

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЦИВІЛЬНОЇ ТА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Б.Д.Халмурадов  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 263 «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»

**Тема: «Техногенна та екологічна безпека новітніх видів авіаційного транспорту»**

Виконавець: студентка групи 412 ЦБ Шишова Милана Іванівна

Керівник: к.т.н., доцент Кажан Катерина Іванівна

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ Козлітін О.О.

КИЇВ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра цивільної та промислової безпеки  
Спеціальність 263 «Цивільна безпека»  
Освітньо-професійна програма «Захист об'єктів критичної інфраструктури»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Б.Д.Халмурадов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

**на виконання кваліфікаційної роботи**

Шишової Милани Іванівни

1. Тема роботи «Техногенна та екологічна безпека новітніх видів авіаційного транспорту» затверджена наказом ректора від «26» квітня 2023 року № 566/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 29.05.2023 по 25.06.2023.
3. Вихідні дані до проекту: літературні джерела за напрямом дослідження, нормативно-правові документи.
4. Зміст пояснювальної записки:
  - вступ;
  - поняття техногенної та екологічної безпеки;
  - основні чинники;
  - цілі розвитку для цивільної авіації;
  - аналіз впливу світових кризових явищ;
  - прогнозування техногенно-екологічного навантаження;
  - висновки.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:
  - взаємозв'язки між пропускнуою спроможністю аеропорту та чинниками;
  - динаміка викидів оксидів азоту на фоні кризи пов'язаної з пандемічними обмеженнями;
  - шляхи досягнення вуглецевої нейтральності;
  - вартість емісії CO<sub>2</sub> для різних типів повітряних суден;
  - динаміка глобального ринку пасажирських авіаперевезень;

- глобальні викиди вуглекислого газу від авіації;
- обсяги оксидів вуглецю CO<sub>2</sub>;
- результати моделювання контурів ризику.

#### 6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	2	3	4
1	Постановка задачі та аналіз інформаційних джерел	29.05.2023 02.06.2023	
2	Збір інформаційних даних та обґрунтування вибору рішення	02.06.2023 04.06.2023	
3	Аналіз даних та їх класифікація	05.06.2023	
4	Робота над розділом №1	07.06.2023 9.06.2020	
5	Робота над розділом №2	10.06.2023 12.06.2023	
6	Робота над розділом №3	13.06.2023 15.06.2023	
7	Підготовка графічного матеріалу, оформлення і друк пояснювальної записки	16.06.2023 18.06.2023	
8	Оформлення презентації в Power Point	19.06.2023 20.06.2023	
9	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно з вимогами діючих стандартів	21.06.2023 22.06.2023	
10	Захист кваліфікаційної роботи.	23.06.2023	

7. Дата видачі завдання: 29 травня 2023 р.

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

Кажан К.І.

Завдання прийнято до виконання: \_\_\_\_\_

Шишова М.І.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра «Техногенна та екологічна безпека новітніх видів авіаційного транспорту»: 62 с., 17 рис., 4 табл., 33 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: є чинники техногенного та екологічного характеру, які супроводжують експлуатацію новітніх видів авіаційного транспорту.

Мета роботи: визначення впливу новітніх видів авіаційного транспорту на техногенну та екологічну безпеку, а також пошук шляхів зменшення цього впливу. Аналіз проблем техногенної та екологічної безпеки, пов'язаних з застосуванням авіаційного транспорту.

Методи дослідження: аналіз літератури та стандартів в галузі авіації, технічної та екологічної безпеки; експертний аналіз; емпіричні дослідження; математичне моделювання; мультикритеріальний аналіз; причинно-наслідковий аналіз; порівняльний аналіз різних типів літаків.

Результати бакалаврської роботи рекомендується використовувати для покращення системи технічної безпеки та зменшення негативного впливу авіаційного транспорту на довкілля. Ці результати можуть бути використані при прогнозуванні та оцінці техногенного та екологічного ризику, ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, розробці проектів будівництва аеропортів, а також оцінці впливу на довкілля на етапі планування та процедури оцінки впливу на довкілля.

ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, НОВІТНІ ВИДИ  
АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ, ТЕХНОГЕННИЙ РИЗИК, ЕКОЛОГІЧНИЙ  
РИЗИК

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>Розділ 1. Техногенна та екологічна безпеки цивільної авіації</b> .....	11
1.1. Поняття техногенної та екологічної безпеки.....	11
1.2. Основні чинники, які визначають рівні техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації.....	13
1.3. Міжнародні цілі та стандарти сталого розвитку для цивільної авіації.....	22
1.4. Аналіз прогалин українського законодавства в контексті Євроінтеграції для сталого розвитку цивільної авіації.....	26
1.5. Рівні екологічних та техногенних чинників в сучасному аеропорту.....	28
<b>Розділ 2. Аналіз техногенних та екологічних чинників, пов'язаних з експлуатацією новітніх видів повітряних суден</b> .....	30
2.1. Вплив світових кризових явищ на систему техногенної та екологічної безпеки цивільної авіації.....	30
2.2. Екологічні загрози під час експлуатації новітніх видів транспорту.....	35
2.3. Ризики авіаційних подій та інші надзвичайні ситуації техногенного характеру пов'язані з використанням новітніх технологій.....	39
<b>Розділ 3. Прогнозування рівня техногенної та екологічної безпеки під час експлуатації новітніх видів повітряних суден</b> .....	44
3.1. Техногенно-екологічна характеристика новітніх типів авіаційного транспорту та в умовах відновлення цивільної авіації в Україні.....	44
3.2. Вихідні умови та критерії екологічної та техногенної безпеки.....	48
3.3. Результати прогнозування техногенно-екологічного навантаження за умов експлуатації змішаного парку повітряних суден.....	50
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	57
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	59

