування турбулентності в сліді та доступні для використання.

RECAT-EU також включено в нещодавно опубліковані ICAO розширені

мінімуми ешелонування в сліді на основі групи турбулентності в сліді (поправка 9 до видання PANS-ATM Doc 4444 від листопада 2020 р.).

Усі типи повітряних суден, сертифіковані до 1 січня 2013 року, були віднесені до однієї з нових категорій (табл. 3.1). [20]

Таблиця 3.1 – Категорії повітряних суден

Super Heavy	Upper Heavy	Lower Heavy	Upper Medium	Lower Medium	Light
CAT-A	CAT-B	CAT-C	CAT-D	CAT-E	CAT-F
AIRBUS A-380-800	AIRBUS A-330-200 A-330-300	AIRBUS A-300-600 A-300 A-310	AIRBUS A-318 A-319 A-320 A-321	ATR 42-300/320 42-500 72-201	DASSAULT Falcon 10 Falcon 20
ANTONOV An-124 Ruslan An-225 Mriya	A-340-300 A-340-500 A-340-600 A350-900	BOEING 707-300 757-200 757-300	ANTONOV An-12	BOEING 717-200 737-200 737-300	FAIRCHILD DORNIER 328
(...)	BOEING 747-400 (international, winglets) 747-8 777-200 777-200ER 777-300 777-200LR and 777-F 787-8 Dreamliner	767-200ER 767-300ER 767-400 C-135 Stratolifter	BOEING 737-600 737-700 737-800 737-900	737-400 737-500 BOMBARDIER Challenger 600 Regional Jet CRJ-100 Regional Jet CRJ-700 Dash 8 Q400	EMBRAER Brasili BEECH 400 Beechjet
	ILYUSHIN Il-96	MCDONNELL DOUGLAS DC-10 MD-11	LOCKHEED C-130	Regional Jet CRJ-100 Regional Jet CRJ-700 Dash 8 Q400	RAYTHEON BAe-125- 700/800
	(...)	ILYUSHIN Il-76	MCDONNELL DOUGLAS MD-81 MD-90	EMBRAER ERJ-135 ERJ-145 ERJ 170-100 ERJ 190-100	BRITISH AEROSPACE Jetstream 32 Jetstream 41
		TUPOLEV Tu-95	TUPOLEV Tu-204		LEARJET Learjet 35 Learjet 60
		(...)	(...)	GULFSTREAM AEROSPACE Gulfstream 4	SAAB 340
				(...)	CESSNA 650 525 CitationJet C180 152 Aerobat
					(...)

За програмою RECAT необхідне ешелонування показано в таблицях 3.2. та 3.3.

Таблиця 3.2. – Ешелонування на основі використання систем спостереження

Leader/Follower	CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E	CAT F
CAT A	3 NM	4 NM	5 NM	5 NM	6 NM	8 NM
CAT B		3 NM	4 NM	4 NM	5 NM	7 NM
CAT C			3 NM	3 NM	4 NM	6 NM
CAT D						5 NM
CAT E						4 NM
CAT F						3 NM

Порожнє поле вказує на мінімальне радіолокаційне ешелонування

Таблиця 3.3. – Ешелонування на основі часу (в секундах)

Leader/Follower	CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E	CAT F
CAT A		100s	120s	140s	160s	180s
CAT B				100s	120s	140s
CAT C				80s	100s	120s
CAT D						120s
CAT E						100s
CAT F						80s

Переваги RECAT

- більш точна класифікація літаків
- безпечно збільшити пропускну спроможність аеропорту за рахунок зменшення мінімумів ешелонування
 - зменшення використання палива та викидів CO₂
 - зменшення часу польоту
 - підвищити безпеку особливо для найменших типів літаків
 - альтернатива означає, що держави можуть прийняти.

Посібник ICAO із впровадження мінімальних значень відстані по турбулентності (Manual on the Implementation of Wake Turbulence Separation Minima (Doc 10122)) буде доступний з 2024 року.

Оптимізована категоризація турбулентності в сліді

Євроконтроль та його партнери постійно намагаються вдосконалити та оптимізувати використання та організацію повітряного простору та повітряного руху. В результаті була розроблена схема «Оптимізована категоризація турбулентності в сліді та статичні мінімуми попарного поділу (S-PWS) під час заходу на посадку та вильоту» що називається схемою RECAT-EU-PWS [22].

Пропускна здатність злітно-посадкової смуги в піковий період безпосередньо пов'язана з застосовним мінімальним поздовжнім ешелонуванням між послідовними рухами на кінцевому етапі заходження на посадку або зльоті.

Після **RECAT-EU** як **початкового кроку** перекласифікації застарілих категорій турбулентності в сліді ICAO у схему з 6 категорій, додатковий крок оптимізації полягає у визначенні статичних мінімумів поділу турбулентності в сліді на **основі «парного» режиму, тобто. , між парами типів літаків.**

Мінімум PWS визначається за подібними принципами, які використовуються для методології та показників безпеки RECAT-EU, з уточненнями, щоб забезпечити адекватну впевненість для парного рівня аналізу та ризику безпеки [22].

Мінімуми PWS були визначені для списку з **понад 100 типів ПС** (визначених за позначенням типу ICAO), які найчастіше зустрічаються у великих європейських аеропортах і для яких доступні дані, щоб охарактеризувати генерацію кільватерної хвилі та стійкість до зустрічної смуги з достатньою гарантією безпеки. Для подальшого завершення для всіх інших менш частих типів було створено схему RECAT-EU 20 CAT, шляхом підрозділу категорій RECAT-EU, де літаки відносяться до однієї з **20 категорій** на основі їх МТОМ (Maximum Take Off Mass), розмах і співвідношення крил.

Схема RECAT «20-CAT» і менше

Базуючись на матриці PWS і списку типів ПС, схема з 20 категоріями турбулентності в сліді охоплює всі типи ПС, включаючи ті, що не входять до списку «PWS».

Схема з 14 категорій побудована для призначення більшості типів ПС (включно з деякими, яких немає у списку PWS) на основі схожості конструкції з типами літаків зі списку PWS, що визначає схему 14-CAT. Це доповнюється категоріями RECAT-EU 6 для решти більш рідкісних і більш специфічних типів літаків, що призводить до загальної схеми 20-CAT. Таблиця 3.4 містить вибірку типів ПС, які входять до 103 типів у списку PWS і використовуються як посилання для встановлення 14 категорій.

Таблиця 3.4. – Вибірка типів ПС, які входять до 103 типів у списку PWS, і використовуються як посилання для встановлення 14 категорій. [22]

Cat Name	A1	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D1	E1	E2	E3	F1	F2	F3
Ac type in 96 list	A388	B77L	B773	MD11	B764	A306	B752	B739	A148	F27	CRJ2	SF34	C56X	B350
		B77W	B772		B762	A30B	B753	B738	B734	F50	J328	D328	H25C	C25B
		A351	A343		B763	A310		B737	B733	DH8D	E145	E120	C25C	PC12
		A359	A332					B736	B735	AT75	E135	C680	LJ45	C550
		A358	A333					A321	E190	AT72	CL30		LJ40	C25A
		B744	A342					A320	GL5T	FA7X	F2TH		H25B	C501
		A346	B788					A318	GLEX	AT43	F900		C560	C525
		A345						A319	GLF5	AT45	FA50		LJ60	C510
								MD83	B712		CL60		BE40	P46T
								MD82	F100		GALX		LJ35	PA34
									F70					C10T
									B463					
									RJ1H					
									RJ85					
									E170					
									CRJ7					
									CRJ9					
									GLF4					

Таблиця 3.5. – Вибірка типів ПС, яких немає в списку PWS і віднесених до 14-CAT, для яких мінімуми ешелонування додатково оптимізовані порівняно з RECAT-EU. [22]

14-Category designators	A1	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D1	E1	E2	E3	F1	F2	F3
Selection of aircraft types assigned in 14-CAT (not currently assigned in PWS list)		B778	A338	DC10	IL76	A3ST	(no other type than B757 being in the PWS list)	A19N	AN72	AN32	C750	C68A	B190	All types from ICAO Light WTC, except [C10T, C25A, C25B, C501, C510, C525, C550, P46T, PA34, PC12] which are in the PWS list
		B779	A339	...	...	...		B37M	CRJX	AT46	CRJ1	DHC4	C650	
		...	B78X	...	...	...		B39M	E75S	AT73	E35L	...	FA20	
				B3XM	E75L	AT76	E45X	...	JS41	
					MD90	FA8X	DH8C	G280	...	LJ55	
						T154	GLF6	FA6X	LJ85	...	LJ75	
						MRJ7	...	...	...	PC24	
						...			MRJ9	...	...	...	...
						...			SU95	...	...	...	...
						

Мінімум RECAT 20-CAT

Мінімум ешелонування на основі відстані наведено в таблиці 3.6. Матриця надає мінімуми відстані на основі турбулентності в сліді, які застосовуються під час заходу на посадку та вильоту за умов використання систем спостереження ОПР.

Мінімум ешелонування на основі часу для схеми наведено в таблиці 3.7. Матриця надає мінімуми ешелонування по турбулентності на основі часу, що застосовуються аеродромною диспетчерською вишкою.

Таблиця 3.6. – 20-САТ. Мінімум ешелонування по турбулентності на основі відстані для підходу та вильоту [22].

	A1	A	B1	B2	B	C1	C2	C3	C4	C	D1	D	E1	E2	E3	E	F1	F2	F3	F
A	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	8.0	8.0	8.0	8.0
A1	2.5	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0	8.0
B	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	7.0	7.0	7.0	7.0
B1		2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0	6.0	6.5	7.0	7.0
B2		2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	6.5	7.0	7.0
C		2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.5	6.0	6.0	6.0
C1		2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
C3		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0	6.0	6.0
C2		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	4.5	6.0	6.0
C4		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	6.0	6.0
D												2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	4.0	5.0	5.0
D1												2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	5.0	5.0
E												2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.0
E1																		2.5	4.0	4.0
E2																		2.5	4.0	4.0
E3																		2.5	4.0	4.0
F																		2.5	3.0	3.0
F1																		2.5	3.0	3.0
F2																		2.5	3.0	3.0
F3																		2.5	2.5	2.5

Таблиця 3.6. – 20-САТ. Мінімум турбулентності в сліді для вильотів [22].

	A1	A	B1	B2	B	C1	C2	C3	C4	C	D1	D	E1	E2	E3	E	F1	F2	F3	F
A			100.0	100.0	100.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	140.0	140.0	160.0	160.0	160.0	160.0	180.0	180.0	180.0	180.0
A1			100.0	100.0	100.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	140.0	140.0	160.0	160.0	160.0	160.0	180.0	180.0	180.0	180.0
B									60.0	60.0	100.0	100.0	120.0	120.0	120.0	120.0	140.0	140.0	140.0	140.0
B1									60.0	60.0	100.0	100.0	110.0	120.0	120.0	120.0	140.0	140.0	140.0	140.0
B2									60.0	60.0	90.0	100.0	110.0	120.0	120.0	120.0	130.0	140.0	140.0	140.0
C									60.0	60.0	80.0	80.0	100.0	100.0	100.0	100.0	120.0	120.0	120.0	120.0
C1									60.0	60.0	80.0	80.0	100.0	100.0	100.0	100.0	120.0	120.0	120.0	120.0
C3									60.0	60.0	60.0	70.0	90.0	100.0	100.0	100.0	110.0	120.0	120.0	120.0
C2									60.0	60.0	60.0	70.0	90.0	90.0	100.0	100.0	100.0	110.0	120.0	120.0
C4									60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	70.0	90.0	90.0	90.0	100.0	100.0	120.0
D																	90.0	100.0	120.0	120.0
D1																	70.0	90.0	120.0	120.0
E																			100.0	100.0
E1																			100.0	100.0
E2																			100.0	100.0
E3																			100.0	100.0
F																				80.0
F1																				80.0
F2																				80.0
F3																				80.0

3.3. Процедури зменшення впливу турбулентності в сліді

Пілотам слід запам'ятати три основні попередження щодо турбулентності в сліді:

- Не підходьте надто близько до літака що прямує попереду.
- Не знижуйтесь нижче траєкторії польоту літака що прямує попереду.
- Будьте особливо обережні, коли є слабкий вітер.

Зліт

Сильна турбулентність у кільватерному сліді виникне від точки обертання та під час набору висоти, оскільки попередній літальний апарат летить повільно під великим кутом атаки (рис. 3.3).

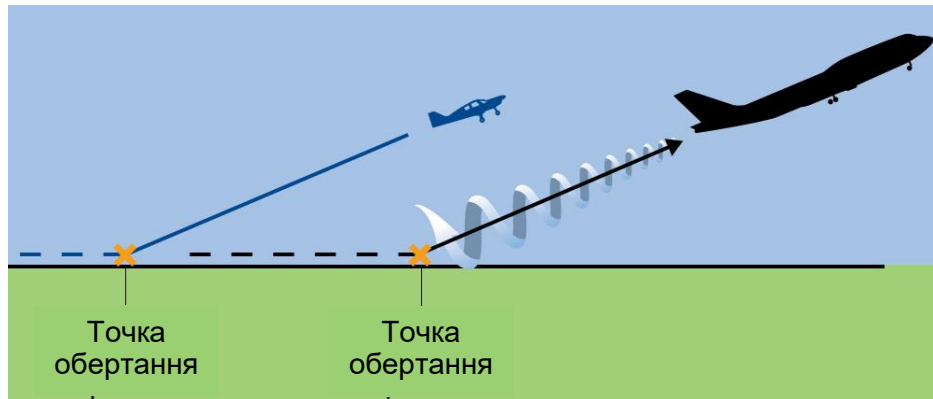


Рисунок 3.3. – Зліт за важчим літаком

Під час зльоту плануйте зліт перед точкою приземлення літака, що йде попереду, і залишайтеся проти вітру від точки приземлення літака, що приземляється (рис. 3.4).

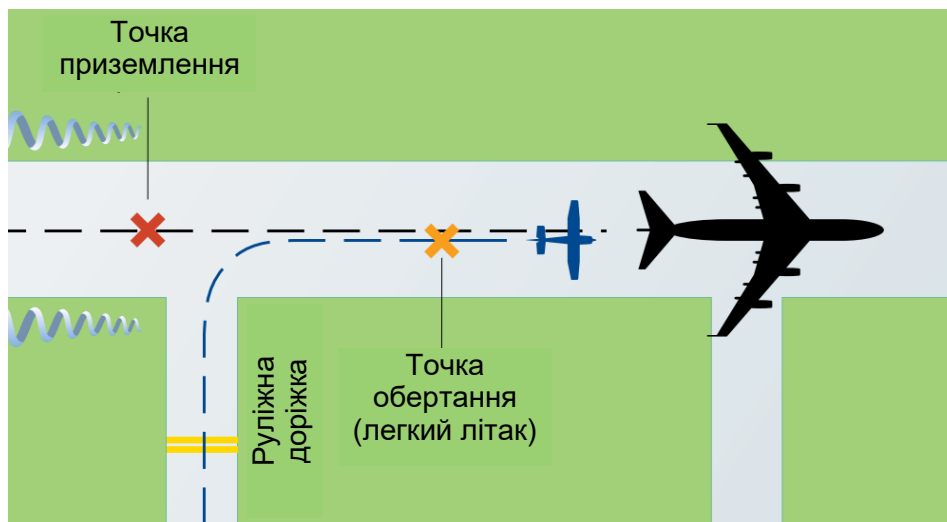


Рисунок 3.4. – Зліт за важчим літаком, що виконав посадку

В умовах слабкого вітру літакам легкої категорії, які слідують за важчими літаками, рекомендується дотримуватися збільшених мінімумів ешелонування.

Набирання висоти

Після зльоту; якщо ви не можете вийти на траєкторію набирання висоти за траєкторію польоту попереднього літака, якнайшвидше змініть курс польоту.

Якщо ви не можете суттєво відхилитися від траєкторії польоту попереднього літака, слідкуйте трохи проти вітру та паралельно його курсу (рис. 3.5).

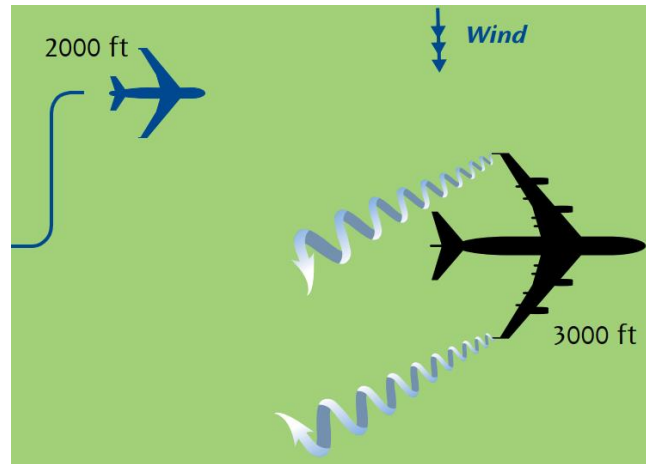


Рисунок 3.5. – Зліт за важчим літаком, що виконав посадку

Перетинання

Уникайте курсів, які змушують вас перетинати слід літака позаду та під ним. Якщо вам потрібно пройти позаду, перейдіть над його траєкторією польоту, а якщо ви не можете це зробити та якщо дозволяє місцевість, перетніть щонайменше на 1000 футів нижче.

Слідую

Залишайтеся на або над траєкторією польоту попереднього літака. Якщо це неможливо, скористайтеся одним із наведених вище методів; або тримайтеся трохи проти вітру та паралельно його курсу, або, якщо дозволяє рельєф місцевості, тримайтеся щонайменше на 1000 футів нижче та значно позаду.

Літак попереду

Якщо ви наближаєтеся до важчого літака, який знаходиться на висоті менше ніж 1000 футів над вами, змініть курс на противітряну сторону, щоб уникнути турбулентності.

Підхід

Більшість аварій, викликаних турбулентністю, відбуваються у візуальних метеорологічних умовах. Двічі подумайте, перш ніж прийняти візуальне

заходження на посадку впритул до великого літака, оскільки тоді ви станете відповідальними за підтримку власного ешелонування внаслідок турбулентності. Здійснюючи візуальний захід на посадку, не допускайте, щоб літак, за яким ви стежите, знаходився на тій самій або нижчій траєкторії польоту. Якщо це практично можливо, тримайтеся подалі від центральної лінії курсового радіомаяка, більші літаки, ймовірно, будуть слідувати за нею, трохи змістять траєкторію польоту в бік вітру.