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CORSIA – Carbon Offsetting Scheme for International Aviation

EASA – European Aviation Safety Agency

EDMS – Emission and Dispersion Modeling System

ETS – Emission Trading Scheme

ICAO – International Civil Aviation Organization

INM – Integrated Noise Model

MTOM – the maximum takeoff mass

PtL – Power to Liquid

RFNBO – Renewable Fuels of Non-Biological Origin

SAF – Sustainable aviation fuel

SST – суперзвуковий транспорту

UAM – Urban Air Mobility

АПУ – авіаційні правила України

АШ – авіаційний шум

ДАСУ – Державна авіаційна служба України

ДСП – Державні санітарні правила

ЗПЦ – злітно-посадковий цикл

ЗУ – закон України

МР – методичні рекомендації

ПГ – парникові гази

ПС – повітряне судно

САП – спільний авіаційний простір

ЦСР – цілі сталого розвитку

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Військові дії, які відбуваються в Україні вже протягом декількох років, не тільки негативно впливають на життя населення та соціально-економічну ситуацію в країні, але й мають значний екологічний та техногенний вплив. Водночас авіаційний транспорт відіграє важливу роль у проведенні військових операцій, забезпечуючи швидкий та ефективний транспорт військ, боєприпасів та іншого обладнання.

Епоха авіаційного прогресу набирає обертів і з кожним роком все більше заохочує інших привернути до себе увагу, то з цією ж швидкістю з'являється все більше питань, щодо вимог, стандартів та цілей, яких ми переслідуюмо. У час швидких інновацій, у будь-якому випадку безпека завжди є пріоритетом у плануванні та створенні таких проєктів. Перш ніж будь-який тип повітряного транспорту можна вважати життєздатним, він має пройти ретельне тестування, щоб переконатися в його надійності та ефективності.

Тема дослідження «Техногенна та екологічна безпека новітніх видів авіаційного транспорту» також має потенціал для охоплення ряду цілей сталого розвитку (ЦСР). Що може надати уявлення про зменшення викидів від повітряного транспорту, покращення якості повітря та зменшення шумового забруднення. Крім того, це може допомогти зменшити екологічний вплив авіації на екосистеми та біорізноманіття. Це також може сприяти досягненню цілей, пов'язаних із доступом до доступної та чистої енергії, відповідальним споживанням і виробництвом, інноваціями та розвитком інфраструктури. Усі ці ЦСР є важливими для забезпечення сталого майбутнього людства. Досягнення низки ЦСР, таких як боротьба з кліматом, доступ до чистої енергії та багато іншого.

Перед нами постає питання аналізу проблем техногенної та екологічної безпеки, пов'язаних з новітніми видами авіаційного транспорту. Вивчення вимог та стандартів, які встановлені для забезпечення техногенної та екологічної безпеки у новітніх видів авіаційного транспорту, пов'язаних з застосуванням в бойових діях, а також після кризи, спричиненою COVID-19 та наслідки заборони на перельоти.

Впливу авіаційного транспорту на навколишнє середовище. Та розробка рекомендацій, щодо покращення безпеки використання авіаційного транспорту та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та населення.

Отже, вивчення проблем техногенної та екологічної безпеки, пов'язаних з застосуванням авіаційного транспорту є надзвичайно важливим завданням. Ця проблема стає актуальною, оскільки швидкий розвиток новітніх технологій вимагає від авіаційного транспорту нових підходів до забезпечення безпеки під час виконання завдань.

**Мета роботи** – визначення впливу новітніх видів авіаційного транспорту на техногенну та екологічну безпеку, а також пошук шляхів зменшення цього впливу. Аналіз проблем техногенної та екологічної безпеки, пов'язаних з застосуванням авіаційного транспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання** :

- проаналізувати нормативно-правові документи у сфері техногенної та екологічної безпеки під час експлуатації повітряних суден;
- визначити основні чинники, які визначають рівні техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації;
- проаналізувати техногенні та екологічні чинники, пов'язані з експлуатацією новітніх видів повітряного транспорту;
- розробити методичку/підхід до оцінки техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації;
- проаналізувати вплив світових кризових явищ на систему техногенної та екологічної безпеки цивільної авіації;
- спрогнозувати рівень техногенної та екологічної безпеки під час експлуатації новітніх видів повітряних суден.

**Об'єкт дослідження** є чинники техногенного та екологічного характеру, які супроводжують експлуатацію новітніх видів авіаційного транспорту.

**Предметом дослідження** є процес прогнозування рівнів екологічної та техногенної безпеки в околицях аеропортів при впровадженні в експлуатацію новітніх типів повітряних суден.



### **Методи дослідження:**

- аналіз літератури та стандартів в галузі авіації, технічної та екологічної безпеки;
- експертний аналіз, який може включати інтерв'ю з фахівцями з авіації, представниками органів державного управління, науковцями-дослідниками та іншими зацікавленими особами;
- емпіричні дослідження, що містять збір та аналіз даних про вплив новітніх видів авіаційного транспорту на навколишнє середовище. Ці дослідження можуть включати спостереження за рівнем шуму та забруднення повітря на території поблизу аеропортів;
- математичне моделювання, що використовується для розрахунку впливу авіаційного транспорту на довкілля та прогнозування негативних наслідків із збільшенням обсягів авіатранспортних перевезень;
- мультикритеріальний аналіз застосований для оцінки технічної та екологічної безпеки новітніх видів авіаційного транспорту за допомогою різних критеріїв, таких як рівень шуму, викиди шкідливих речовин, паливна ефективність тощо;
- причинно-наслідковий аналіз допомагає у виявленні причин проблем технічної та екологічної безпеки, таких як викиди шкідливих речовин, надмірний рівень шуму, вплив на біорізноманіття та інші;
- порівняльний аналіз використаний для порівняння різних типів літаків, щоб визначити, який з них має кращі показники екологічної та технічної безпеки і є більш прийнятним для експлуатації.

**Наукова новизна отриманих результатів.** В даній роботі отримав подальший розвиток метод комплексного прогнозування рівнів техногенного та екологічного навантаження на довкілля. Вперше запропоновано з цією метою враховувати характеристики нових типів повітряних суден для прогнозування потенційного впливу.

**Практичні результати досліджень.** Отримані результати можна використовувати для покращення системи технічної безпеки та зменшення

негативного впливу авіаційного транспорту на довкілля під час прогнозування оцінки техногенного та екологічного ризику під час ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів (аеропортів, злітно-посадкових майданчиків, вертипортів тощо), під розробки проектів будівництва (реконструкції) аеропортів (розділи «Техногенна та цивільна безпека», «Оцінка впливу на навколишнє середовище»), оцінці рівнів несприятливих чинників впливу на довкілля на етапі планової діяльності в межах розроблення звіту та проходження процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД).

**Особистий внесок здобувача вищої освіти** полягає у розробленні нових методів підходів до аналізу процесів техногенної безпеки, прогнозуванні негативного впливу на довкілля та розробленні рекомендацій для підвищення техногенної та екологічної безпеки.

Результати досліджень, які відображено у кваліфікаційній роботі були апробовані на наукових-практичних конференціях: Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Наукова молодь-2021», Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» 2022 р., круглих столах молодих учених та тренінгах, які проводилися в рамках проекту ESASD [1-4].

# РОЗДІЛ 1. ТЕХНОГЕННА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКИ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

## 1.1. Поняття техногенної та екологічної безпеки

Техногенна безпека та екологічна безпека є двома важливими аспектами безпеки, які мають багато спільного. Обидва поняття стосуються забезпечення безпеки людей, природи та навколишнього середовища.

Техногенна безпека відноситься до заходів та політик, спрямованих на усунення або мінімізацію ризиків, пов'язаних з техногенними аваріями та негативними наслідками інженерно-технічних систем. Це включає в себе заходи щодо запобігання аваріям, оцінки ризиків, розробки ефективних систем управління безпекою технологій, а також готовності до надзвичайних ситуацій і реагування на них.

Екологічна безпека, з іншого боку, стосується захисту природи та екосистем від негативного впливу людської діяльності. Це охоплює збереження біорізноманіття, запобігання забрудненню повітря, води та ґрунту, ефективне використання природних ресурсів, а також здоров'я та благополуччя людей.

Техногенна та екологічна безпека взаємозалежні сфери, оскільки багато техногенних аварій може мати серйозний негативний вплив на довкілля та екосистеми.

Згідно з Кодексом цивільного захисту під техногенною безпекою розуміють відсутність ризику виникнення аварій та/або катастроф на об'єктах, що можуть створити реальну загрозу їх виникнення [5]. При цьому, зазначається, що техногенна безпека спрямована на захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Такими надзвичайними ситуаціями в галузі цивільної авіації можуть бути аварії на повітряному транспорті, на території аеропортів та інших підприємств цивільної авіації, пожежі, вибухи тощо, які потенційно можуть нести загрозу пасажирам, персоналу або місцевому населенню, а також об'єктам господарської

діяльності людини та призводити до різкого погіршення стану довкілля, що робить його несприятливим для життєдіяльності населення.

Екологічна безпека на державному рівні визначається як стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей [6].

У цивільній авіації техногенна безпека та екологічна безпека взаємопов'язані та мають деякі спільні риси: попередження аварійних ситуацій, управління техногенними та екологічними ризиками, охорона довкілля, безпека пасажирів, персоналу та третьої сторони.

Попередження аварій: ключовим аспектом як техногенної, так і екологічної безпеки у цивільній авіації є попередження аварійних ситуацій. Заходи безпеки повинні бути впроваджені для запобігання технічним вадам, неполадкам та людським помилкам, що можуть призвести до авіаційних аварій або негативного впливу на довкілля.

Управління ризиками: як у техногенній, так і в екологічній безпеці важливе поняття - управління ризиками. Це включає оцінку потенційних небезпек, встановлення заходів для зменшення ризиків та розробку планів надзвичайних ситуацій. Наприклад, визначення безпечної відстані між повітряними суднами для запобігання зіткненням або розробка стратегій енергоефективного палива для зменшення викидів шкідливих речовин.

Охорона довкілля: як техногенна, так і екологічна безпека враховують вплив авіації на довкілля. Це охоплює зменшення шкідливих викидів газів, забруднення повітря та шуму, а також ефективне використання природних ресурсів, наприклад, палива. Розробляються технології та політики для зменшення негативного впливу авіації на клімат, біорізноманіття та екологічні системи.