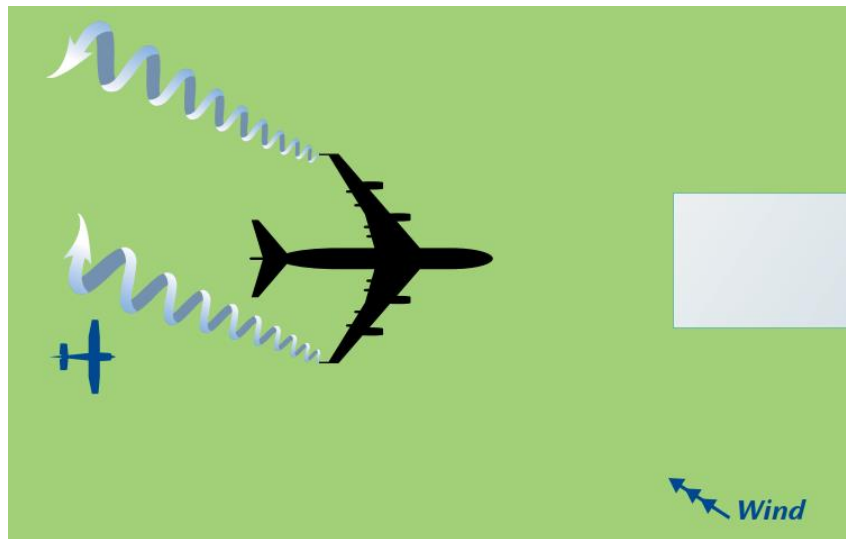


Рисунок 3.6. – Заходження на посадку

Пілотам VFR повільніших легких літаків слід особливо остерігатися турбулентності в кільватерному сліді під час посадки на завантажених аеродромах із більш важкими літаками на підході.

Посадка

Приземліться задовго до точки відриву літака, що вилітає (рис. 3.7).

Під час посадки позаду іншого важчого літака тримайтеся над траєкторією його польоту і, якщо можливо, приземліться за його точкою посадки. Дослідження виявили, що вихори в кільватерному сліді під впливом ґрунту не обов'язково рухаються вбік від злітно-посадкової смуги, але можуть піднятися після досягнення землі на висоту, що вдвічі перевищує розмах крил літака. Будьте обережні з такою можливістю під час проходження над точкою посадки попереднього літака (рис. 3.8).

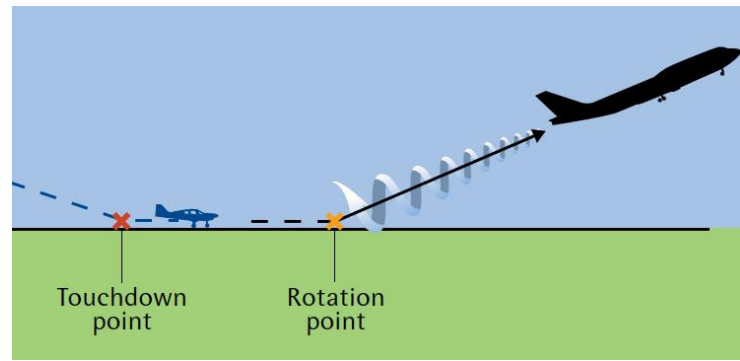


Рисунок 3.7. – Посадка за важким літаком що злітає

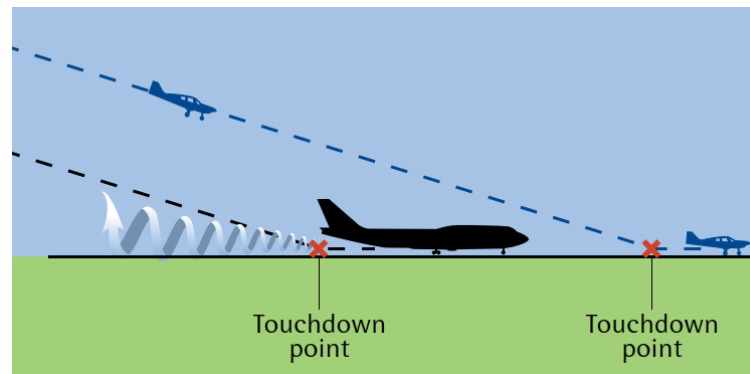


Рисунок 3.8. – Посадка за важким літаком

Перетин злітно-посадкових смуг

Здійснюючи посадку позаду іншого літака на злітно-посадкову смугу, що перетинається, намагайтеся уникнути їх сліду, приземляючись над частиною вашої злітно-посадкової смуги або приземляючись задовго до неї (рис. 3.9).

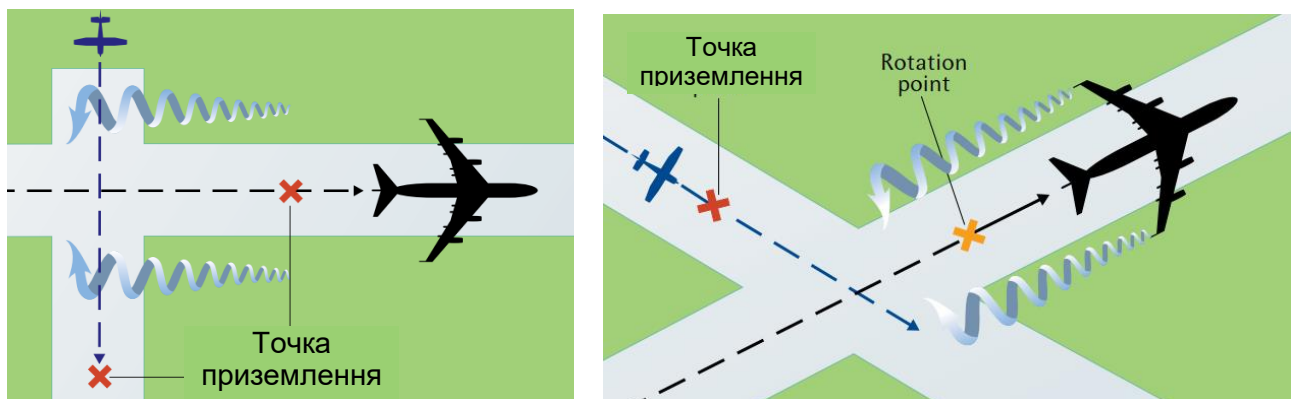


Рисунок 3.9. – Посадка на ЗПС що перетинаються

Бічний вітер

Бічний вітер може вплинути на розташування вихорів і може бути дуже небезпечним під час паралельних ЗПС. Відповідно відрегулюйте точки зльоту та посадки (рис. 3.10).

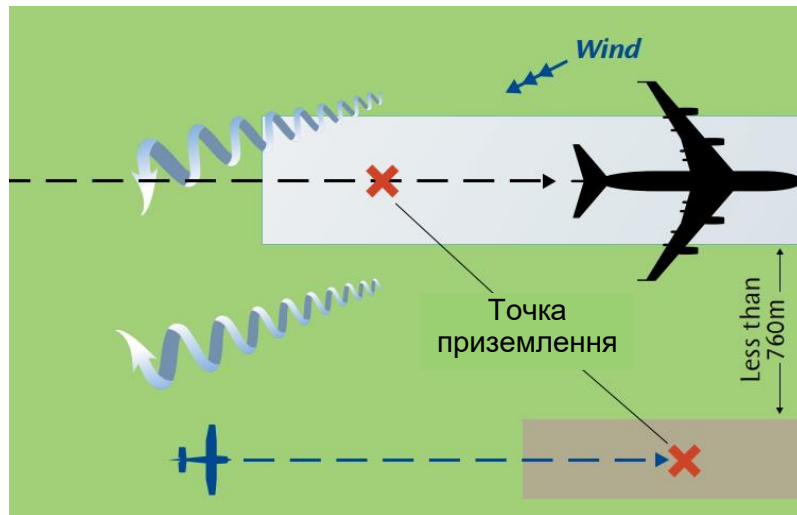


Рисунок 3.10. – Посадка на паралельні ЗПС

Паралельне зміщення

За потреби вимагайте дозвіл АТС на зміщення або зміну рівня. Пілоти можуть використовувати процедури стратегічного бокового зміщення (SLOP) для стратегічного горизонтального зміщення від свого маршруту на відстань до 2 морських миль без запиту дозволу УПР (рис. 3.11).

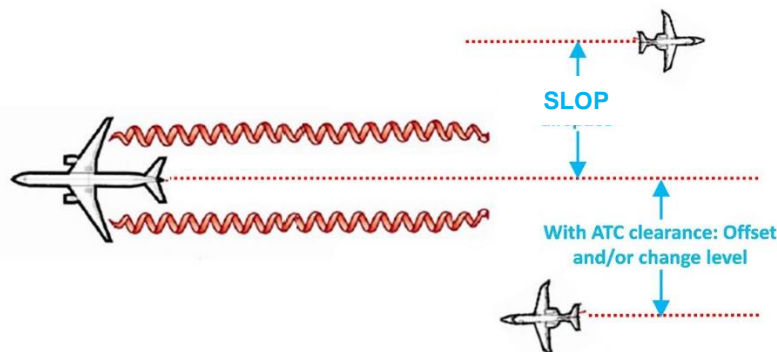


Рисунок 3.11. – Використання Track offset або SLOP

Однак може бути важко визначити, чи інше повітряне судно також летить зі зміщенням. Тому зміщення не є гарантією того, що зіткнення вдасться уникнути (за винятком випадків, коли вихори чітко видно зворотними слідами).

Якщо існує бічний вітер і якщо два літаки летять точно по одній трасі, вітер буде переміщувати вихори за межі траси наступного літака під час його зниження. У цій ситуації, якщо бокове зміщення вирішується з інших причин, ніж уникнення вихору в кільватері, слід віддавати перевагу зміщенню проти вітру, оскільки зміщення за вітром потенційно може призвести до зіткнення.

3.4. Розроблення рекомендацій по зменшенню впливу турбулентності в сліді для аеродрому «Київ/Антонов-2»

Аеропорт «Антонов» (IATA: **GML**, ICAO: **UKKM**) — український міжнародний вантажний аеропорт. Розташований за 25 кілометрів на північний захід від Києва та за два кілометри на північний захід від смт Гостомель. Аеропорт використовується авіакомпанією «Авіалінії Антонова» та як база льотних випробувань АНТК ім. Антонова. Карта аеродрому наведена на рис. 3.12.

Аеродром Київ/Антонов-2 є цивільним аеродромом класу «Б» та придатний для експлуатації цілий рік. Види польотів до яких допущений аеродром наведено в таблиці 3.7.

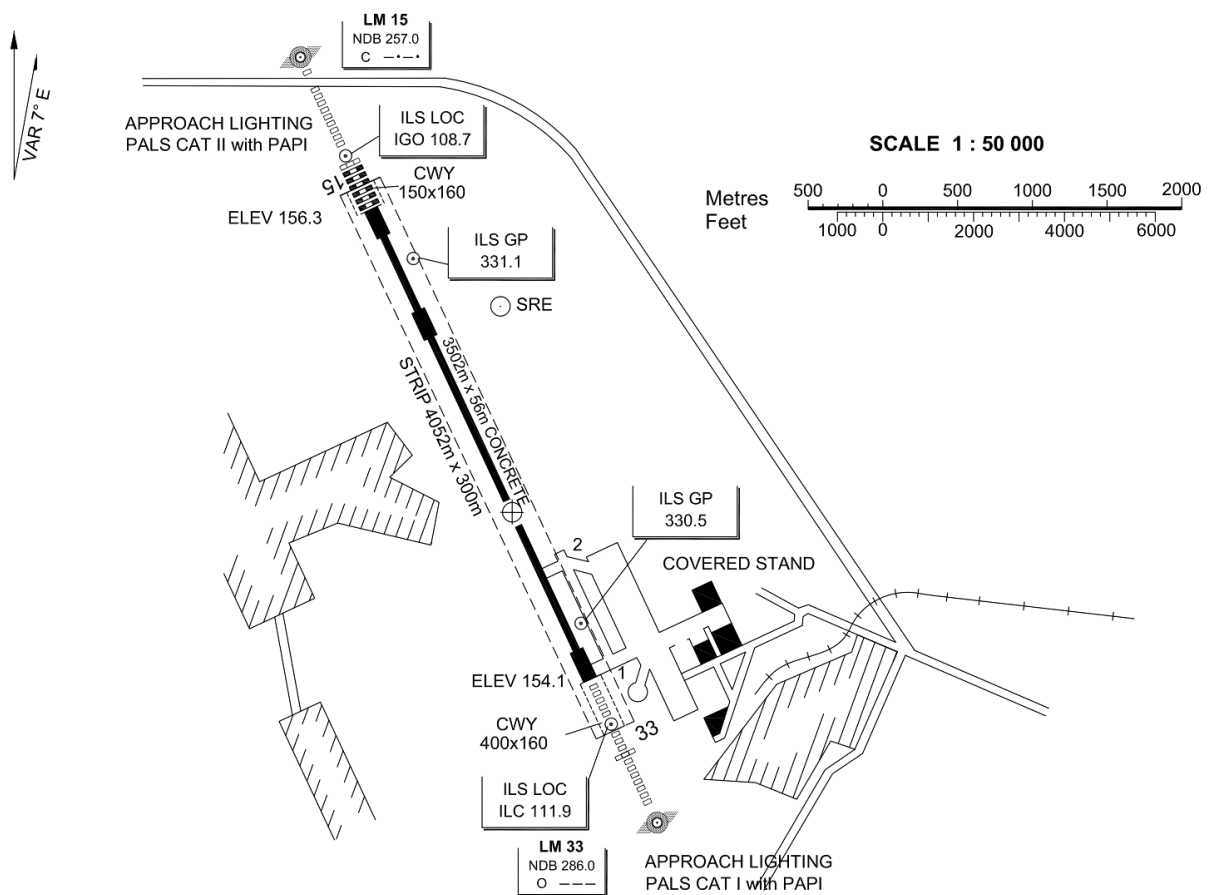


Рисунок 3.12. – Фрагмент збірника АНІ (UKKM AD 2.24.1-1 AERODROME CHART - ICAO)

Аеродром придатний до прийому повітряних суден індексу 6 (коду 4E) та класом нижче. На аеродромі експлуатуються ПС: Ан-225, Ан -124, Ан-22, Іл-76, Ан -12, Ан -32, Ан -26, Ан -28, Ан -72, Ан -74, Ан -70, Ан -140, Ан -132Д, Ан -148, Ан-158, Ан-178.

Таблиця 3.7. – Види польотів, до яких допущено аеродром:

За використанням	Без права виконання комерційних перевезень пасажирів
За діяльністю, пов'язаною з використанням повітряного простору	Польоти цивільних ПС Польоти державних ПС Польоти експериментальних ПС
За призначенням	Транспортні, випробувальні, тренувальні, навчальні, перегінні, об'їзні, демонстраційні, пошуково-рятувальні, аварійно-рятувальні
За умовами пілотування	Польоти за приладами (IFR) Візуальні польоти (VFR)
За районом дії	Аеродромні (CTR Київ/Антонов-2)
За висотою	<u>1500M</u> SFC
За часом доби	Вдень і вночі
За умовами погоди	Приладні метеорологічні умови (IMC) Візуальні метеорологічні умови (VMC)

На аеродромі Київ/Антонов-2 виконується у середньому 40 зльотів/посадок важких ПС типу Ан-225, Ан-124, Іл-76 кожного місяця.

На аеродромі Київ/Антонов-2 виконували тренувальні польоти декілька шкіл по підготовці приватних пілотів, зокрема: Національний авіаційний університет, ТОВ «ЧВАШ», ТОВ «ВУЛКАН ЕЙР АКАДЕМІ», ТОВ «Західно Українська школа авіації».

Повністю усунути вплив турбулентності в сліді на етапах зльоту та посадки можливо лише за рахунок створення значних часових інтервалів між ПС, тому необхідно мінімізувати такий вплив.

На аеродромі поряд з важкими (Ан-124, Ан-22, Іл-76) та середніми (Ан -12, Ан -72, Ан -74, Ан -70,) ПС виконуються польоти легких ПС авіаційних шкіл:

К-10 SWIFT – це легкий (MTOW – до 650 кг) двомісний літак української розробки. Літак оснащений надійним та невибагливим австрійським двигуном **Rotax 912 UL**, який працює на звичайному автомобільному бензині А-95. Незважаючи на невелику потужність двигуна, **Skyeton К-10** має непогані льотні дані, та можливості короткого зльоту та посадки за рахунок полегшеної вуглепластикової конструкції. Для зльоту літаку потрібно всього 90 м смуги, а посадки вистачить і 70 м пробігу.

Tecnam P2002 - двомісне, цільнометалеве повітряне судно (MTOW – до 600 кг), з низьким розташуванням крила, та керованою передньою стійкою шасі. Гвинт фіксованого шагу. Двигун Rotax 912 S2. Для зльоту та посадки достатньо 150 м злітної смуги.

Cessna 172 («Сессна-172») — американський легкий літак (MTOW – до 1200 кг). Випускається компанією Цессна. Наймасовіший літак в історії авіації. З 1956 року збудовано понад 43 000 літаків. Виробництво було зупинено в середині 80-х, але було відновлено в 1996 році з потужнішим двигуном. Для зльоту та посадки необхідно до 500 м злітної смуги.

Дозволяється виконувати польоти в межах СТР аеродрому Київ/Антонов-2 на висоті кола одночасно не більш двох ПС. За відсутності рейсових ПС дозволяється збільшувати кількість тренувальних ПС до трьох.

Таке поєднання різних типів ПС вимагає особливої уваги до турбулентності в сліді. Одним з методів зменшення ризику потрапляння в турбулентний слід та мінімізація його впливу є своєчасне та постійне вдосконалення знань про природу турбулентного сліду.

Такі заняття, особливо, бажано проводити пілотам та курсантам льотних шкіл спільно з авіадиспетчерами, а можливо і самим диспетчерам проводити такі заняття. Одним із шляхів покращення знань про природу турбулентного сліду є навчальні польоти з представниками служби ОПР.

Пілоти мають обов'язково повідомляти органи ОПР про наявність турбулентного сліду.

Наступним методом покращення ситуаційної обізнаності диспетчера про турбулентний слід є встановлення для кожного напрямку ЗПС системи лідарів. Це надасть змогу диспетчеру своєчасно виявляти та попереджати пілотів про небезпеку потрапляння в турбулентний слід (рис. 3.13).