Техногенна безпека та екологічна безпека в сфері цивільної авіації спільно прагнуть до забезпечення безпеки польотів, запобігання аваріям, зменшення впливу авіації на навколишнє середовище та ефективного управління ризиками.

Рівень техногенної та екологічної безпеки в околиці авіаційних підприємств дійсно може суттєво впливати на пропускну спроможність аеропортів. В окремих

роботах [7] показано взаємні впливи експлуатаційних можливостей авіапідприємства, рівня безпеки польотів, елементів техногенної безпеки, економічної та екологічної складової (рисунок 1.1).



Рис. 1.1. Взаємозв'язки між пропускнуою спроможністю аеропорту та чинниками, що її обмежують (адаптовано з [7])

Таким, чином, техногенні та екологічні чинники, є важливими критеріями як для забезпечення належного рівня безпеки довкілля, але і, одночасно, чинниками, що можуть впливати на ефективність аеропортів, аеродромів, злітно-посадкових майданчиків чи інших об'єктів та суб'єктів цивільної авіації.

## 1.2. Основні чинники, які визначають рівні техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації

Авіаційна галузь повинна прагнути до екологічно стійкого розвитку, дотримуючись обмежень, пов'язаних з якістю повітря, водними ресурсами, ґрунтами, шумом та зміною клімату. Сучасна екологічна політика Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) має на меті запобігання змінам клімату, що виникають в результаті діяльності цивільної авіації, а також пристосування до змін клімату. Міжнародна спільнота, що забезпечує авіатранспортні процеси, зобов'язується розвивати авіаційну галузь у напрямку сталого розвитку, дбаючи про підтримку економічного зростання, зменшення впливу цивільної авіації на довкілля та забезпечення соціальних переваг. Участь України в асоціації з

Європейським Союзом передбачає гармонізацію існуючих та впровадження нових нормативних актів з екологічного регулювання в галузі цивільної авіації з метою забезпечення сталого розвитку цивільної авіації в Україні.

Зростання обсягів авіаційних перевезень значно ускладнює екологічну ситуацію в околицях аеропортів, що характеризується: погіршенням місцевої якості повітря, збільшенням рівня шуму, вібрації, електромагнітного опромінення та інших чинників. Значна кількість людей проживає в безпосередній близькості до аеропортів, що призводить до збільшення ризику для здоров'я людей через забруднення довкілля та техногенні ризики.

За результатами аналізу останніх звітів ІСАО (Звіт ІСАО з охорони довкілля, ЕАSА (Європейський авіаційний екологічний звіт [8]), визначено екологічні та техногенні чинники, які в поточний період розвитку цивільної авіації відіграють значну роль як для місцевих громад (локальний рівень), так і на регіональному та глобальному рівні:

- місцева якість атмосферного повітря;
- шум;
- викиди парникових газів;
- вплив кліматичних змін на місцеві метеорологічні умови;
- екологічні взаємозалежності на різних рівнях: від розробки нових типів

повітряних суден до експлуатації існуючого парку.

З впливами на людину та довкілля також пов'язано техногенні ризики, які можуть призводити до розвитку надзвичайних ситуацій. Надзвичайні ситуації найвищого рівня

### **Місцева якість атмосферного повітря в околиці аеропортів цивільної авіації**

Якість атмосферного повітря в околиці аеропортів цивільної авіації може бути піддана впливу різних факторів, пов'язаних з авіаційною діяльністю.

Перший сертифікаційний стандарт ІСАО щодо викидів двигунів був прийнятий у 1981 році з вимогами до вентиляції палива, диму, незгорілих

вуглеводнів (УНС), оксиду вуглецю (СО) і NO<sub>x</sub> (оксидів азоту). Регульований рівень викидів NO<sub>x</sub>, що викидаються протягом циклу посадки та зльоту, може збільшуватися пропорційно загальному коефіцієнту тиску двигуна. Початковий стандарт ІСАО супроводжувався поступовим підвищенням жорсткості, головним чином для NO<sub>x</sub>, і нові рівні були визначені останнім часом у 2010 році на СAEP/8. У двох попередніх незалежних експертних оглядах викидів NO<sub>x</sub>, звітах у 2008 та 2010 роках, були встановлені цілі на 10 та 20 років вперед від відповідних дат. Цілі для NO<sub>x</sub>, що виробляються в циклі посадки та зльоту, були виражені за тим самим принципом, що й правила, і зберігали пропорційність загальному відношенню тиску. У березні 2017 року, Рада ІСАО прийняла свій перший в історії стандарт викидів двигунів nVPM, який застосовуватиметься до турбовентиляторних і турбореактивних двигунів.

Загальне забруднення повітря має значний вплив на здоров'я європейського населення, особливо в міських областях. Найбільш значущими забруднювачами повітря є тверді частинки (PM), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) і приземний озон (O<sub>3</sub>). Незважаючи на загальне зниження викидів і загальне покращення, викиди забруднювачів повітря від авіаційної діяльності зросли в Європейському Союзі.

Директива ЄС [9] щодо якості навколишнього повітря встановлює нормативні обмеження для концентрацій PM, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> і SO<sub>2</sub> в повітрі. Останні глобальні рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я включають кількісні рекомендації щодо управління якістю повітря, зосереджені на охороні здоров'я, і встановлюють довгострокові та короткострокові максимальні концентрації для ключових забруднювачів повітря.