Одни з таких рішень може бути WindCube Scan Airport Edition — це універсальний пристрій, який можна розгорнути як автономний для виявлення небезпеки зсуву вітру, оцінки вихрового сліду, так і в поєднанні з іншими датчиками погоди як частину комплексної системи оповіщення про зсув вітру

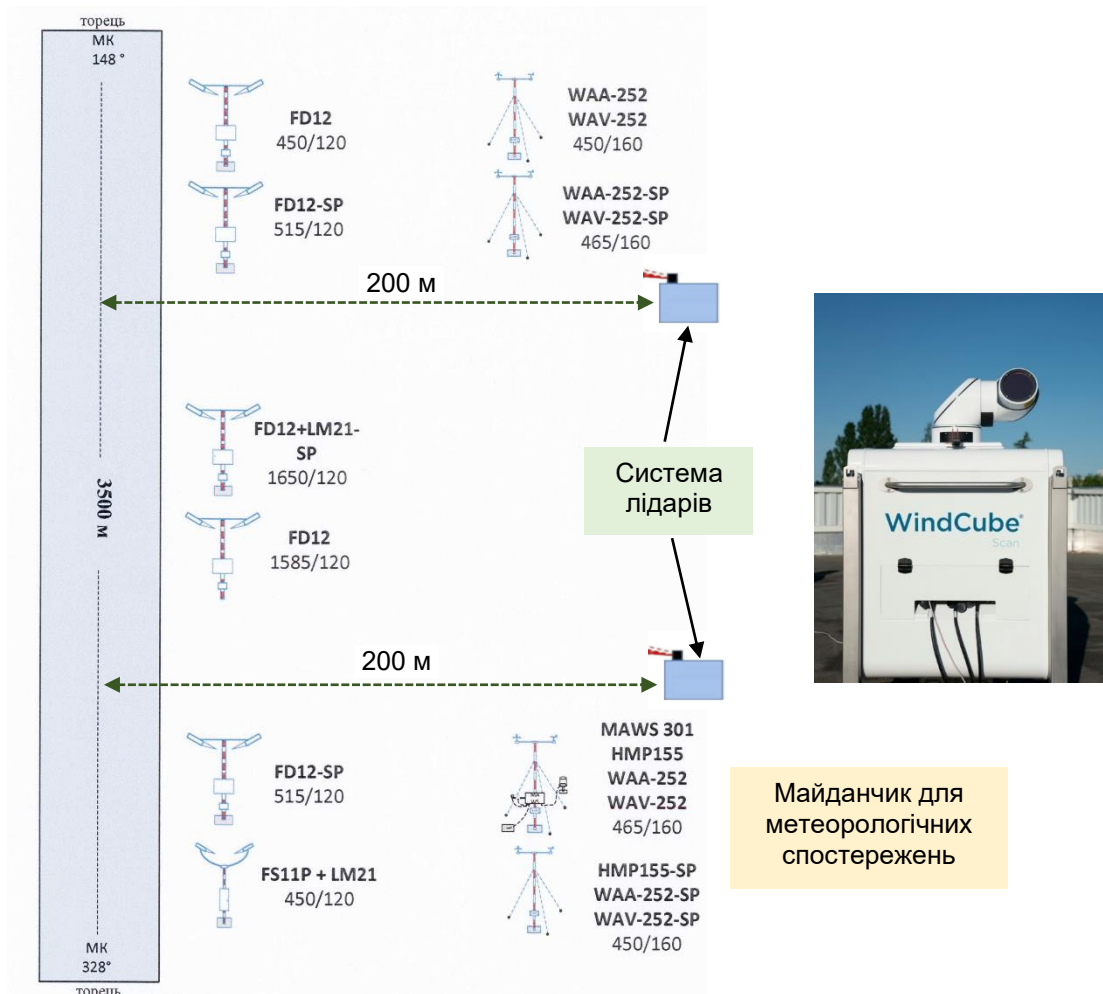


Рисунок 3.13. – Схема розташування лідарів

Одними з елементів льотно-технічних характеристик літака є злітна та посадкова дистанції в умовах стандартної атмосфери. Перед кожним вильотом залежно від умов (маси літака, висоти аеродрому, метеорологічних умов, стану ЗПС та ін.) розраховуються фактична злітна та посадкова дистанції.

Фактична злітна дистанція не повинна перевищувати НДЗ, а фактична посадкова дистанція має бути меншою ніж НПД на аеродромі.

Відповідно на аеродромі для кожного напрямку зльоту й посадки повинні бути встановлені та опубліковані в збірнику *AIP* такі злітні та посадкові дистанції:

Наявна дистанція зльоту (*Take-off Distance Available – TODA*) – сума НДР і довжини ВЗ, якщо вона передбачена.

Наявна дистанція перерваного зльоту (НДПЗ) (*Accelerate-STOP Distance Available – ASDA*) – сума НДР і довжини КСГ, якщо вона передбачена.

Наявна дистанція розбігу (*Take-off Run Available – TORA*) – довжина ЗПС, яка є наявною і придатною для розбігу літака, що виконує зліт.

Наявна посадкова дистанція (*Landing Distance Available – LDA*) – довжина ЗПС, яка є наявною і придатною для пробігу літака після посадки.

У випадку, якщо на ЗПС:

– не передбачається КСГ та/або ВЗ, а поріг розміщений наприкінці ЗПС, тоді зазвичай чотири наявні дистанції повинні дорівнюватися довжині ЗПС (рис. 3.14, а));

– передбачається ВЗ, то НДЗ буде включати ВЗ (рис. 3.14, б));

– є КСГ, то НДПЗ буде включати КСГ (рис. 3.14 в));

– є зміщений поріг, то НДЗ зменшується на розмір зміщення порога ЗПС (рис. 3.14, г)). Зміщений поріг ЗПС впливає лише на НДЗ для заходу на посадку, які виконувались у напрямку цього порога ЗПС.

Якщо є декілька зазначених особливостей, то змін зазнають декілька наявних дистанцій (рис. 3.14, д)).

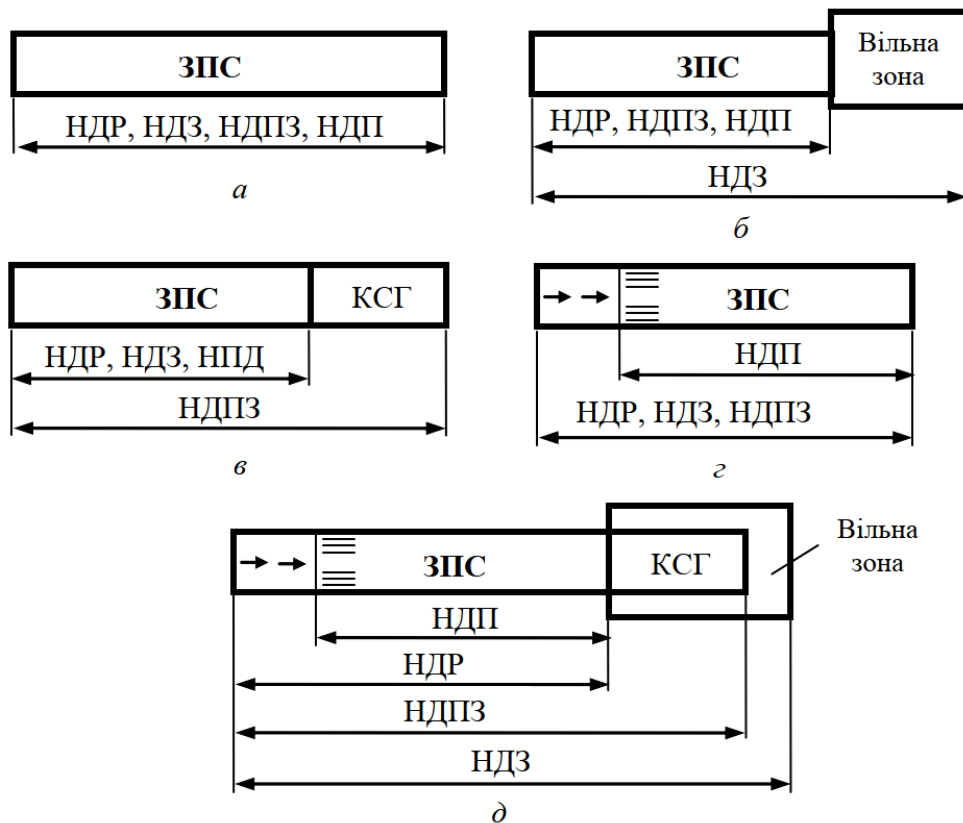


Рисунок 3.14. – Наявні дистанції для зльоту та посадки

Оголошені дистанції для аеродрома Київ/Антонов-2 наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. – UKKM AD 2.13 Declared distances / Оголошені дистанції

RWY Designator	Take-OFF RUN Available	Take-OFF Distance Available	Accelerate-STOP Distance Available	Landing Distance Available	Remarks
15	3502	3902	3502	3502	nil
33	3502	3652	3502	3502	from TWY 2: TORA 2902m, TODA 3052m, ASDA 2902m

Відстань від торця ЗПС 33 до РД 2 становить 600 м.

Відповідно для легких, тренувальних ПС можна передбачити зміщений поріг ЗПС 15 біля РД 2. Це дасть змогу виконувати зліт не від торця ЗПС, що скоротить час руління по ЗПС, та зменшить вплив турбулентного сліду.

Посадка позаду більшого літака. Під час посадки позаду більшого літака на тій самій ЗПС пілоту доцільно залишатися на траєкторії кінцевого заходження на посадку або над нею. Бажано виконати посадку позаду за точкою приземлення важкого ПС.

Необхідно пам'ятати, що переважаючий вітер зміщує вихори. Наприклад, зустрічний вітер силою 20 вузлів зміщує вихори на 600 метрів у напрямку порогу.

Так як ЗПС має довжину 3500 м то можливо доцільно встановити зону приземлення для деяких категорій ПС на відстані 600 м від торця ЗПС 33 в точці примикання РД 2. Це обов'язково має бути прописане в збірнику АНІ як рекомендація по зменшенню турбулентності в сліді і відображено в робочих інструкціях диспетчерів, для інформування пілотів (рис. 3.15).

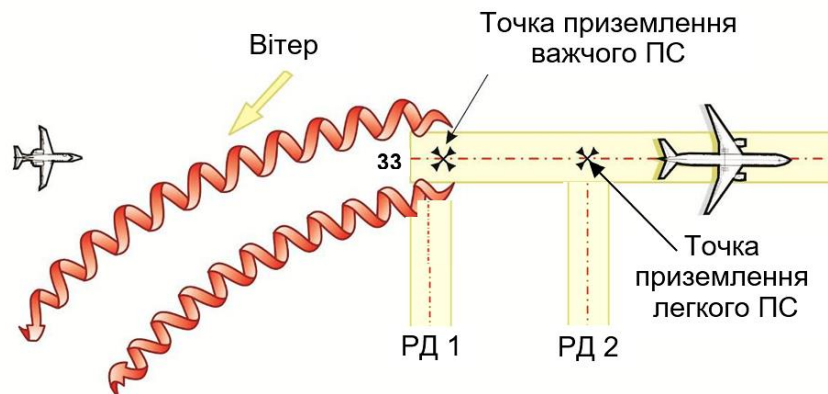


Рисунок 3.14. – Процедури уникнення посадки позаду великих літаків

Відповідно **наявна посадкова дистанція (LDA)** буде становити 2902 м.

ВИСНОВКИ ДО 3 РОЗДІЛУ

В третьому розділі проаналізовані методи та способи уникнення турбулентного сліду, або зменшення його впливу.

Турбулентність у кільватерному сліді впливає на літаки будь-якого розміру, тому всі пілоти повинні знати про це.

Інциденти, пов'язані з турбулентністю, не обмежуються операціями із залученням більш важких літаків – трапляються інциденти, пов'язані з усіма типами літаків.

Загалом, ризик несподіваної турбулентності в кільватерному сліді є найбільшим під час заходу на посадку у візуальних умовах, коли всі повітряні судна зберігають власне ешелонування внаслідок турбулентності.

Сприяючі фактори турбулентності в сліді: велика вага літака; відносний розмір літака, що прямує попереду; відносні шляхи, положення та поперечне/вертикальне рознесення найближчих літаків - небезпека більша для літаків, які рухаються однією траєкторією, більша, ніж у випадку перетинання; близькість до землі - вихор перестає бути небезпечним при контакті з землею; напрямок вітру по відношенню до траєкторії, на якій летить літак-генератор - поперечний вітер зменшує ризик для літака в слід; швидкість вітру - легкий вітер затримує розпад

Будьте в курсі ситуацій, у яких може виникнути турбулентність, і вживайте заходів, щоб її уникнути.

РОЗДІЛ 4

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності

Автоматизована обробка даних є типовою задачею що вирішується сучасними аеронавігаційними системами. Обробка аеронавігаційних даних забезпечується як на борту у певних блоках авіоніки так і у наземних обчислювальних комплексах. Кожен блок авіоніки у своїй структурі більш схожий до архітектури персонального комп'ютера з відповідними елементами: процесор, пам'ять, аналого-цифрові /цифро-аналогові перетворювачі, що дозволяє виконувати обробку вимірних даних на програмному рівні. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних регістрах, змінних, матрицях чи архівах даних.

Визначення точного місцеположення ПС є однією з найважливіших задач цивільної авіації [25, 26]. У якості прикладу обробки даних великої розмірності розглянемо траєкторію руху літального апарату та виконаємо її розрахунок за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

Відповідно до концепції автоматичного залежного спостереження (ADS-B) користувачі повітряного простору повинні періодично повідомляти своє місцеположення у просторі в автоматичному режимі. Найбільш поширеним бортовим обладнанням ADS-B є літаковий відповідач режиму 1090ES. Літаковий відповідач виконує функції автоматичного генерування цифрових повідомлень відповідно до налаштувань системи (стандартні налаштування забезпечує випромінювання сигналу з частотою у 1 Гц) та виконує їх випромінювання через всеспрямовані антенні системи. Поширене цифрове повідомлення містить ідентифікацію літака, координати місцеположення, барометричну висоту та інші дані. Координати ПС отримуються з обчислювальної системи літаководіння після вибору оптимальної системи позиціонування для певного повітряного простору виходячи з точності, що забезпечується системою та специфікаційних вимог.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані передані за концепцією ADS-B. Зокрема, ідентифікаційний код літака з координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних. Зокрема, обчислювальний кластери компаній Flightradar24 та Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [27] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Мапа приймачів ADS-B [27]

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

У якості вхідних даних я використаю дані траєкторії польоту Austrian Airlines 627 (AUA627/OS627), що забезпечуються авіакомпанією Austrian Airlines зі сполученням Vienna Int'l (Schwechat), Austria (LOWW/VIE) та Warsaw Frederic Chopin (EPWA/WAW). Дата вильоту 6 грудня 2023 о 09.52 PM CET (за розкладом). Дата посадки 6 грудня 2023 о 10.55 PM CET. Політ завершився за розкладом. Політ виконувався на Embraer ERJ-190 (twin-jet) (E190). Вхідні дані отримано від архіву за посиланням <https://www.flightaware.com/live/flight/AUA627/history/20231206/2035Z/LOWW/EPWA/tracklog>. У таблиці 4.1 наведено перші та останні 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 4.1. Траєкторні дані рейсу Austrian Airlines 627 (AUA627/OS627)
від 06.12.23.

Час (EEST)	Широта	Довгота	Курс	Швидкість (kts)	Швидкість (mph)	Висота (фут)
Wed 10:52:12 PM	48.1190	16.5455	← 297°	150	173	750
Wed 10:52:28 PM	48.1233	16.5311	← 280°	137	158	1,525
Wed 10:52:44 PM	48.1218	16.5150	↙ 242°	149	171	2,175
Wed 10:53:00 PM	48.1135	16.5031	↙ 216°	186	214	2,250
Wed 10:53:16 PM	48.1011	16.4921	↙ 210°	210	242	2,450
Wed 10:53:32 PM	48.0870	16.4800	↙ 211°	213	245	3,225
Wed 10:53:49 PM	48.0749	16.4630	↙ 236°	209	241	3,975
Wed 10:54:11 PM	48.0655	16.4348	← 248°	236	272	4,450
Wed 10:54:34 PM	48.0543	16.3970	← 246°	253	291	5,500
Wed 10:54:52 PM	48.0467	16.3697	← 254°	249	287	6,625
Wed 10:55:10 PM	48.0462	16.3367	← 285°	245	282	7,800
Wed 10:55:34 PM	48.0566	16.2977	← 294°	257	296	8,975
Wed 10:55:55 PM	48.0666	16.2640	← 295°	271	312	9,675
Wed 10:56:25 PM	48.0824	16.2092	← 295°	295	339	10,925
Wed 10:56:55 PM	48.0992	16.1505	← 294°	312	359	12,000
Wed 11:41:48 PM	52.2507	20.6247	→ 70°	214	246	3,450
Wed 11:42:06 PM	52.2527	20.6504	→ 98°	196	226	3,225
Wed 11:42:29 PM	52.2460	20.6811	↘ 113°	180	207	3,025
Wed 11:42:59 PM	52.2358	20.7176	↘ 115°	173	199	2,825
Wed 11:43:29 PM	52.2259	20.7524	↘ 115°	173	199	2,825
Wed 11:43:59 PM	52.2161	20.7873	↘ 114°	167	192	2,450
Wed 11:44:29 PM	52.2073	20.8186	↘ 115°	144	166	2,025
Wed 11:44:59 PM	52.1996	20.8459	↘ 115°	125	144	1,600
Wed 11:45:15 PM	52.1954	20.8610	↘ 115°	122	140	1,425
Wed 11:45:31 PM	52.1917	20.8742	↘ 115°	121	139	1,250
Wed 11:45:47 PM	52.1883	20.8867	↘ 115°	124	143	1,075
Wed 11:46:03 PM	52.1841	20.9015	↘ 114°	127	146	875
Wed 11:46:19 PM	52.1804	20.9149	↘ 114°	131	151	700
Wed 11:46:35 PM	52.1762	20.9297	↘ 114°	131	151	500
Wed 11:46:51 PM	52.1724	20.9432	↘ 114°	133	153	300

Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу Austrian Airlines 627 (AUA627/OS627) від 06.12.23. у програмне забезпечення MATLAB [28]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.4.2., а вертикальний профіль представлено на рис. 4.3.

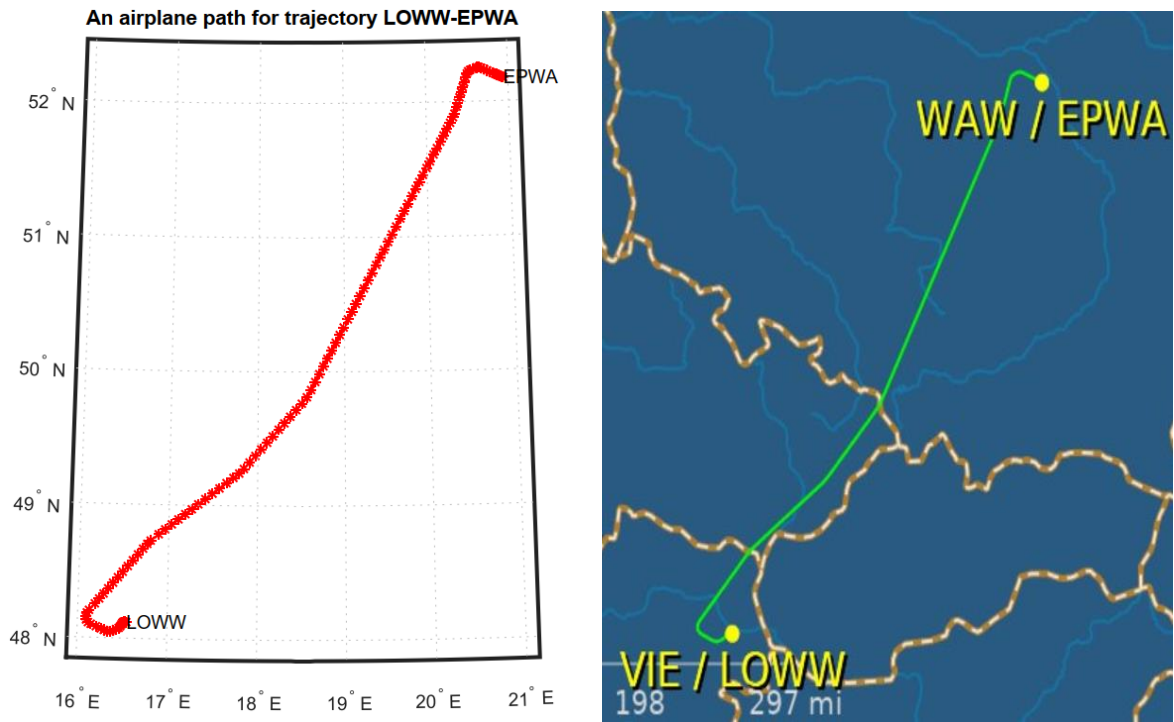


Рисунок 4.2 – Траєкторія руху рейсу AUA627/OS627 від 06.12.23.

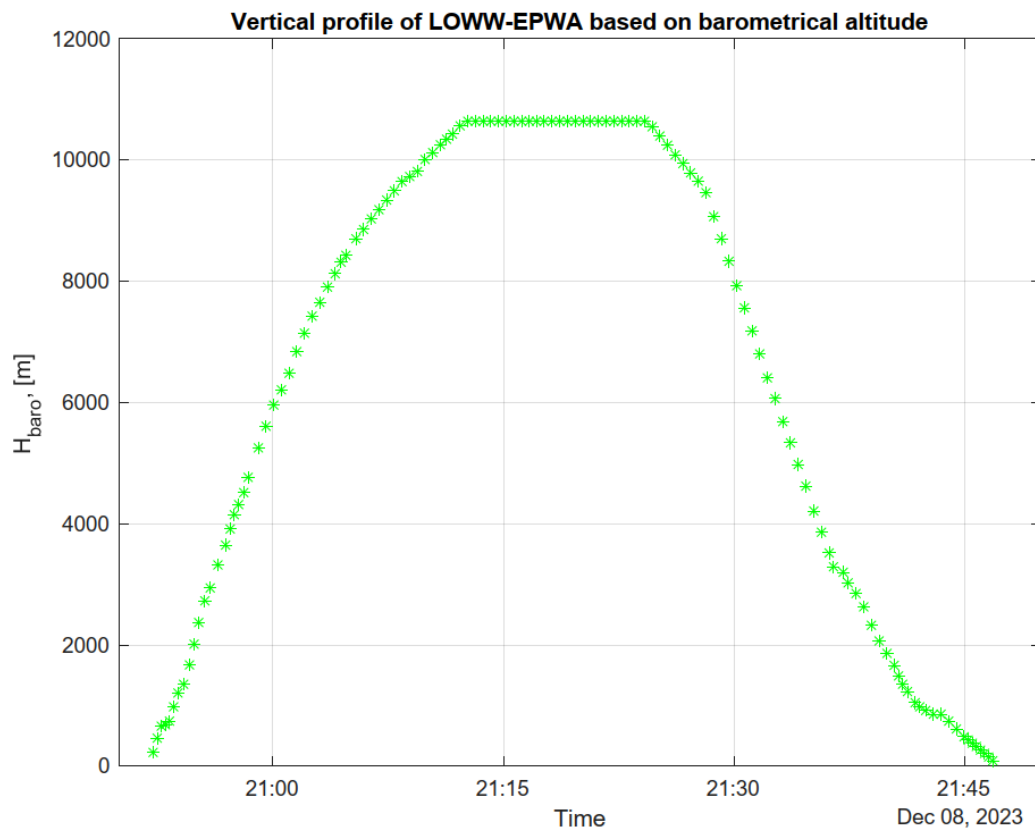


Рисунок 4.3 – Вертикальний профіль рейсу AUA627/OS627 від 06.12.23

Інтерполяція траєкторних даних

Цифрові повідомлення передані за концепцією ADS-B є несинхронізованими за часом. Кожин передавач може бути налаштований на

свою частоту видачі цифрових повідомлень. Крім того слід відмітити що частота 1090МГц є доволі завантаженою, оскільки на ній працюють вторинні радіолокатори, системи попередження зближень літаків та ADS-B. Це призводить до того, що певні цифрові повідомлення можуть накладатися одні на одне спотворюючись. Тож траєкторні дані є несинхронізовані з багатьма «битими» повідомленнями. Для вирішення цієї проблеми застосовують методи інтерполяції даних. У якості інтерполуючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис. 4.4 - 4.6. Усі наступні обчислення будемо виконувати з інтерпольованими даними. Відобразимо дані у локальній системі NEU. У якості центра системи використаємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 4.7 та рис. 4.8.

An airplane path for trajectory LOWW-EPWA with interpolated data

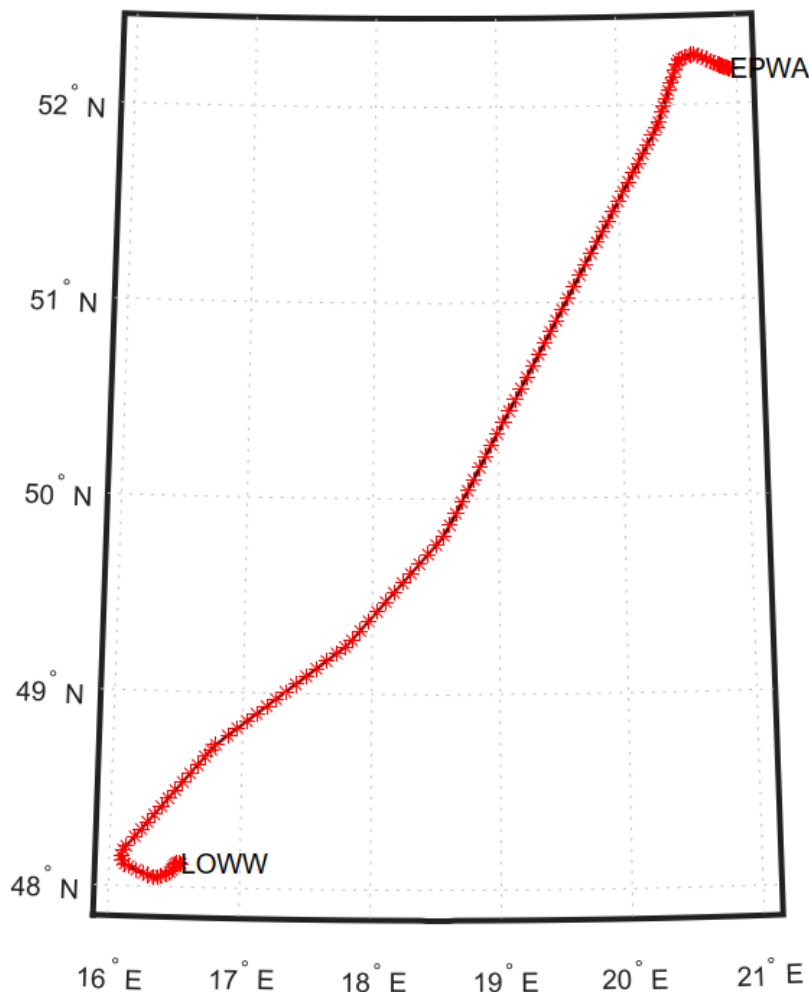


Рисунок 4.4 – Інтерпольована траєкторія руху ПС AUA627/OS627

від 06.12.23

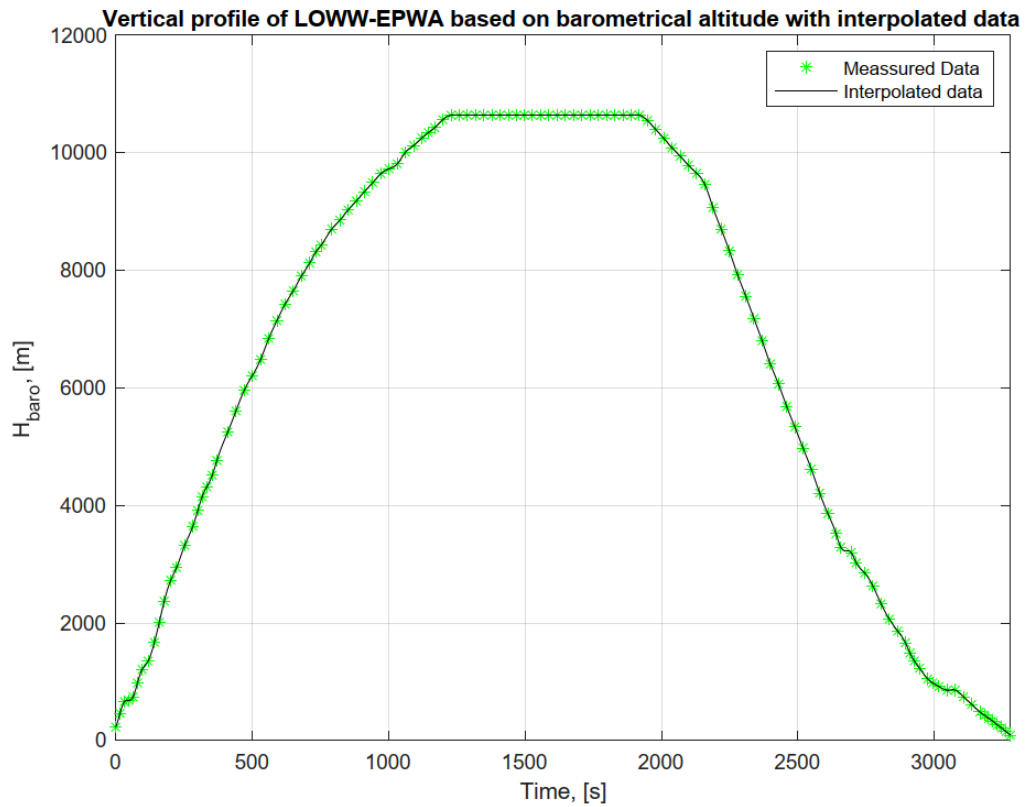


Рисунок 4.5 – Інтерпольований вертикальний профіль ПС рейсу AUA627/OS627 від 06.12.23

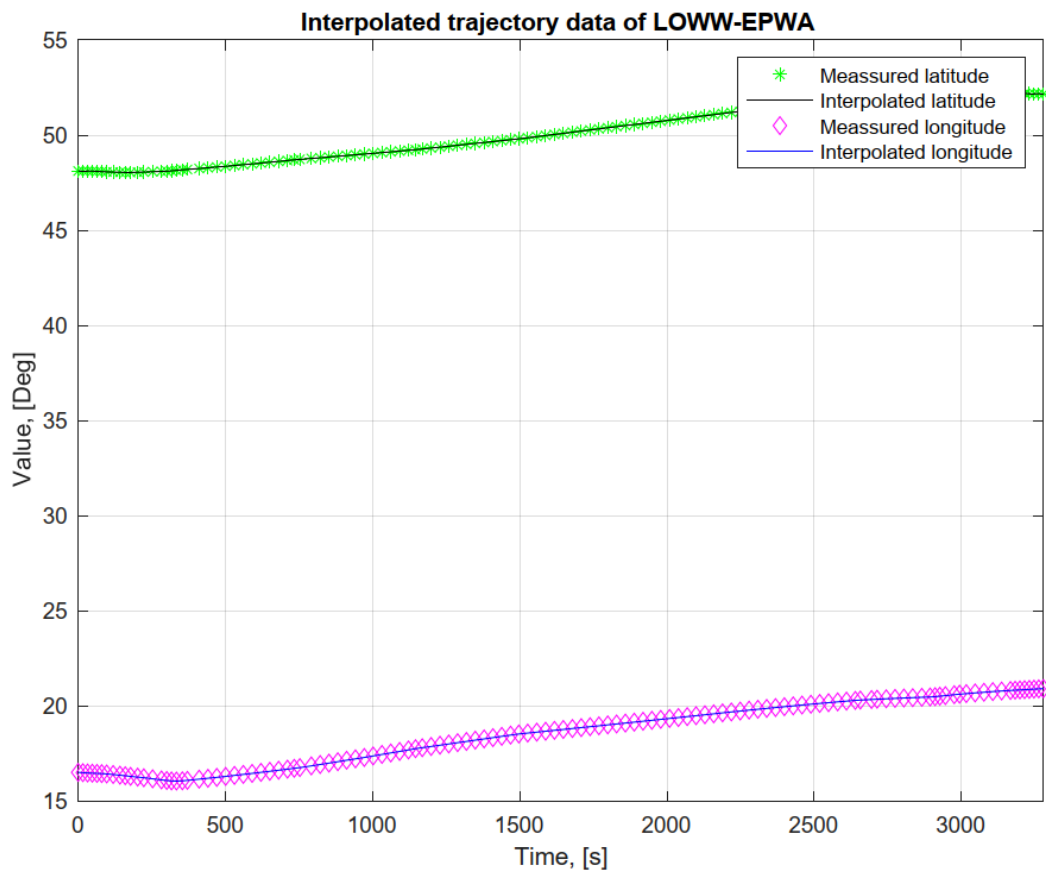


Рисунок 4.6 – Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу AUA627/OS627 від 06.12.23

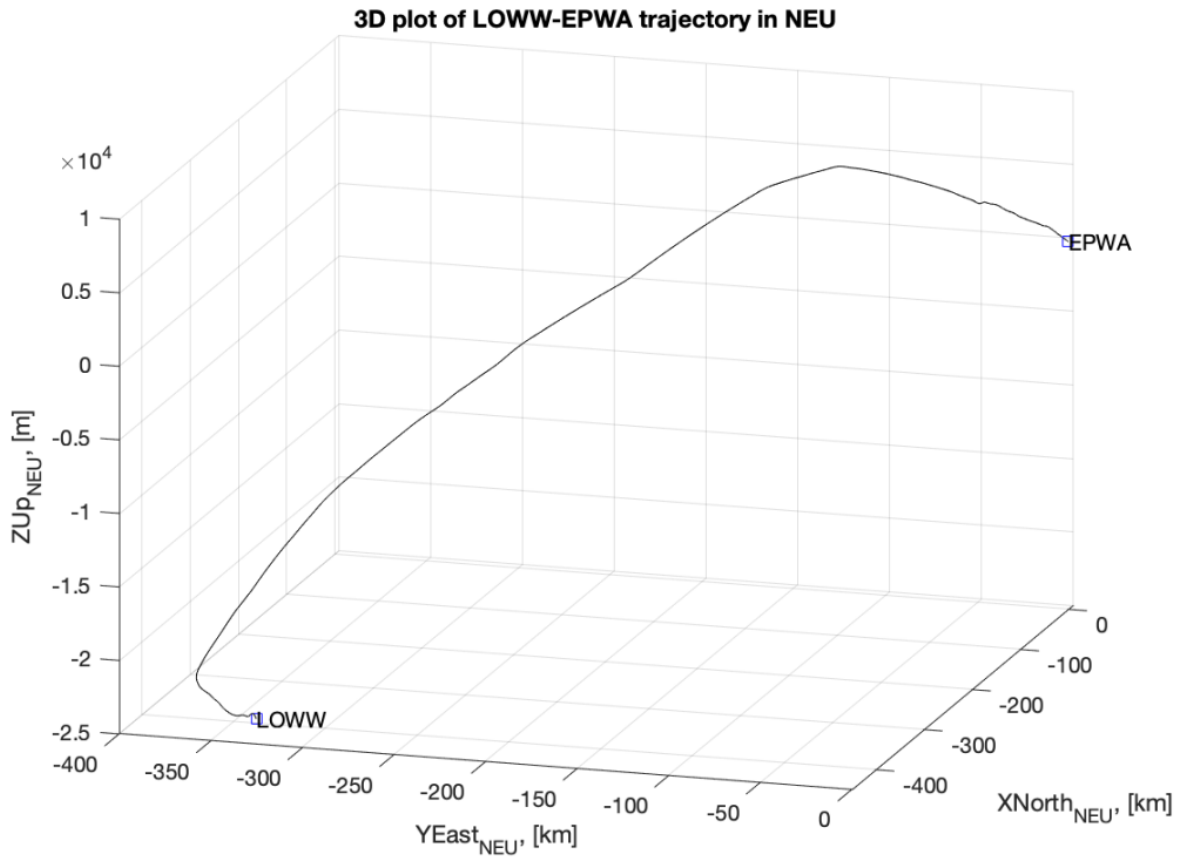


Рисунок 4.7 – Траекторія руху рейсу AUA627/OS627 від 06.12.23 у локальній системі координат

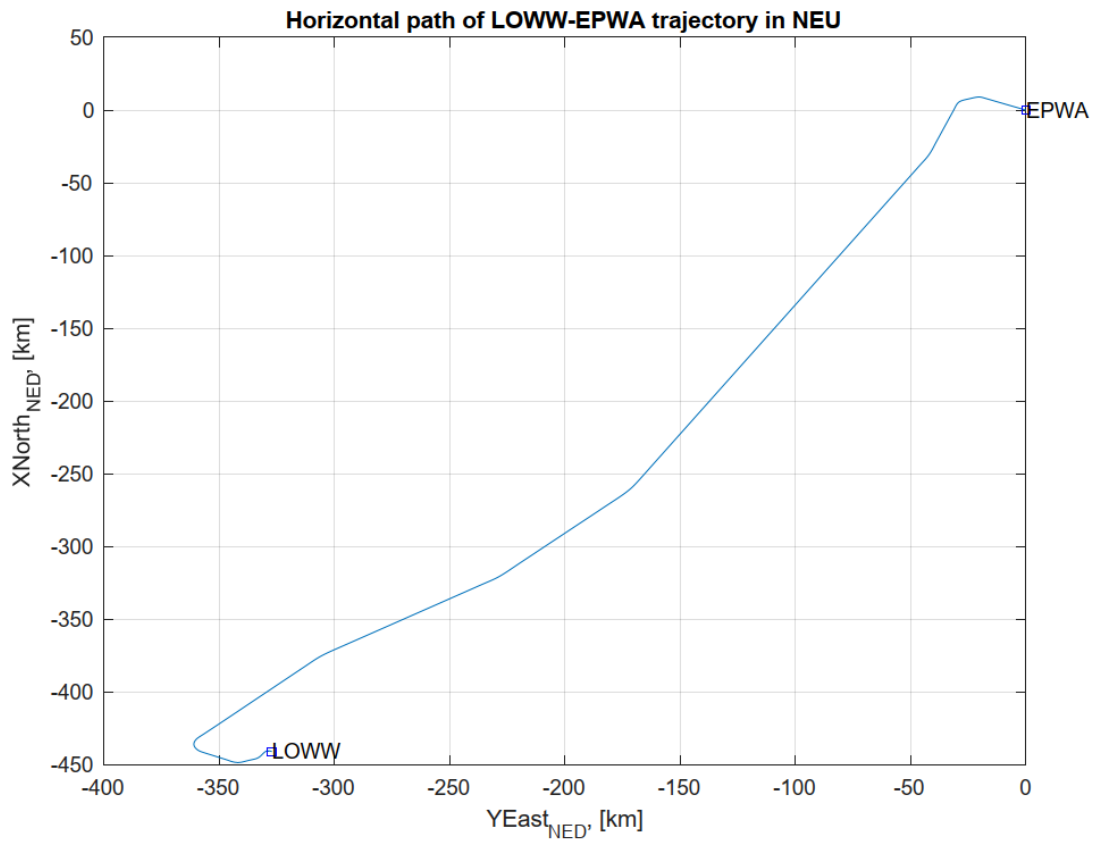


Рисунок 4.8 – Шлях руху рейсу AUA627 від 06.12.23 у локальній системі координат

Розрахунок параметрів траєкторії

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

Загальний час польоту рейсу Austrian Airlines 627 (AUA627/OS627) склав 1 године 3 хв.

Довжина траєкторії – 636.9908 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 636.3432км.