Ці нормативи та рекомендації слугують основою для встановлення відповідних заходів та політик з метою зниження забруднення повітря та поліпшення якості повітря для збереження здоров'я населення

Хоча основним джерелом забруднення повітря поблизу аеропортів є експлуатація літаків, на якість повітря також впливає наземне допоміжне обладнання, наземний під'їзний транспорт і виробництво енергії в аеропорту. Авіаційні двигуни виробляють подібні викиди до інших джерел спалювання

викопного палива, причому найбільш значними є оксиди азоту (NOX), тверді частинки (PM), леткі органічні сполуки (ЛОС), діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), чадний газ (CO) і незгорілі вуглеводні. (НС).

NOX (оксиди азоту) є важливим забруднювачем, який утворюється в результаті авіаційної діяльності. Викиди NOX від авіаційних двигунів, зокрема оксид азоту (NO) і діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), переважно відбуваються під час зльоту при високому тиску і температурі камери згоряння. Ці викиди викликають занепокоєння з точки зору впливу на здоров'я, оскільки можуть порушувати імунну та дихальну функції людей і сприяти підвищеній реакції на алергени. У присутності тепла і сонячного світла, NOX може реагувати з леткими органічними сполуками, вуглеводами та вуглекислим газом (CO), утворюючи приземний озон або смог. Це може шкодити здоров'ю людей [10] [11]. Крім того, NOX є попередниками інших окислених сполук азоту, що сприяє утворенню вторинних твердих частинок. Таким чином, NOX має як прямий, так і непрямий вплив на якість повітря та навколишнє середовище. Викиди NOX від авіації можуть впливати на якість повітря і становити загрозу здоров'ю людей і довкіллю. Під час авіаційного спаду, пов'язаного з пандемією, саме цей забруднювач найбільше зреагував на скорочення авіаційних перевезень (рисунок 1.2).

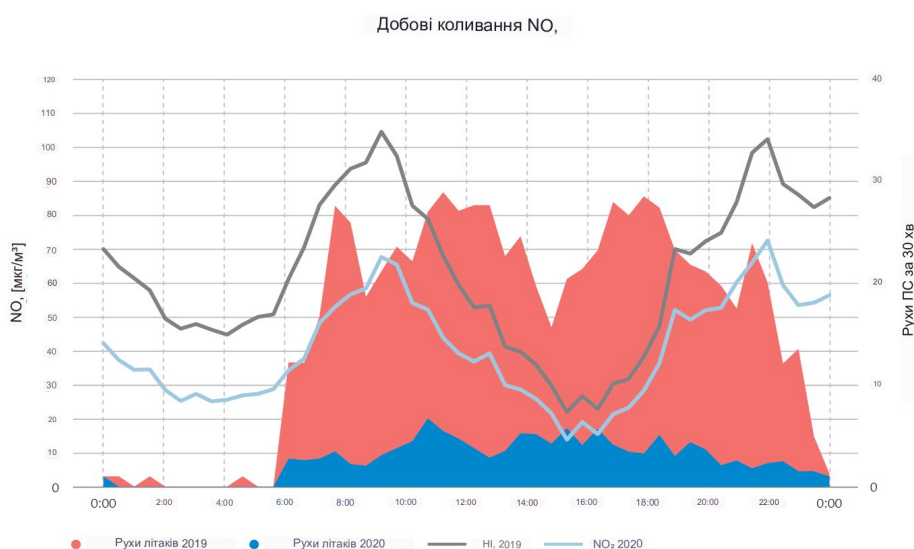


Рис. 1.2. Динаміка викидів оксидів азоту на фоні кризи пов'язаної з пандемічними обмеженнями [12]



*Тверді частки (PM)* є різнорідними нелеткими або леткими частинками, які утворюються від авіаційних джерел викидів, особливо від сажі. Вони мають шкідливий вплив на здоров'я, зокрема на серцево-судинну та дихальну системи, оскільки можуть потрапляти в кров і переносити токсичні речовини. Європейські обмеження якості повітря встановлені для концентрацій PM10 і PM2,5, але враховуються і наддрібні частки, зокрема PM2,5, які вважаються хорошим показником загального ризику, пов'язаного з впливом твердих частинок. Підвищена концентрація PM2,5 пов'язана зі зростанням передчасної смертності через серцево-легеневі захворювання і рак легенів [13].

*Оксиди азоту (NOX)* утворюються під час зльоту авіаційних літаків через високий тиск і температуру камери згоряння. Вони мають шкідливий вплив на здоров'я, викликаючи порушення імунної та дихальної функцій, а також підвищену реакцію на алергени. Крім того, в присутності тепла і сонячного світла оксиди азоту реагують з іншими сполуками, утворюючи приземний озон або смог, що завдає шкоди здоров'ю. Незабаром вони також можуть стати попередниками інших окислених сполук азоту, сприяючи утворенню вторинних твердих частинок.

*Діоксид сірки (SO2)* є результатом спалювання палива, яке містить сірку. Викиди SO2 від авіації відбуваються через спалювання палива зі значною кількістю сірки.

### Авіаційний шум

Шум є важливим чинником, який визначає рівні техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації. Літаки можуть генерувати значний рівень шуму під час своєї роботи, що його високий рівень може мати негативний вплив на здоров'я людей та зокрема на навколишнє середовище.

Контури шуму на рисунку 1.3 демонструють різницю між цими стандартами з точки зору ефективною сертифікації шуму. На рисунку зображено три однопрохідні літаки з МТОМ 75 т. Контури на картах показують області, де рівень шуму перевищує 80 дБ під час посадки та зльоту. Вони вказують на поліпшення шумових характеристик літаків за стандартами і з точки зору дизайну та

технологій. Загалом, останні три роки показують незначні поліпшення у шумових характеристиках літаків.

Малюнок 3.1 Контури шуму 80 дБ при одноразовій посадці та зльоті для літаків, які лише відповідають обмеженням шуму, визначеним у розділах Додатку 16, том I, плюс найсучасніший серійний літак

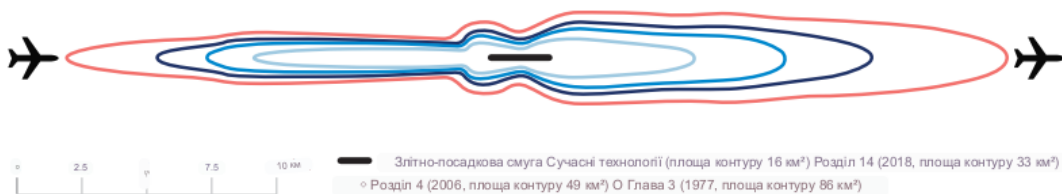


Рис. 1.3. Рівні шуму 80 дБ від одиночного зльоту та посадки повітряних суден

Шум є серйозним чинником, який визначає рівні техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації. Для зменшення його впливу на довкілля, компанії-виробники літаків та аеропорти продовжують активно працювати над новими технологіями та методами для зменшення шуму.

#### Викиди парникових газів повітряними суднами

Викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) та оксид азоту ( $\text{NO}_x$ ), від повітряних суден є одним з факторів, які впливають на зміну клімату. Авіаційний сектор є відповідальним за викиди парникових газів, оскільки під час згоряння палива у літаках видаються великі обсяги  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та  $\text{NO}_x$ .

Вуглекислий газ є найважливішим парниковим газом, викиди якого з авіаційного сектора впливають на глобальне потепління. При згорянні керосину в літакових двигунах утворюється  $\text{CO}_2$ , який потрапляє в атмосферу. Відомо, що  $\text{CO}_2$  залишається в атмосфері на довгий період часу і сприяє підвищенню температури поверхні Землі.

Метан і оксид азоту також відіграють роль у зміні клімату. Метан видається під час різних процесів, включаючи протікання газу під час заправки літака, а оксид азоту формується під час згоряння палива у двигунах літаків.

З метою зменшення впливу авіації на зміну клімату, вживаються різні заходи, такі як використання палива з низьким вмістом сірки, розробка більш ефективних

та екологічних двигунів, впровадження екологічних стандартів та регуляторних політик, а також стимулювання досліджень та розвитку альтернативних енергетичних джерел для авіації, таких як електрична енергія або водневі паливні системи. Для зменшення викидів CO<sub>2</sub> в авіації необхідно розвивати і впроваджувати інноваційні технології, такі як біопалива для авіації, електричні літаки, гібридні системи, покращені технології двигунів. Для прикладу наведено з відкритих джерел огляд викидів CO<sub>2</sub> в зоні Євроконтролю та їх еволюцію з 2019 року на рисунку 1.4.

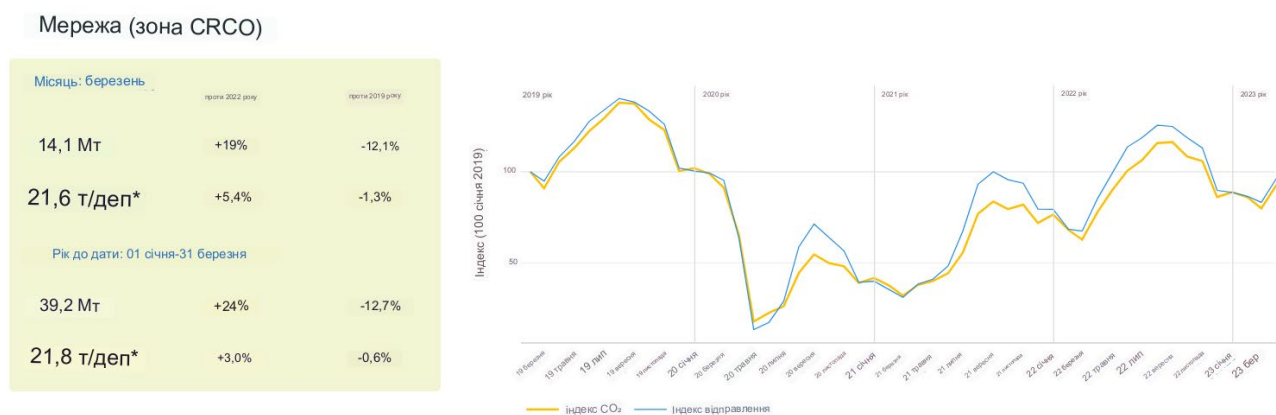


Рис. 1.4. Огляд викидів CO<sub>2</sub> та їх еволюція

Поступово перехід на сталі палива для авіації буде одним з ключових кроків на шляху до досягнення цілей охорони навколишнього середовища. Сталі палива для авіації є паливом, виготовленим з відновлювальних джерел, таких як рослинні олії, відходи деревини, біомаса та інші. Вони мають значно менший вуглецевий слід порівняно зі стандартним керосином для авіації, що може значно зменшити викиди CO<sub>2</sub>.