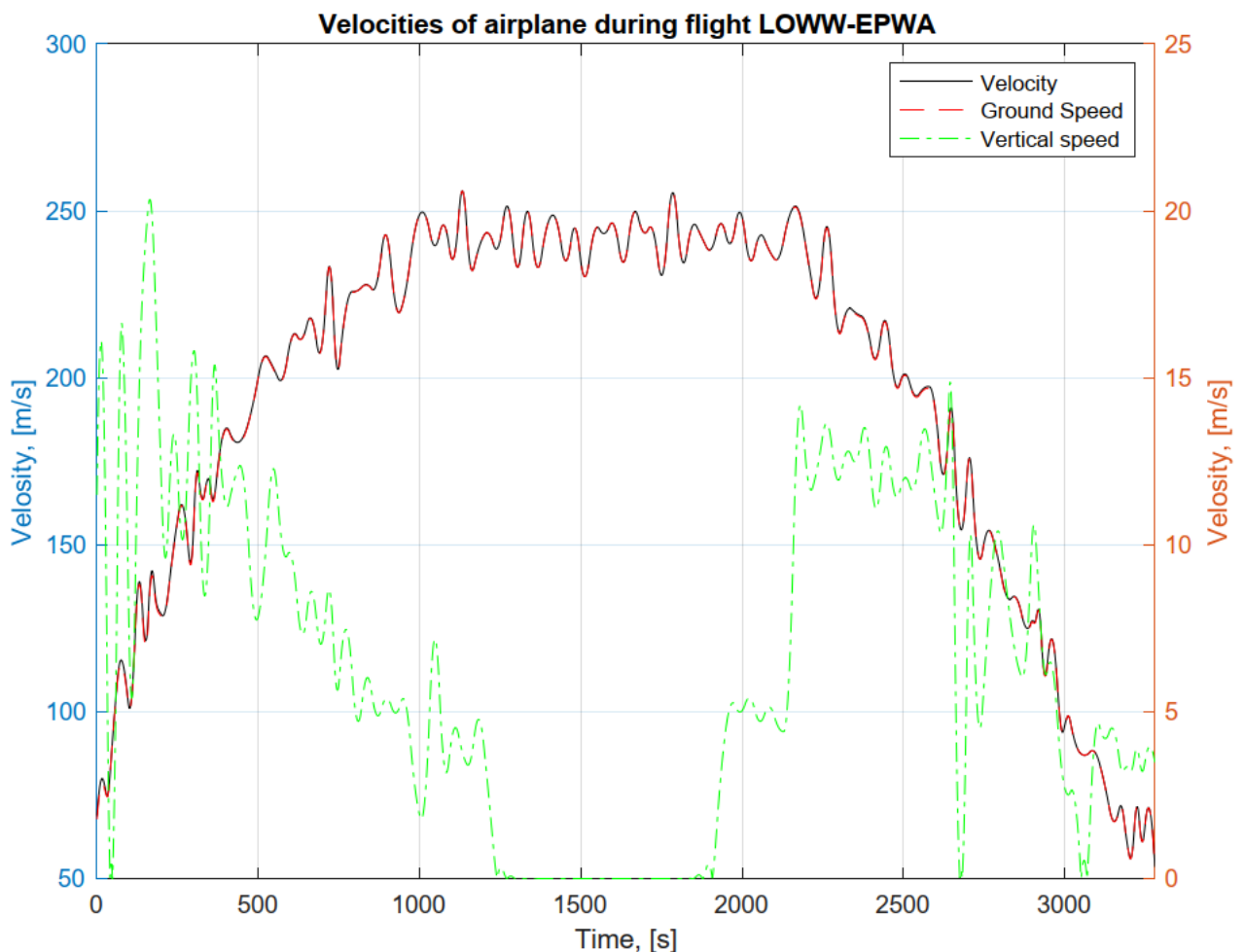


Рисунок 4.9 – Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу AUA627 від 06.12.23

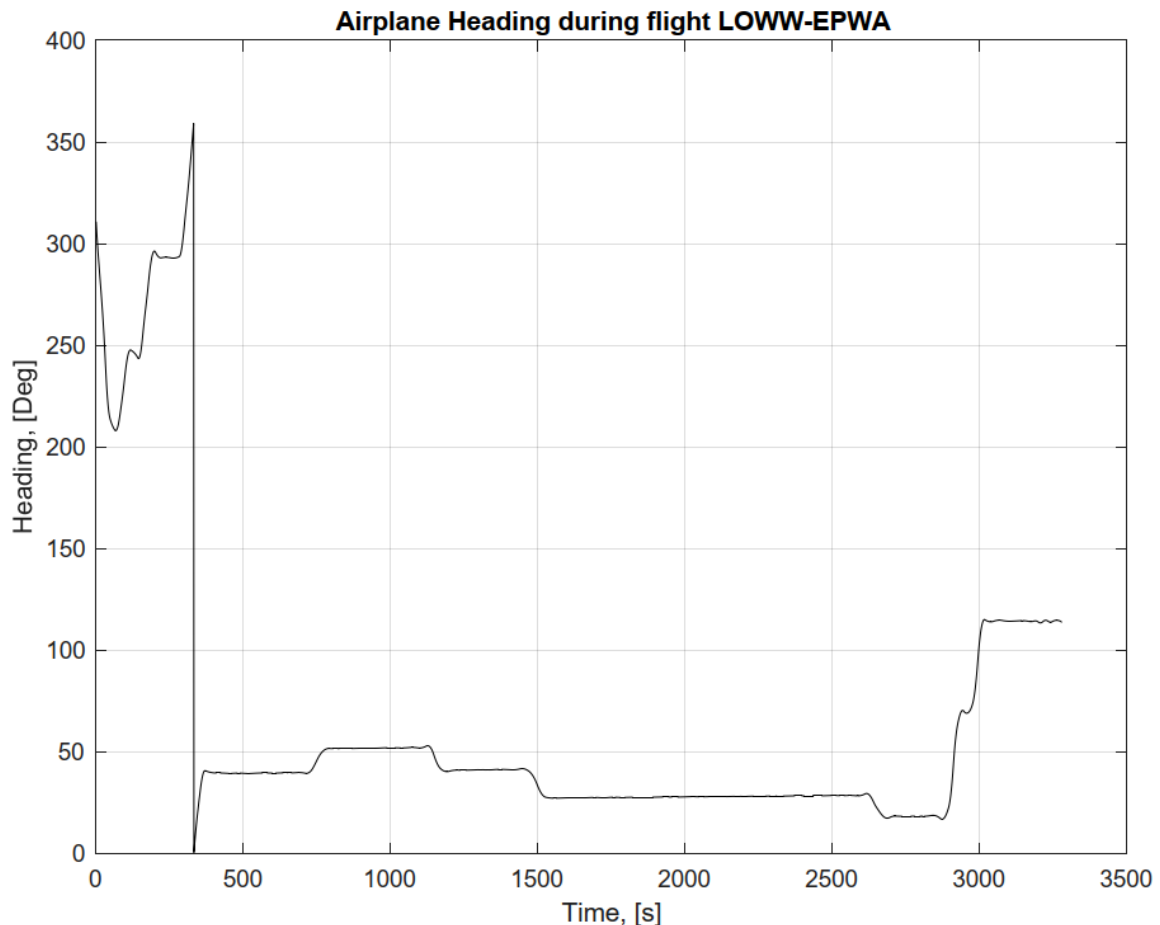


Рисунок 4.10 – Результати розрахунку курсу для рейсу AUA627 від 06.12.23

4.2. Розрахунок часу зайнятості злітно-посадкової смуги для вильоту аеродрому Київ/Антонов-2

Вихідні дані

Метеорологічні дані: ЗПС – суха, чиста; штиль.

Середні статистичні часові дані:

– час, необхідний для передачі та підтвердження інформації і вказівок на заняття виконавчого старту та дозволу на зліт – $T_{ЗВ} = 15$ с;

– час готовності ПС до зльоту – $T_{ГОТ} = 10$ с;

– час, необхідний для дозволу посадки ПС – $T_{ДП} = 5$ с;

Дані аеродрому

– наявна дистанція розбігу – $L_{НДР} = 3502$ м;

– наявна посадкова дистанція – $L_{НПД} = 3502$ м;

– ширина ЗПС – $L_{ЗПС} = 45,0$ м;

– ширина РД1, РД2 $L_{РД} = 23,0$ м;

- відстань від *holding position (HP)* на РД до бічної межі ЗПС $S_{HP} = 30$ м;
- руліжні доріжки РД 1 та РД 2 підходять до торців ЗПС під кутом 90° ;
- радіус розвороту (R_1 та R_2) становлять 45,5 м;
- ширина РД 1 та РД 4 – 23 м;
- НДР = 3502 м,

Льотно-технічні характеристики ПС (табл. 4.2.) відповідно до:

- Aircraft Characteristics Data.

https://www.faa.gov/airports/engineering/aircraft_char_database/data

- Aircraft Performance Database.

<https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>

- $V_{рул}$ – швидкість руління ПС по РД = 30 км/год;
- $V_{зпс}$ – швидкість руління ПС по ЗПС. $V_{зпс} = 60$ км/год.;
- $V_{роз}$ – швидкість розвороту ПС = 9 км/год;

Таблиця 4.2. – Льотно-технічні характеристики ПС

№ п/ч	Тип ПС	WTC/ RECAT-EU	MTOW кг	$L_{розб}$, м	V_2 , км/год (м/с)	$V_{поч}$, км/год (м/с)	V_{ref} , км/год (м/с)	V_{at} , км/год (м/с)	$L_{проб}$, м
1.	Boeing 737-800 Boeing 737-900	M/D Upper Medium	75 000/ 79 000	2300	268 (74.4)	305 (84.7)	280 (77,8)	285 (79,2)	1700
2.	Airbus 320 Airbus 320 neo	M/D Upper Medium	73 000	2200	268 (74.4)	324 (90.0)	253 (70,3)	258 (71,7)	1450
3.	Airbus 330 Airbus 330F	H/B Upper Heavy	251 000	2300	268 (74.4)	324 (90.0)	259 (71,9)	268 (74.4)	1850
4.	Embraer-190/195	M/E Lower Medium	45 000 52 000	2050	259 (71,9)	351 (97,5)	250 (69,4)	253 (70,3)	1350
5.	Антонов 148/158	M/E Lower Medium	39 500 43 000	1700	268 (74.4)	330 (91.6)	240 (66,7)	245 (68,0)	1050
6.	Антонов 124	H/A Upper Heavy	405000	2800	280 (77,8)	330 (91,6)	250 (69,4)	275 (83.4)	2900

Розрахунок часу зайнятості ЗПС 33

Час зайнятості ЗПС 15/33 під час вильоту ПС ($T_{зл}$):

$$T_{зл} = T_{зв} + T_{нр} + T_{гот} + T_{розб} + T_{торця}, \quad (4.1.)$$

де: $T_{зв}$ – час, необхідний для передачі та підтвердження інформації і вказівок на заняття виконавчого старту та дозволу на зліт; $T_{нр}$ – час руління ПС з місця очікування на виконавчий старт; $T_{гот}$ – час готовності ПС до зльоту; $T_{розб}$ – час

розбігу ПС; $T_{\text{торця}}$ – час від відриву ПС до прольоту торця ЗПС.

Час руління ПС з місця очікування на виконавчий старт ($T_{\text{НР}}$):

$$T_{\text{НР}} = \frac{S_{\text{НР}} + l_{\text{розв}}}{V_{\text{рул}}}, \quad (4.2.)$$

де $l_{\text{розв}}$ – довжина дуги розвороту на ЗПС під час заняття виконавчого старту;
 $S_{\text{НР}} – 30$ м.

$$l_{\text{розв}} = \frac{\pi R n^{\circ}}{180},$$

де: $\pi = 3,14158$; $R=45,5$ м – радіус розвороту; n° – кут розвороту ($n^{\circ} = 90^{\circ}$).

Примітка: час $T_{\text{НР}}$ не враховується, якщо він менший за $T_{\text{розб}}$.

Час розбігу ПС ($T_{\text{розб}}$).

$$T_{\text{розб}} = \frac{7,2 L_{\text{розб}} \cdot k_y \cdot k_h \cdot k_t}{(V_2 - V_0) \sqrt{\frac{1}{\rho}}}, \quad (4.3.)$$

де: 7,2 – коефіцієнт, якщо швидкість в км/год, 2 – якщо в м/с; $L_{\text{розб}}$ – потрібна дистанція розбігу в стандартних умовах; V_2 – швидкість на висоті 10 м; V_0 – початкова швидкість розбігу ПС. У даному випадку $V_0 = 0$.

k_y – поправочний коефіцієнт, що враховує середній поздовжній ухил ЗПС, визначається за формулою:

$$k_y = 1 + 9 i_{\text{сер}} \text{ так як } L_{\text{ндр}} > 1000 \text{ м.}$$

$i_{\text{сер}}$ – середній поздовжній ухил ЗПС. Визначається відношенням різниці висот кінців ЗПС до фактичної довжини ЗПС.

$$H_{\text{торця } 33} = 156,3 \text{ м.}, H_{\text{торця } 15} = 154,1 \text{ м.}, L_{\text{ндр}} = 3502 \text{ м.}, i_{\text{сер}} = 0,00063$$

$$k_y = \mathbf{1,0006}$$

k_h – поправочний коефіцієнт, що враховує висоту ЗПС над рівнем моря:

$$k_h = 1 + 2.33 \cdot 10^{-4} H_{\text{макс}}; \quad H_{\text{макс}} = 157,5 \text{ м.};$$

$$k_h = \mathbf{1,0366}$$

k_t – поправочний коефіцієнт, що враховує температуру повітря на аеродромі:

$$1 + 0.01 \cdot (t_{\text{розр}} - t_{\text{ст}})$$

$$t_{\text{розр}} = 1.07 \cdot t_{13} - 3^{\circ}\text{C} = 19,4^{\circ}\text{C}:$$

$$t_{\text{ст}} = 15 - 0.0065 H_{\text{а/д}}; \quad H_{\text{а/д}} = 157,5\text{м.} \quad t_{\text{ст}} = 14^{\circ}\text{C};$$

$$k_t = 1,054$$

ρ – поправочний коефіцієнт, що враховує відносну щільність повітря:

$$\rho = \frac{0,379 P}{273 + t_{\text{розр}}}, \quad \text{де } P = 759 \text{ мм.рт. ст (середній тиск)}$$

$$\rho = 0,9837.$$

$$T_{\text{розб}} = \frac{7,8072 \cdot L_{\text{розб}}}{V_2}.$$

Час прольоту ПС вихідного торця ЗПС ($T_{\text{ТОРЦЯ}}$):

$$T_{\text{торця}} = \frac{7,2 (L_{\text{ндр}} - L_{\text{розб}} \cdot k_y \cdot k_h \cdot k_t - \Delta_{\text{ндр}})}{(V_2 + V_{\text{поч}}) \sqrt{\frac{1}{\rho}}}, \quad (4.4.)$$

де: $L_{\text{торця}}$ – відстань до торця ЗПС від точки зльоту; $V_{\text{поч}}$ – початкова швидкість набирання висоти; $\Delta_{\text{ндр}}$ – коректування НДР під час вирулювання на ЗПС під кутом 90° (рис. 4.11.)

$$L_{\text{торця}} = L_{\text{ндр}} - L_{\text{розб}} \cdot k_y \cdot k_h \cdot k_t - \Delta_{\text{ндр}}.$$

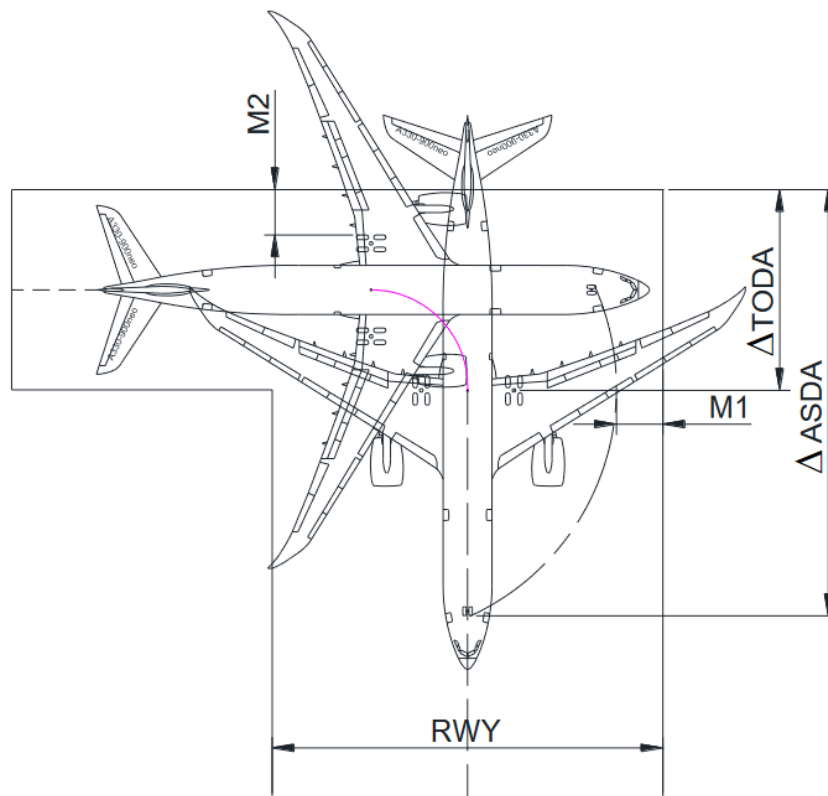


Рисунок 4.11. Коректування НДР

Таблиця 4.3. – Складові зайнятості ЗПС під час зльоту

№ п/ч	Тип ПС	WTC/ RECAT-EU	$T_{зв.}$ с	$T_{гот.}$ с	$T_{нр.}$ с	$\Delta_{ндр 90}$, м	$L_{торця}$, м	$T_{торця}$, с	$T_{розб.}$ с	$T_{зпс зл.}$ с
1.	Boeing 737-800/W/F Boeing 737-900	M/D	15	10	12	12	976	12	67	104
2.	Airbus 320/320 neo	M/D	15	10	12	12	1096	13	64	102
3.	Airbus 330/330F	H/B	15	10	12	20	968	12	67	104
4.	Embraer-190/195	M/E	15	10	12	13	1248	15	62	102
5.	АНТОНОВ 148/158	M/E	15	10	12	12	1632	20	50	95
6.	АНТОНОВ 124	H/A	15	10	12	25	416	5	78	108

Розрахунок часу зайнятості ЗПС 15

Час зайнятості ЗПС під час вильоту ПС ($T_{зпс 15}$) рис. 4.12:

$$T_{зл 15} = T_{нр} + T_{рул} + T_{180} + T_{зв} + T_{гот} + T_{розб} + T_{торця},$$

де: $T_{зв}$ – час, необхідний для передачі та підтвердження інформації та вказівок на заняття виконавчого старту та дозволу на зліт; $T_{нр}$ – час вирулювання ПС з місця очікування на ЗПС; $T_{рул}$ – час руління по ЗПС; T_{180} – час розвороту на ЗПС на 180 градусів; $T_{гот}$ – час готовності ПС до зльоту; $T_{розб}$ – час розбігу ПС; $T_{торця}$ – час від відриву ПС до прольоту торця.

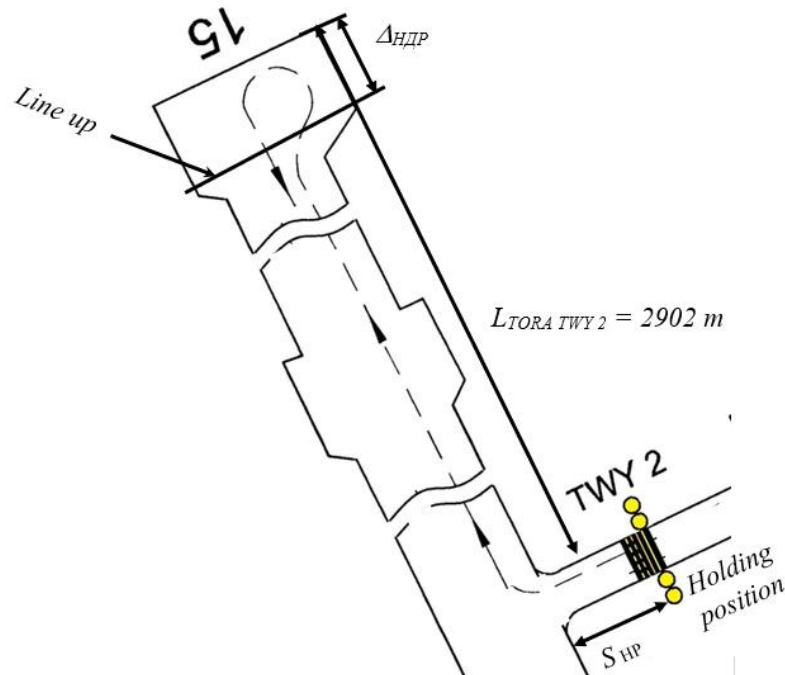


Рисунок 4.12 – Схема руху ПС для вильоту по РД 2 ЗПС 15

Час вирулювання з HP на ЗПС ($T_{нр}$) визначається по формулі 4.2.

Час руління ПС від РД 2 до місця розвороту на ЗПС 15 ($T_{рул}$):

$$T_{рул} = \frac{L_{TORA РД 2}}{V_{зпс}} = \frac{2902}{60} = 174 \text{ с,}$$

Час розвороту ПС на ЗПС (T_{180}):

$$T_{180} = \frac{\pi R}{V_{180}},$$

де: $\pi = 3,14158$; R – радіус розвороту (180 градусів); V_{180} – обмежена 5 kt (2,57 м/с).

Радіус розвороту (рис. 4.13.) залежить від категорії ПС (Дос. ІСАО 9157 AN901 Керівництво по проектуванню аеродромів. Частина 1. Злітно-посадкові смуги).

Категорія С – Boeing 737-800/W/F, Boeing 737-900, Airbus 320/320 neo, Embraer-190/195, Антонов 148/158

Радіус розвороту – 22,0 м. **Час розвороту $T_{180} = 27$ с.**

Категорія Е – Airbus 330/330F

Радіус розвороту – 38 м. **Час розвороту $T_{180} = 46$ с.**

Категорія F – Antonov 124-100

Радіус розвороту – 45,5 м. **Час розвороту $T_{180} = 55$ с.**

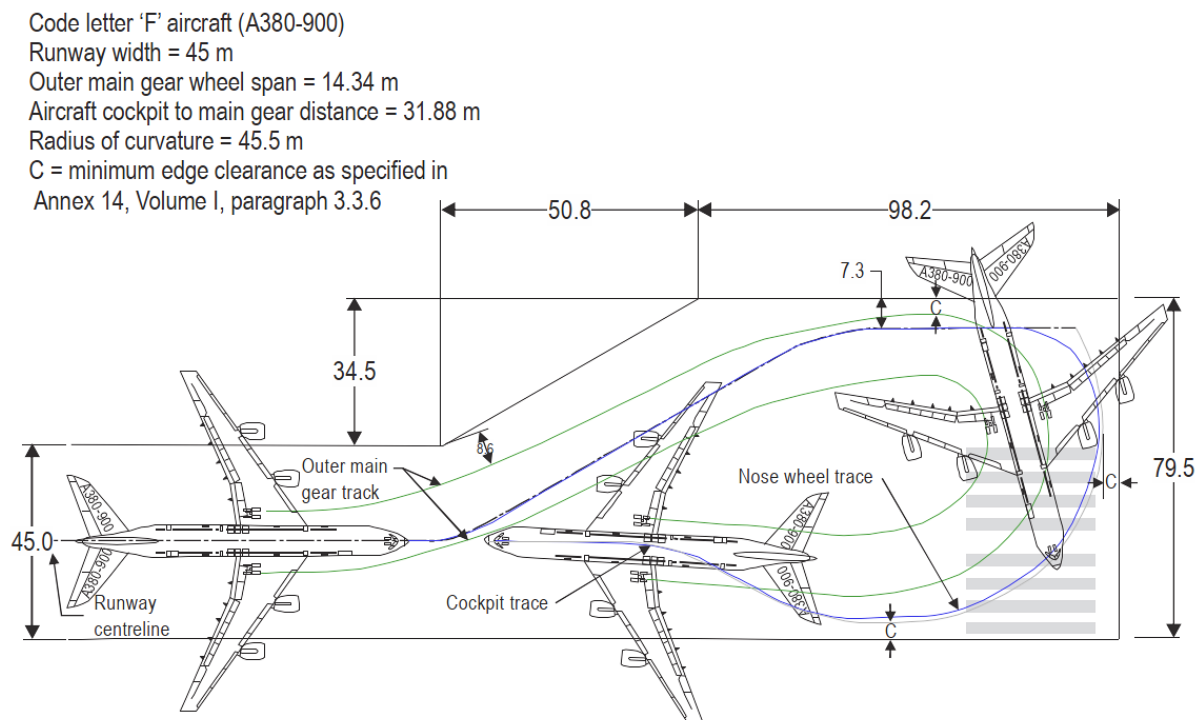


Рисунок 4.13 – Схема розвороту ПС на ЗПС

Час розбігу ПС ($T_{розб}$) визначається по формулі 4.3.

Час прольоту ПС вихідного торця ЗПС ($T_{торця}$) визначається по формулі 4.4.

Де: $\Delta_{ндр}$ – коректування НДР під час розвороту на 180° , здійснюється в кінці ЗПС (рис. 4.14).

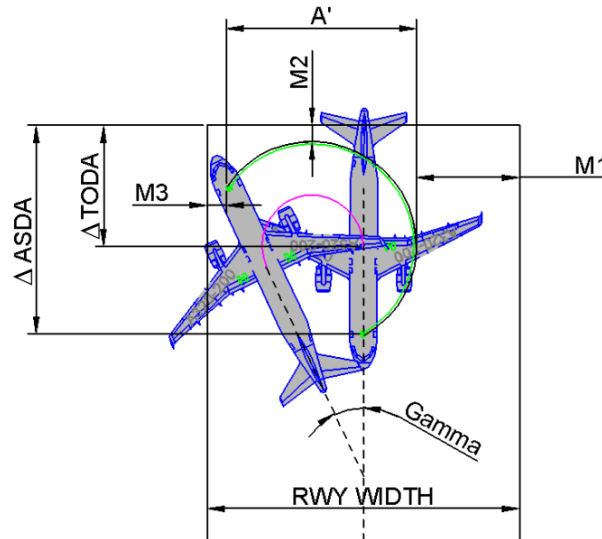


Рисунок 4.14. – Коректування НДР під час розвороту на 180 градусів

Таблиця 4.4. – Розрахунок складових зайнятості ЗПС 15 під час зльоту

№ П/ч	Тип ПС	$T_{нр}$, с	$T_{рул}$, с	T_{180} , с	$T_{зв}$, с	$T_{гот}$, с	$\Delta_{ндр 180}$, м	$S_{торця}$, м	$T_{торця}$, с	$T_{розб}$, с	$T_{зл 15}$, с
1.	Boeing 737-800/W/F Boeing 737-900	12	174	27	15	10	17	971	12	67	305
2.	Airbus 320/320 neo	12	174	27	15	10	17	1091	13	64	303
3.	Airbus 330/330F	12	174	46	15	10	43	945	12	67	324
4.	Embraer-190/195	12	174	27	15	10	15	1246	15	62	303
5.	Антонов 148/158	12	174	27	15	10	15	1629	20	50	296
6.	Антонов 124	12	174	55	15	10	50	381	5	78	337

На час зайнятості ЗПС впливають такі фактори:

- Метеорологічні умови (напрямок та швидкість приземного вітру, температура повітря, атмосферний тиск та щільність повітря);
- Стан та розташування ЗПС (поздовжній ухил ЗПС, покриття);
- Злітна маса ПС.

Для визначення середнього часу зайнятості ЗПС необхідно знати процентне відношення ПС.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Безпека праці при технічному обслуговуванні авіаційної техніки

В Україні створена система державних нормативних актів про охорону праці. Правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, затверджені державними органами в межах їх компетенції, мають чинність правових норм, підлягають виконанню, і їх невиконання або неналежне виконання тягне юридичну відповідальність аж до кримінальної.

Опрацювання та прийняття нових, перегляд і скасування чинних державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів про охорону праці (ДНАОП) здійснюється Державним комітетом з нагляду за охороною праці за участю інших державних органів і професійних спілок.

Положення про опрацювання, прийняття, перегляд і скасування державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів про охорону праці передбачає, що ДНАОП опрацьовуються під керівництвом і за особистою участю спеціалістів Держнаглядохоронпраці, Міністерства екології і природних ресурсів, санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я і управління пожежної безпеки МНС.

Функцію головної організації щодо опрацювання ДНАОП виконує Національний науково-дослідний інститут охорони праці, який входить до системи державного нагляду за охороною праці. З питань опрацювання державних нормативних актів з правил гігієни праці, пожежної, ядерної та радіаційної безпеки головні організації визначаються відповідно Міністерством охорони здоров'я, Міністерством з питань надзвичайних ситуацій і Міністерством екології і природних ресурсів.

У кожній галузі народного господарства визначається базова організація щодо опрацювання нормативних актів про охорону праці.

Плани опрацювання ДНАОП - перспективні (п'ятирічні) та уточнені (річні) - затверджує Держнаглядохоронпраці. Про це дається інформація в журналі

"Охорона праці". Поряд з цим інформуванням, ДНАОП підлягають реєстрації як і всі нормативні акти міністерств і відомств у Міністерстві юстиції. Наказом Держнаглядохоронпраці затверджено Порядок побудови, викладу та оформлення державних нормативно-правових актів про охорону праці (цей акт не був зареєстрований в Міністерстві юстиції).

На відміну від ДНАОП, стандарти, технічні умови та інші нормативно-технічні документи на засоби праці, а також технологічні процеси затверджуються Держстандартом. Вони повинні містити вимоги щодо охорони праці і в цій частині підлягають погодженню з органами державного нагляду охорони праці.

Нормативні акти підприємств з питань охорони праці не можуть замінити ДНАОП. Тому відповідно до частини четвертої ст. 157 КЗпП у разі відсутності в ДНАОП вимог, які необхідно виконувати для забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці на певних роботах, власник зобов'язаний вжити погоджені з органами державного нагляду за охороною праці заходи, з метою забезпечення безпеки працівників.

Державний комітет України по нагляду за охороною праці затвердив Державний галузевий нормативний акт про охорону праці «ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ і поточному ремонті авіаційної техніки». Дія цих Правил поширюється на всі підприємства, об'єднання, організації та авіакомпанії цивільної авіації незалежно від відомчої належності та форми власності. Вимоги цих Правил є обов'язковими для всіх працівників, зайнятих технічним обслуговуванням і поточним ремонтом авіаційної техніки.

При зустрічі, установці ПС на місце стоянки і вирулюванні можуть мати місце такі основні небезпечні і шкідливі виробничі фактори [29] :

- повітряні судна, спецтранспорт, самохідні машини і механізми, що рухаються;

- струмені вихлопних газів, що витікають із великими швидкостями при запуску і випробуванні авіадвигунів; випадкові предмети (камені, пісок і т.п.), що

потрапляють у ці струмені;

- підвищений рівень шуму при працюючих силових установках повітряного судна;*
- підвищена запиленість повітря на аеродромах із ґрунтовим покриттям;*
- підвищена або знижена відносна вологість повітря;*
- підвищена яскравість (виблискування) світла; пульсація світлового потоку.*

При рулінні командир ПС повинен стежити за тим, щоб повітряна або газова струмінь від силових установок ПС не направлялася на інші ПС, аеродромне устаткування і споруди, що знаходяться на відстані менше 100 м. Командиру ПС забороняється зарулювати на місце стоянки, якщо відсутня особа, відповідальна за зустріч повітряного судна [29].

При зустрічі літака з газотурбінними двигунами або вертольота, особа, яка зустрічає повинна знаходитися в полі зору командира ПС на відстані не менше 25 м від нього, а при зустрічі літака з поршневіми двигунами - на відстані не менше 10 м, подаючи при цьому встановлені команди і сигнали.

Проте правила не можуть передбачити небезпечні зони конкретного типу ПС та двигунів які встановлені на цьому ПС. Для кожного типу ПС розробляється керівництво по плануванню та технічному обслуговуванню ПС на аеродромі. [30, 31, 42].

В таких керівництвах відображені небезпечні зони двигунів (рис. 5.1 - 5.4).
Небезпечні зони двигунів, наведені в нормалізованому форматі:

- Вхідні коридори доступні лише під час простою землі.
- Не заходьте в зони між двигунами.
- Небезпечні зони вихлопу наведені для зустрічного вітру 0 вузлів (якщо не зазначено інше).

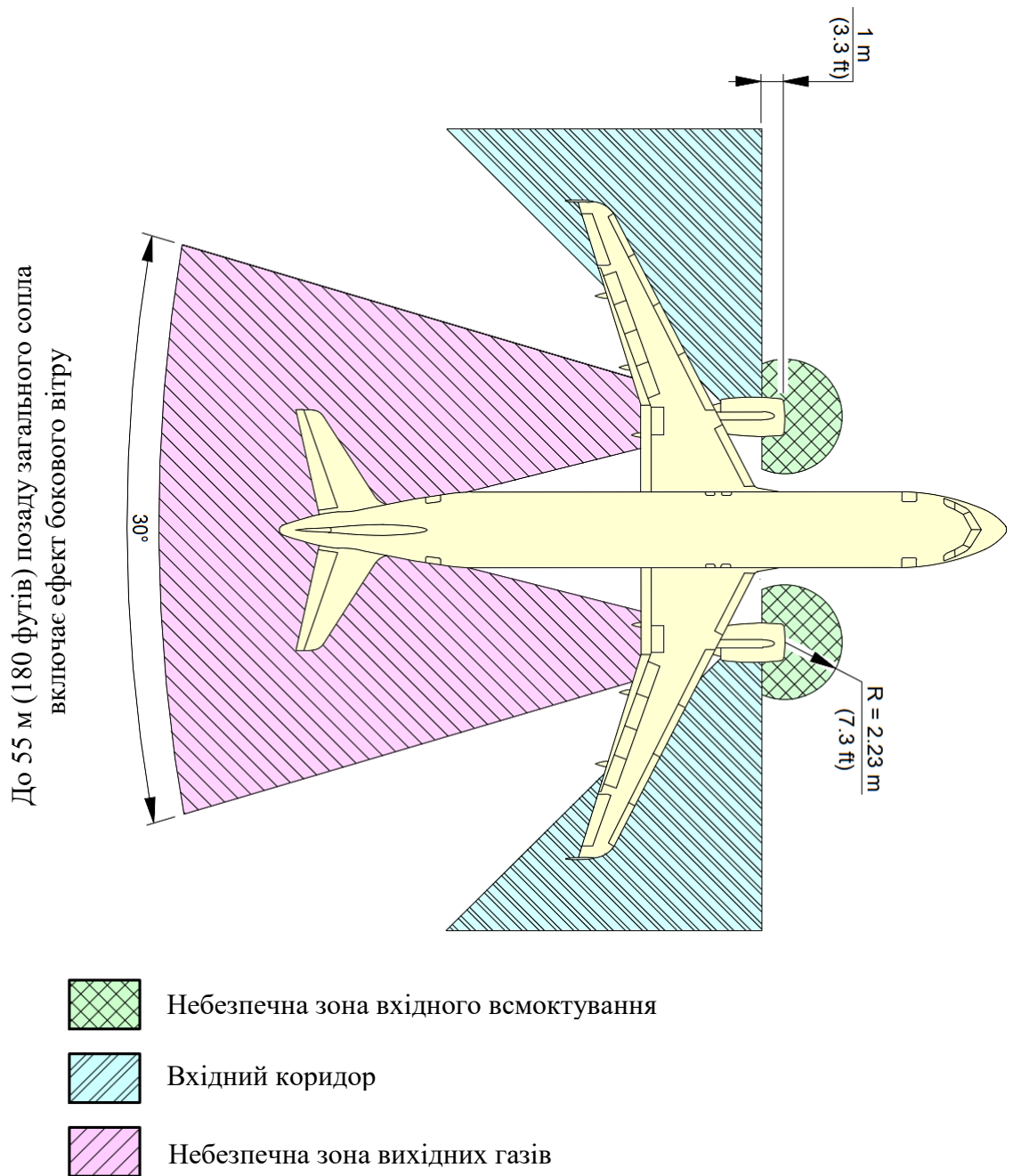


Рисунок 5.1 – Airbus 320-200. Небезпечні зони двигунів.
Двигун серії CFM56 [30].

Конструкцією ПС окрім основних двигунів передбачені також додаткові силові установки. Допоміжна силова установка чи допоміжний силовий агрегат— допоміжне джерело енергії на транспортному засобі, не призначене для переміщення транспортного засобу. В багатьох випадках призначенням ДСУ є запуск основного двигуна, а також забезпечення транспортного засобу під час стоянки. Вони також мають свої небезпечні зони (рис. 5.2)

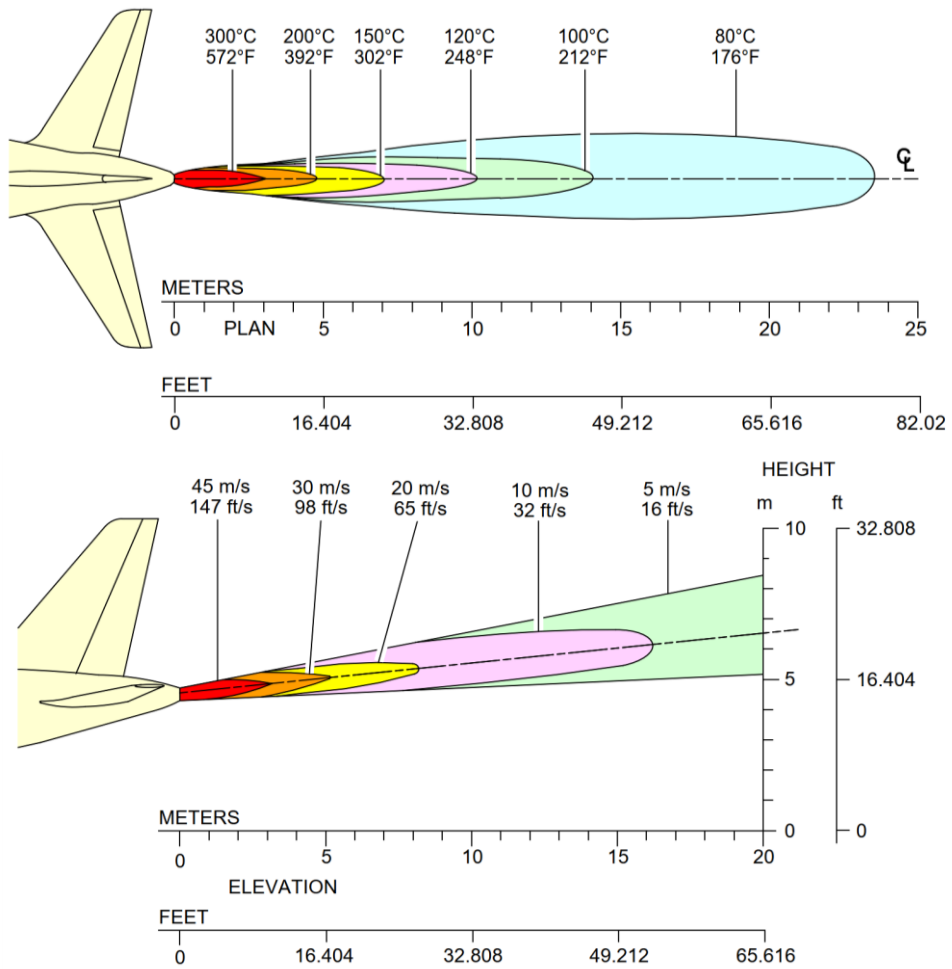


Рисунок 5.2 – Airbus 320-200. Небезпечні зони двигунів. ДСУ [30].