#### Взаємозалежності

Авіаційна галузь знаходиться в центрі міжнародної торгівлі та глобалізації, і коли вона піддається ризику впливу зміни клімату, будь-який збій в одній частині мережі може призвести до численних затримок і навіть зруйнувати інші. Таким чином, зростає обізнаність про наслідки зміни клімату та про конкретні виклики, які вони можуть створити для авіаційної промисловості, незалежно від того,

пов'язані з впливом на маршрут або землю на аеропорти, постачальників аеронавігаційних послуг, авіакомпанії та іншу авіаційну інфраструктуру. У цьому контексті заходи щодо пом'якшення та адаптації мають бути стратегічно поєднані для сталого розвитку, враховуючи їх синергію, щоб забезпечити більш ефективне кліматично стійке авіаційне майбутнє. Адаптація до клімату в авіації передбачає адаптацію, зміну або вдосконалення експлуатації повітряних суден та інфраструктури для підготовки до очікуваних змін клімату та утримання несприятливих впливів на прийнятному рівні. У свою чергу, стійкість авіації до зміни клімату – це здатність експлуатації повітряних суден та інфраструктури бути здатними протистояти зовнішнім впливам, спричиненим зміною клімату, і відновлюватися після них.

Вплив повітряного транспорту на навколишнє середовище зумовлений складною взаємодією між технологіями, операціями, політичними обмеженнями та ринковими умовами. У розробці політики повітряного транспорту важливо розглядати питання шуму, якості повітря та змін клімату окремо, оскільки вони мають свої специфічні аспекти. Однак, це розділення не враховує інженерну та організаційну взаємодію системи повітряного транспорту, де рішення в одній сфері можуть мати непередбачувані негативні наслідки в іншій. Тому важливо враховувати взаємозалежності та знаходити компроміси, що допоможе інтегрувати всі аспекти впливу на навколишнє середовище одночасно.

При розгляді політики повітряного транспорту необхідно також враховувати витрати та користь впроваджених заходів. Це дозволить досягти економічної ефективності і отримати нове розуміння взаємозалежності між різними впливами. Зважаючи на екологічні, соціальні та економічні аспекти, можна забезпечити більш збалансований підхід до прийняття рішень та зробити більш інформовані вибори.

#### Техногенні ризики та нові екологічні загрози

Техногенні ризики та нові загрози в сфері цивільної авіації можуть включати такі аспекти: безпека польотів, кібербезпека, використання нових технологій, загрози тероризму, питання пов'язані зі змінами клімату. З появою нових видів повітряного транспорту, таких як електричні літаки, безпілотні літальні апарати

(дрони) та повітряні таксі, постають певні техногенні загрози. Основні з них включають:

- безпека польотів: Нові технології і нові види повітряного транспорту можуть вимагати специфічних безпечних процедур та відповідної інфраструктури. Розробка та впровадження надійних систем автоматичного керування, безпілотних систем, систем забезпечення безпеки та зв'язку важливі для запобігання аваріям та забезпечення безпеки польотів.

- кібербезпека: Залежність нових видів повітряного транспорту від комп'ютерних систем і мереж робить їх вразливими перед кібератаками. Зловмисники можуть спробувати зламати системи керування, навігаційні системи або системи безпілотних літальних апаратів, що може призвести до серйозних наслідків, включаючи втрату контролю над повітряним транспортом.

- взаємодія з існуючою авіаційною системою: Введення нових видів повітряного транспорту вимагає налагодження взаємодії з існуючою авіаційною системою, включаючи повітряний простір, аеродроми, навігаційні системи та контроль трафіку.

Екологічні загрози, пов'язані з новими видами повітряного транспорту, включають наступні аспекти:

- Використання ресурсів: Введення нових видів повітряного транспорту може призводити до збільшення споживання ресурсів, зокрема електроенергії для електричних літаків. Це може мати вплив на енергетичну і екологічну стійкість системи постачання електроенергії та використання природних ресурсів.

- викиди парникових газів: Нові види повітряного транспорту, такі як електричні літаки та повітряні таксі, можуть бути менш забруднюючими з точки зору викидів парникових газів порівняно з традиційними літаками на керосині. Однак, важливо враховувати джерела електроенергії, використовувані для зарядки електричних літаків, і їх вплив на екологію.

- шумове забруднення: Нові види повітряного транспорту можуть мати вплив на рівень шуму у місцях зльотів та посадок, а також поблизу місць, де вони експлуатуються. Необхідно враховувати цей аспект при розробці та експлуатації

нових видів повітряного транспорту та впроваджувати заходи для зменшення шуму.

- вплив на біорізноманіття: Розширення використання повітряного транспорту, включаючи нові види, може мати наслідки для біорізноманіття, зокрема на птахів та інші види, які залежать від недоторканого середовища. Розробка та використання нових видів повітряного транспорту повинні враховувати цей аспект та дотримуватися екологічних стандартів.