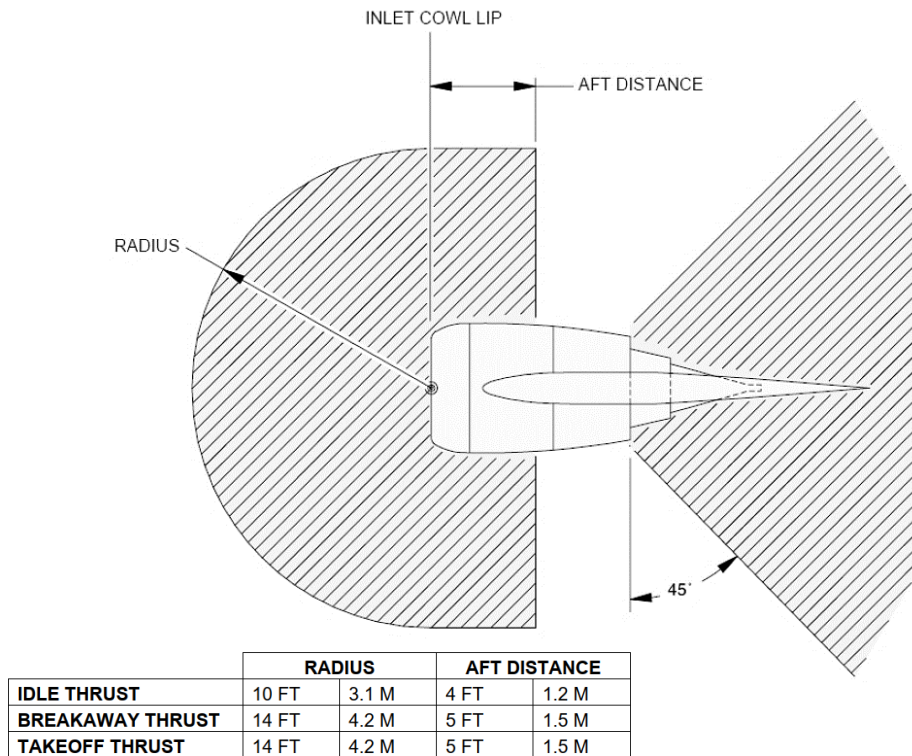
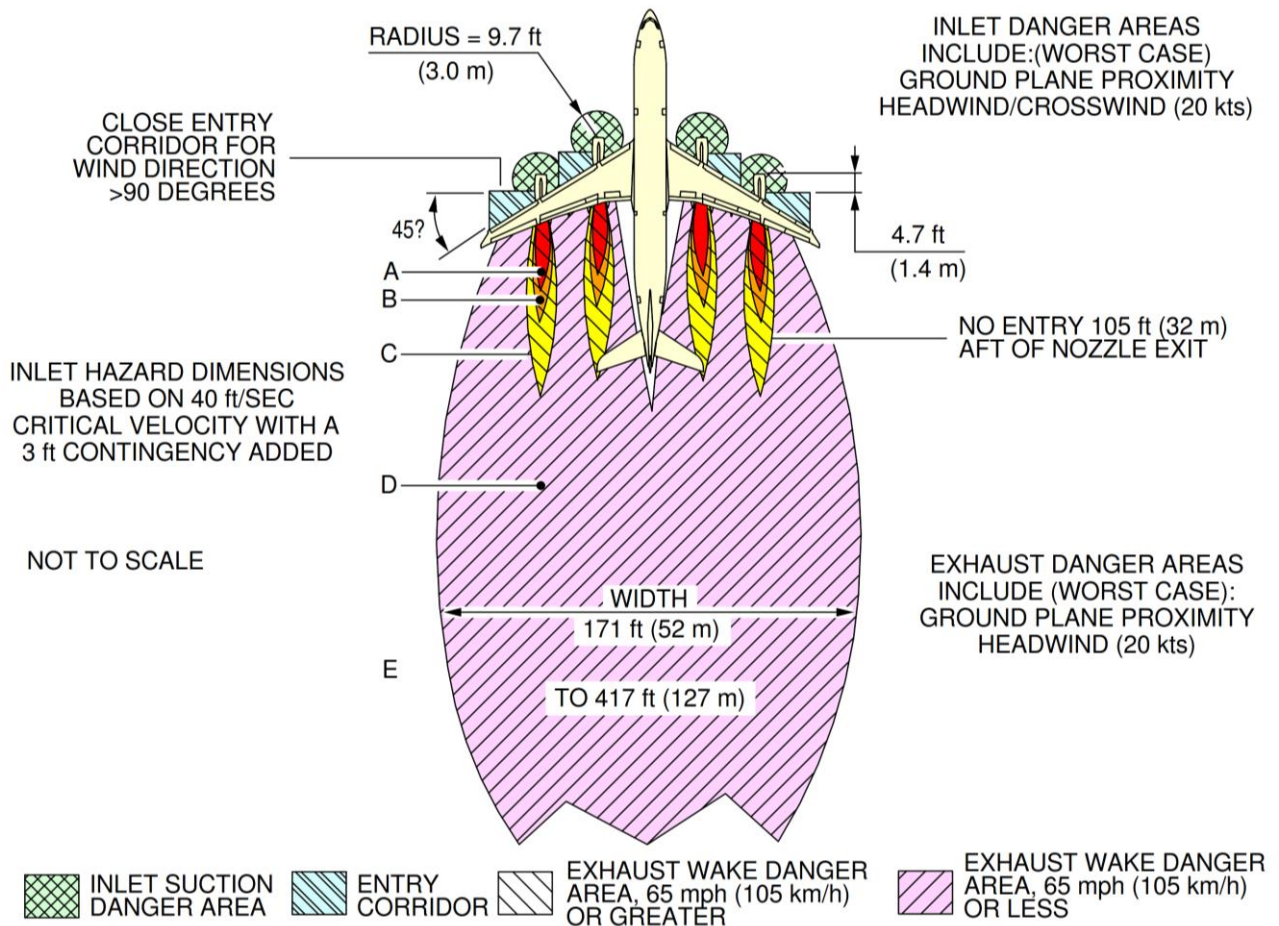


Рисунок 5.3 – Небезпечні зони входу: моделі Боїнг 737-600, -700, -800, -800BCF, -900, -900ER, з крильцями та без них [32].



AREA	APPROX. WIND VELOCITY mph (km/h)	POSSIBLE EFFECTS WITHIN DANGER ZONE BASED ON "RADIOLOGICAL DEFENSE", VOL. II, ARMED FORCES SPECIAL WEAPONS PROJECT, NOV 1951.
A	210–145 (338–233)	A MAN STANDING WILL BE PICKED UP AND THROWN; AIRCRAFT WILL BE COMPLETELY DESTROYED OR DAMAGED BEYOND ECONOMICAL REPAIR; COMPLETE DESTRUCTION OF FRAME OR BRICK HOMES.
B	145–105 (233–169)	A MAN STANDING FACE – ON WILL BE PICKED UP AND THROWN; DAMAGE NEARING TOTAL DESTRUCTION TO LIGHT INDUSTRIAL BUILDINGS OR RIGID STEEL FRAMING; CORRUGATED STEEL STRUCTURES LESS SEVERELY.
C	105–65 (169–105)	MODERATE DAMAGE TO LIGHT INDUSTRIAL BUILDINGS AIR TRANSPORT – TYPE AIRCRAFT.
D	65–20 (105–32)	LIGHT TO MODERATE DAMAGE TO TRANSPORT – TYPE AIRCRAFT.
E	< 20 (32)	BEYOND DANGER AREA.

Рисунок 5.4 – Airbus 340-200. Небезпечні зони двигунів.

Двигун серії CFM56-5C [31]

Рух авіаційного персоналу, спецтранспорту, самохідних машин і механізмів перед повітряним судном, що рулює, забороняється.

Після установки ПС на місце стоянки, вимкання двигунів і припинення обертання повітряних гвинтів, повітряне судно повинно бути негайно заземлене

за допомогою спеціального пристрою, а під колеса основних опор повинні бути встановлені упорні колодки [29].

Установка упорних колодок під колеса основних опор до вимикання двигунів і повної зупинки повітряних суден категорично забороняється.

Забороняється встановлювати під колеса основних опор упорні колодки, конструкція яких не відповідає передбаченій для ПС даного типу і, які не мають тросів для їх прибирання [29].

До технічного обслуговування силових установок дозволяється приступати після повного припинення обертання повітряних гвинтів і роторів двигунів; установки упорних колодок під колеса шасі; підключення ПС до заземлюючого пристрою та охолодження гарячих частин двигуна і його систем.

Промивання двигуна слід провадити миючою рідиною, передбаченою технологією, після його повного охолодження з вживанням заходів, що виключають попадання миючої рідини на авіаційний персонал, гумові вироби, електропроводку, агрегати спецобладнання і місце стоянки повітряного судна.

Запуск і випробування двигунів слід провадити після припинення інших робіт на повітряному судні. При цьому поблизу ПС дозволяється знаходитися тільки авіаційному персоналу, який приймає особисту участь у підготовці і проведенні запуску. При працюючих двигунах знаходиться в площині обертання повітряних гвинтів, забороняється [29].

Особи, які контролюють запуск двигунів на землі, повинні бути забезпечені засобами зв'язку з кабіною екіпажу і засобами індивідуального захисту органів слуху, що забезпечують зниження звука до рівня не більш 80 дБА.

Перед випробуванням двигуна або його реверсивних пристроїв у літню пору необхідно зробити полив водойми площадки запуску, з метою запобігання підвищеного пилоутворення.

У зоні витікання газової струмені, при працюючому двигуні, не повинні знаходитися люди, устаткування і споруди. Небезпечним є відстані менше 50 м у напрямку виходу газів із двигуна і менше 10 м - перед повітрозбірником двигуна.

5.2. Охорона навколишнього середовища

Європейська зелена угода

Європейська комісія прийняла пакет пропозицій, спрямованих на те, щоб політика ЄС у сфері клімату, енергетики, землекористування, транспорту та оподаткування була придатною для скорочення чистих викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Досягнення цих скорочень викидів у наступне десятиліття має вирішальне значення для того, щоб Європа стала першим у світі кліматично нейтральним континентом до 2050 року та втілила в життя Європейську зелену угоду. Завдяки розробленим пропозиціям Комісія представляє законодавчі інструменти для досягнення цілей, узгоджених у Європейському кліматичному законі, і кардинально трансформувати нашу економіку та суспільство для справедливого, зеленого та процвітаючого майбутнього. Зміна клімату та погіршення навколишнього середовища становлять загрозу існування для Європи та світу. Щоб подолати ці виклики, Європейська зелена угода перетворить ЄС на сучасну, ресурсоефективну та конкурентоспроможну економіку, забезпечуючи: [33 – 35]

- відсутність чистих викидів парникових газів до 2050 року
- економічне зростання не пов'язане з використанням ресурсів
- жодна особа і жодне місце не залишилися позаду

Забезпечення ефективного, безпечного та екологічно чистого транспорту

Оскільки транспорт становить близько 5% ВВП ЄС і в якому працює понад 10 мільйонів людей у Європі, транспортна система має вирішальне значення для європейського бізнесу та глобальних ланцюгів поставок. У той же час транспорт не без шкоди для нашого суспільства: викиди парникових газів і забруднюючих речовин, шум, дорожні аварії та затори. Сьогодні транспортні викиди становлять близько 25% загальних викидів парникових газів ЄС, і ці викиди зросли за останні роки. Потрібен чіткий шлях, щоб до 2050 року скоротити викиди парникових газів, пов'язані з транспортом, на 90%. [33 – 35]

Комплексний і взаємопов'язаний набір пропозицій

Пропозиції уможливають необхідне прискорення скорочення викидів парникових газів у наступному десятилітті. Вони поєднують: застосування торгівлі викидами до нових секторів і посилення існуючої системи торгівлі викидами ЄС; збільшення використання відновлюваної енергії; більша енергоефективність; швидше розгортання видів транспорту з низьким рівнем викидів та інфраструктури та видів палива для їх підтримки; узгодження податкової політики з цілями Європейської зеленої угоди; заходи щодо запобігання витоку вуглецю; та інструменти для збереження та зростання наших природних поглиначів вуглецю.

Система торгівлі викидами ЄС (ETS) щороку встановлює ціну на вуглець і знижує обмеження на викиди з певних економічних секторів. За останні 16 років він успішно знизив викиди від виробництва електроенергії та енергоємних виробництв на 42,8%. Сьогодні Комісія пропонує ще більше знизити загальну межу викидів і збільшити щорічні темпи скорочення. Комісія також пропонує поступово скасувати безкоштовні дозволи на викиди для авіації та узгодити з глобальною схемою компенсації та скорочення викидів вуглецю для міжнародної авіації (Carbon Offsetting Scheme for International Aviation – CORSIA) і вперше включити викиди від судноплавства до СТВ ЄС. Щоб вирішити проблему відсутності скорочення викидів на автомобільному транспорті та будівництві, створено окрему нову систему торгівлі викидами для розподілу палива для автомобільного транспорту та будівництва. Комісія також пропонує збільшити розмір фондів інновацій та модернізації. [33 – 35]

Щоб доповнити значні витрати на клімат у бюджеті ЄС, держави-члени повинні витратити весь свій дохід від торгівлі викидами на проекти, пов'язані з кліматом та енергетикою. Виділена частина доходів від нової системи для автомобільного транспорту та будівництва має бути спрямована на можливий соціальний вплив на вразливі домогосподарства, мікропідприємства та користувачів транспорту.

Регламент про розподіл зусиль призначає кожній державі-члену посилені

цілі скорочення викидів для будівель, автомобільного та внутрішнього морського транспорту, сільського господарства, утилізації відходів і малої промисловості. Визначаючи різні початкові точки та можливості кожної держави-члена, ці цілі базуються на їхньому ВВП на душу населення з поправками, внесеними для врахування ефективності витрат.

Соціально справедливий перехід

Хоча в середньостроковій та довгостроковій перспективі переваги кліматичної політики ЄС явно переважають витрати від цього переходу, кліматична політика ризикує створити додатковий тиск на вразливі домогосподарства, мікропідприємства та користувачів транспорту в короткостроковій перспективі. Таким чином, дизайн політики в сьогоdnішньому пакеті справедливо розподіляє витрати на боротьбу зі зміною клімату та адаптацію до неї.

Крім того, інструменти ціноутворення на вуглець збільшують доходи, які можна реінвестувати для стимулювання інновацій, економічного зростання та інвестицій у чисті технології. Пропонується створити новий Фонд соціального клімату для надання цільового фінансування державам-членам, щоб допомогти громадянам фінансувати інвестиції в енергоефективність, нові системи опалення та охолодження та чистішу мобільність. Соціальний кліматичний фонд фінансуватиметься з бюджету ЄС, використовуючи суму, еквівалентну 25% очікуваних доходів від торгівлі викидами для будівельного та автомобільного транспорту. Він надасть державам-членам фінансування в розмірі 72,2 мільярда євро на період 2025-2032 років на основі цільової поправки до багаторічної фінансової рамки. З пропозицією залучити відповідне фінансування держав-членів, Фонд мобілізував би 144,4 мільярда євро для соціально справедливого переходу. [33 – 35]

Переваги дій зараз для захисту людей і планети очевидні: чистіше повітря, прохолодніші та зеленіші міста, більш здорові громадяни, менше споживання енергії та рахунки, європейські робочі місця, технології та промислові можливості, більше простору для природи та здоровіша планета передати

майбутнім поколінням. Завдання, що лежить в основі зеленого переходу в Європі, полягає в тому, щоб переваги та можливості, які з ним пов'язані, були доступні для всіх якомога швидше та якомога справедливо. Використовуючи різні інструменти політики, доступні на рівні ЄС, ми можемо переконатися, що темпи змін є достатніми, але не надто руйнівними.

Схеми компенсацій та скорочення вуглецевих викидів для міжнародної авіації

Пункт 5 резолюції А39-3 Асамблеї ІКАО постановляє запровадити глобальну схему ринкових заходів (РЗ) у вигляді Схеми компенсацій та скорочення вуглецевих викидів для міжнародної авіації для розгляду будь-якого щорічного збільшення загальних викидів CO₂ від міжнародної цивільної авіації (тобто польотів цивільної авіації, які відправляються від одної країни і прибувають в іншу країну) вище рівня 2020 року з урахуванням особливих обставин і відповідних можливостей.

Згідно Резолюції Асамблеї ІКАО, середній рівень викидів CO₂ від міжнародної авіації, охоплений схемою в період з 2019 по 2020 рік, є основою для вуглецево-нейтрального зростання з 2020 року, в порівнянні з яким порівнюються викиди в майбутньому. У будь-який рік з 2021 року, коли викиди CO₂ від міжнародної авіації, охоплені схемою, перевищують середні базові викиди 2019 і 2020 років, ця різниця є компенсуючими потребами сектора в цьому році. [36 – 37]

CORSIA впроваджується поетапно, починаючи з участі держав на добровільній основі, з подальшою участю всіх держав, за винятком звільнених. В такий спосіб: експериментальний етап (з 2021 по 2023 рік) і перший етап (з 2024 по 2026 рік) будуть застосовуватися до держав, які добровільно взяли участь в цій схемі, а також другий етап (з 2027 по 2035 рік) буде застосовуватися до всіх держав, які мають індивідуальну частку міжнародної авіаційної діяльності в РТК в 2018 році, що перевищує 0,5% від загальної кількості РТК, або тих у кого сукупна частка в списку держав від найвищої до найнижчої суми РТК досягають 90% від загальної кількості РТК, за винятком найменш

розвинених країн (HPC), малих острівних держав, що розвиваються (SIDS) і країн, що розвиваються, які не мають виходу до моря (LLDCs), якщо вони не бажають брати участь у цьому етапі (рис. 5.5.). Станом на жовтень 2022 року в CORSIA беруть участь 118 держав. Україна також є учасником CORSIA [36 – 37]

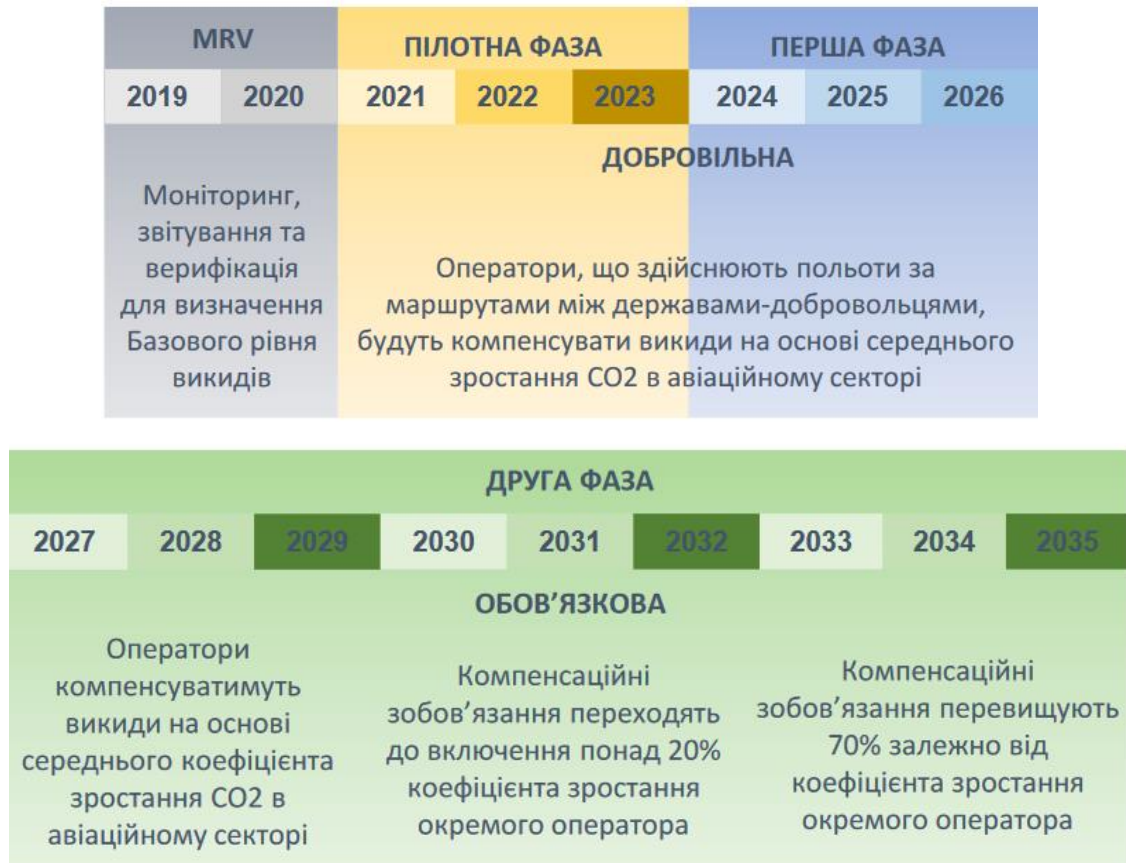


Рисунок 5.5. – План впровадження CORSIA. [37]

Згідно з пунктом 10 резолюції А39-3 Асамблеї ІКАО визначається охоплення схеми на основі маршрутів між державами, маршрут буде охоплюватися схемою, якщо обидві держави, що з'єднують маршрут, беруть участь в схемі, аналогічним чином маршрути не будуть охоплюватися схемою, якщо одна або обидві держави, що з'єднують маршрут, не беруть участі в схемі.

Після того як участь держав і маршрути, що покриваються CORSIA, визначаються в конкретному році з 2021 року і встановлюються відповідні вимогам в даному році (тобто збільшені викидів понад середньої кількості викидів базової лінії в 2019 і 2020 роках), ці вимоги розподіляються між експлуатантами повітряних суден беручи участь в цій схемі, відповідно до формули, що міститься в пункті 11 резолюції Асамблеї.

Пункт 11 резолюції Асамблеї включає концепцію «динамічного підходу» для розподілу компенсуючих вимог, яка поступово переходить від використання 100-процентного секторального тарифу (і 0% -індивідуально) з 2021 по 2029 рік у бік використання індивідуальної ставки не менше 20 відсотків з 2030 до 2032 року, і щонайменше 70 відсотків від 2033 року до 2035 року. «Секторальний коефіцієнт» являє собою глобальний середній коефіцієнт зростання викидів в міжнародному авіаційному секторі за цей рік, в той час як «індивідуальна ставка» являє собою фактор росту окремих операторів викидів в даному році. (рис. 5.6.)

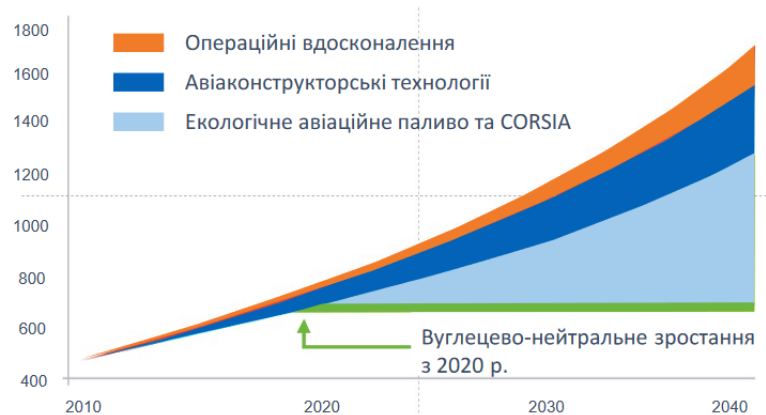


Рисунок 5.6. – Вплив заходів щодо скорочення чистих викидів CO₂ від міжнародної авіації, млн т. [37]

Україна приймає добровільну участь у програмі.

Система MRV в Україні впроваджена відповідно до вимог CORSIA

Положення про MRV створено Державіаслужбою України (ДАСУ)

8 українських авіакомпаній приймають участь у CORSIA (рис. 5.7.)

Звіти про викиди перевіряються іноземними верифікаторами. В Україні немає українських сертифікованих верифікаторів, акредитованих CORSIA

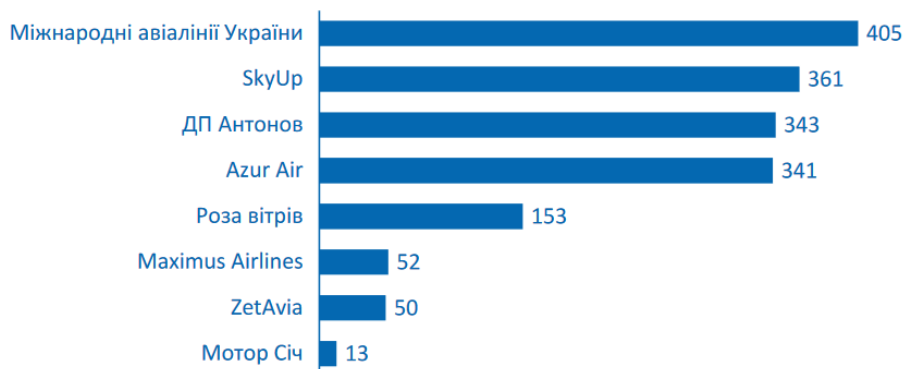


Рисунок 5.7. – Викиди авіакомпаній України за 2021 рік, тис. тон. [37]

Раніше планувалося, що офсетінг для українських авіакомпаній буде обов'язковим з 2024 року. Але, враховуючи обставини, пов'язані з війною (відсутність польотів цивільної авіації та MRV), очікується, що цей період буде перенесено на 2027 рік. (рис. 5.8.)

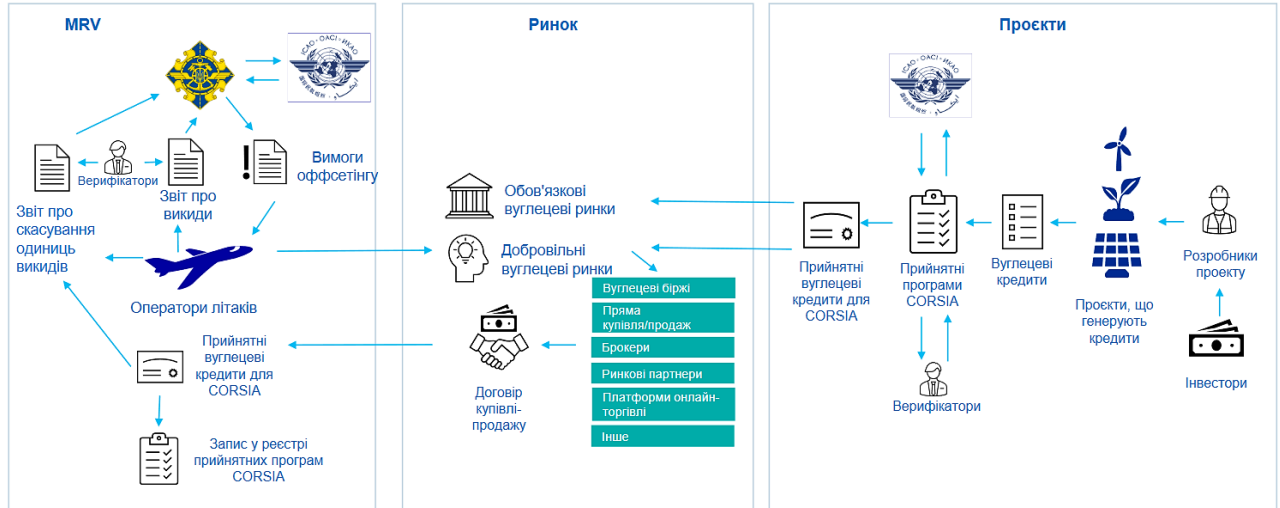


Рисунок 5.8. – План дій України щодо участі в CORSIA. [37]

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Сила вихорів на кінцях крила літака визначається вагою, швидкістю та формою крила літального апарату, що створює.

1. Кут атаки крила безпосередньо впливає на силу його вихору. Щоб підтримувати горизонтальний політ:

- Зі збільшенням ваги кут атаки збільшується.

- Крило в чистій конфігурації (закрилки прибрані) має більший кут атаки, ніж коли закрилки висунуті.

- Зі зменшенням швидкості повітря кут атаки збільшується.

2. Таким чином, найбільша сила вихору виникає, коли літальний апарат, що генерує, **ВАЖКИЙ, ЧИСТИЙ і ПОВІЛЬНИЙ**, наприклад, під час посадки та особливо під час зльоту.

3. Турбулентність у сліді становить небезпеку для будь-якого літального апарату, який значно легший за літальний апарат, що генерує вихор.

1) Літак, який зіткнувся з такою турбулентністю, може отримати значні пошкодження конструкції під час польоту.

2) Порушення висоти та втрата контролю за напрямком також є можливими результатами зіткнення з турбулентністю.

Пілотам слід запам'ятати три основні попередження щодо турбулентності в сліді:

- Не підходьте надто близько до літака що прямує попереду.
- Не знижуйтесь нижче траєкторії польоту літака що прямує попереду.
- Будьте особливо обережні, коли є слабкий вітер.

Органи ОПР мають:

• Проінформувати екіпаж про можливу турбулентність в сліді (особливо для ПС що виконують польоти за ПВП).

• Забезпечувати необхідний мінімум ешелонування пов'язаний з турбулентністю в сліді.

Експлуатант аеродрому:

- Аналізувати та встановлювати маршрути польоту що зменшують вплив турбулентності в сліді.
- Раціонально та гнучко використовувати можливості ЗПС.

Державний комітет України по нагляду за охороною праці затвердив Державний галузевий нормативний акт про охорону праці «ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ і поточному ремонті авіаційної техніки». Дія цих Правил поширюється на всі підприємства, об'єднання, організації та авіакомпанії цивільної авіації незалежно від відомчої належності та форми власності. Вимоги цих Правил є обов'язковими для всіх працівників, зайнятих технічним обслуговуванням і поточним ремонтом авіаційної техніки.

Європейська комісія прийняла пакет пропозицій, спрямованих на те, щоб політика ЄС у сфері клімату, енергетики, землекористування, транспорту та оподаткування була придатною для скорочення чистих викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. Оскільки транспорт становить близько 5% ВВП ЄС і в якому працює понад 10 мільйонів людей у Європі, транспортна система має вирішальне значення для європейського бізнесу та глобальних ланцюгів поставок. Сьогодні транспортні викиди становлять близько 25% загальних викидів парникових газів ЄС, і ці викиди зросли за останні роки.

Україна є учасником CORSIA на добровільній стадії. Українські оператори не використовують схеми добровільного офсетингу.

Ринок офсетингу викидів вуглецю в усьому світі все ще недостатньо розвинений і не повністю стандартизований, але розвивається високими темпами, що стимулюється посиленням регуляторного тиску

Імплементация в українське законодавство Розділів 3 і 4 Стандартів та рекомендованих практик ICAO (SARPs), Додаток 16, Том IV разом з Додатками та розробка вторинного законодавства, щоб уможливити та пояснити процедуру придбання вуглецевих кредитів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обслуговування повітряного руху на цивільних аеродромах України: навч. посіб. / В.П. Харченко, О. Є. Луппо, Г. Ф. Аргунов — К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2013. — 250 с..
2. Ризики зіткнення та ешелонування повітряних кораблів: навч. посіб. / В.П. Харченко, О. Є. Луппо, Г. Ф. Аргунов, С. А.Загора. — К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2011. — 340 с.
3. *Про затвердження* Авіаційних правил України «Обслуговування повітряного руху»: Наказ Державної авіаційної служби України від 16.04.2019 № 475. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 4 липня 2019 р. за № 727/33698 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0727-19>.
4. *Про затвердження* Правил польотів цивільних повітряних суден України: Наказ Міністерства інфраструктури України № 478 від 28.10.2011 р. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 листопада 2011 р. за № 1327/20065 { *Із змінами, внесеними згідно з Наказами Державної авіаційної служби N 475 від 16.04.2019 N 278 від 17.02.2020* } [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1327-11>.
5. *Про затвердження* Авіаційних правил України «Організація повітряного руху»: Наказ Державної авіаційної служби України від 09.12.2021 № 1920. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 07 лютого 2022 р. за № 165/37501 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0165-22#Text>
6. *Про затвердження* Авіаційних правил України «Правила сертифікації цивільних аеродромів України»: Наказ Державної авіаційної служби України від 01.04.2021 № 536. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 12 травня 2021 р. за № № 630/36252 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0630-21#Text>
7. CAP 745. Aircraft Emergencies. Considerations for air traffic controllers — CAA UK — <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/200.pdf>
8. Doc 4444. Procedures for Air Navigation Services (PANS) - Air Traffic Management — 16th Edition,— ICAO — 2016 — P.464.
9. H. Gao, J. Li, P. W. Chan, K. K. Hon, and X. Wang, “Parameter-retrieval of dry-Air wake vortices with a scanning Doppler Lidar,” Opt. Express 26(13), 16377–16392 (2018).
10. [FAA "Pilot and Air Traffic Controller Guide to Wake Turbulence"](#)
11. The Trailing Vortex Wake Hazard: Beyond the Takeoff and Landing Corridors - спосіб доступу: <http://surl.li/nebod>.

12. McGowan, W.A., “Calculated Normal Load Factors on Light Airplanes Traversing the Trailing Vortices of Heavy Transport Airplanes”, NASA TND-829, March 1961.

13. Robinson, G. H., and Larson, R. R., “A Flight Evaluation of Methods for Predicting Vortex Wake Effects on Trailing Aircraft”, NASA TN-D-6904, November 1972.

14. Smith, H., “A Flight Test Investigation of the Rolling Moments Induced on a T-37B Airplane in the Wake of a B-747 Airplane”, NASA-TM-x-56031, April 1975.

15. Andrews, W. H., Robinson, G. H., and Larson, R. R., “Exploratory Flight Investigation of Aircraft Response to the Wing Vortex Wake by Jet Transport Aircraft”, NASA TN 6655, March 1972.

16. Rossow, V. J., “Validation of Vortex-Lattice Method for Loads on Wings in Lift Generated Wakes”, *Journal of Aircraft*, Vol. 32, No. 6, 1995. - спосіб доступу: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19980107884/downloads/19980107884.pdf>.

17. <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0404.pdf>

18. A. O. Nijhuis, L. Thobois, F. Barbaresco, S. D. Haan, A. Dolfi-Bouteyre, D. Kovalev, O. Krasnov, D. Vanhoenacker-Janvier, R. Wilson, and A. Yarovoy, “Wind hazard and turbulence monitoring at airports with Lidar, Radar, and Mode-S downlinks: The UFO Project,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 99(11), 2275–2293 (2018).

19. Thobois, L. P., R. Krishnamurty, J.-P. Cariou, A. Dolfi-Bouteyre, and M. Valla, 2015: Wind and EDR measurements with scanning Doppler LIDARs for preparing future weather dependent separation concepts. *Seventh AIAA Atmospheric and Space Environments Conf.*, Dallas, TX, AIAA, AIAA 2015-3317, <https://doi.org/10.2514/6.2015-3317>.

20. <https://skybrary.aero/articles/recat-wake-turbulence-re-categorisation>

21. "RECAT-EU" European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure. – Edition Number: 1.2. Edition Date: 14/02/2018. EUROCONTROL. – P 26.

22. Optimised Wake Turbulence Categorisation and static Pair-Wise Separation (S-PWS) Minima on Approach and Departure. — Режим доступу: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-06/eurocontrol-recat-eu-pws-minima_2.pdf.pdf

23. Climate Impact Mitigation Potential of Formation Flight. <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/1/14>.

24. <https://dokumen.tips/documents/australia-aeronautical-information-atc-minimum-wake-turbulence-separation-distances.html?page=1>

25. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical

Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. № 367. P. 297-310 DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5_26.

26. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. Aviation. 2022. № 26(1). P. 1-10 DOI: 10.3846/aviation.2022.16589.

27. Flightaware. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс]. URL : <https://flightaware.com/adsb/>

28. Software for Air Navigation analysis. Visualization of airplane trajectory based on ADS-B data messages. [Електронний ресурс]. URL :https://www.ostroumov.sciary.com/codes_airplane-trajectory-visualization

29. Державний галузевий нормативний акт про охорону праці «ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ і поточному ремонті авіаційної техніки» [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/nkkdo>

30. Airbus A320. Aircraft Characteristics Airport And Maintenance Planning. [Електронний ресурс]. URL: <http://surl.li/nkkgh>

31. Airbus A340. Aircraft Characteristics Airport And Maintenance Planning. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2021-11/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A340-200-300.pdf>

32. Boeing Next-Generation 737. Airplane Characteristics for Airport Planning [Електронний ресурс]. URL: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/737NG_REVA.pdf.

33. https://commission.europa.eu/index_en

34. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en

35. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541

36. <https://avia.gov.ua/pro-nas/mizhnarodna-diyalnist/corsia/>

37. https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2023/03/ CORSIA_UNDP_Presentation_UKR.pdf