Наприклад, при експлуатації Urban Air Mobility (UAM), що включає повітряні таксі та інші форми повітряного транспорту в міських середовищах, можуть виникати ризики з боку третьої сторони зв'язку з близьким контактом між повітряним транспортом та інфраструктурою міста, існує ризик незбалансованої безпеки пішоходів та місцевого населення у зв'язку з падінням пошкоджених повітряних суден. Це може включати можливість аварій, зіткнень з іншими повітряними транспортними засобами, будівлями або людьми. Також слід зважати, що транспортні засоби системи UAM можуть збирати та обробляти значну кількість особистих даних про пасажирів та міські об'єкти. Це створює потенційну загрозу конфіденційності та приватності, яку слід враховувати при розробці та впровадженні таких систем. Окрім цього в окремих зонах можуть зростати рівні акустичного та електромагнітного забруднення, вібрація та виявиться проблема візуального забруднення в повітряному середовищі.

Отже, загальна мета подальшого розвитку стійкої авіації для пасажирських та вантажних перевезень полягає у розробці та використанні екологічно стійких технологій та підходів у повітряному транспорті, які мінімізують негативний вплив на довкілля та сприятимуть сталому розвитку.

### **1.3. Міжнародні цілі та стандарти сталого розвитку для цивільної авіації**

Серед цілей сталого розвитку ООН [14] найбільш важливими для забезпечення техногенної та екологічної безпеки аеропортів цивільної авіації в поточний період та у перспективі 2030 року є: Ціль № 3 «Забезпечення здоров'я та

добробуту», Ціль № 7 «Чиста енергія та доступність», Ціль 9: «Індустріальна інноваційність та інфраструктура», Ціль 11: «Стале місто та сприятливе середовище для життя», Ціль № 13 «Заходи проти зміни клімату». Для реалізації поставлених цілей ООН в Європейському Союзі було прийнято кілька важливих програмних документів, які будуть визначати напрями для розвитку як економіки в цілому, так і для цивільної авіації зокрема.

Європейський зелений курс (European Green Deal) [13] - це стратегічна ініціатива Європейської Комісії, яка була представлена у грудні 2019 року. Вона ставить перед собою амбітну мету забезпечити стійкий розвиток Європейського Союзу, знизити його вплив на зміну клімату та покращити якість довкілля. Основні принципи та цілі European Green Deal включають:

- кліматична нейтральність Європейського Союзу до 2050 року. Це означає забезпечення рівноваги між викидами парникових газів та їх видаленням з атмосфери, зокрема шляхом зменшення викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) та підвищення поглинання CO<sub>2</sub>.
- енергетична трансформація: планується перехід до стійкого та відновлювального енергетичного сектору.
- циркулярна економіка: Європейський Зелений курс прагне сприяти переходу до циркулярної економіки, де ресурси використовуються ефективніше, відходи мінімізуються, а матеріали повторно використовуються або переробляються.
- захист біорізноманіття.

В рамках Smart Mobility Strategy [15], представленої в 2020 році, були наведені конкретні цілі відносно мобільності та транспорту. Ця стратегія містить План дій, який включає 82 ініціативи, що сприятимуть досягненню зеленої та цифрової трансформації системи транспорту ЄС і зроблять її більш стійкою до майбутніх криз.

Різні галузі економіки мають досягти значного прогресу у досягненні кліматичних та екологічних цілей відповідно до ініціативи European Green Deal. В

різних галузях промисловості прийнято галузеві плани дій та програмні документи, які встановлюють більш специфічні цілі. Такими документами в сфері цивільної авіації є: FLIGHTPATH 2050 [16], Fly the Green Deal (ACARE) [17].

FLIGHTPATH 2050 - це програмний документ, головна мета якого полягає в тому, щоб забезпечувати безпечний та економічно вигідний транспорт, додаючи значення швидкості, надійності та стійкості без негативного впливу на навколишнє середовище, використовувати новітні технології. Це є довгострокова стратегія Європейського Союзу з розвитку авіації на період до 2050 року, основні цілі якої включають:

- зменшення викидів оксиду вуглецю на 75% в порівнянні з рівнем викидів у 2005 році;
- зменшення шуму на 65%;
- зменшення вартості польотів на 50% в порівнянні з рівнем вартості у 2005 році;
- забезпечення сталого розвитку авіаційної індустрії та підтримки робочих місць у цій галузі.

У свою чергу програма FLIGHTPATH 2050 вже передбачає спрямування на зменшення негативного впливу авіації, як стратегія, на довкілля шляхом розробки та застосування нових технологій, палив та процедур. Також ці починання мають на меті досягти зменшення викидів парникових газів та забезпечення більш стійкої авіаційної індустрії. Досягнення повної кліматичної нейтральності до 2050 року є важливою метою, яку прагне досягти ЄС.

Успішне виконання цих ініціатив дає очікування виконання значно позитивного впливу в цілому, зменшення впливу на здоров'я людей та довкілля. Відповідне впровадження таких дій, нових технологій та палив може сприяти поліпшенню ситуації, але це не гарантує ніяких результатів допоки не буде справді якісна реалізація.

За оцінками ICAO та найбільших виробників авіаційної техніки значні зусилля технологічного розвитку повинні бути здійснені, щоб досягти установлених цілей. Як показано на рис. . за умови “замороженого” на рівні 2019



року технологічного розвитку зростання викидів парникових газів відбуватиметься пропорційно до зростання обсягів авіаперевезень (рисунок 1.5). За попередніми оцінками нульового викиду до 2050 можливо досягти лише за рахунок комплексу заходів: стимулювання експлуатації ПС останньої генерації, належної оптимізації операцій та інфраструктури, ринкових заходів та, незважаючи на перелічені заходи, для отримання бажаного ефекту з 2035 року необхідним є впровадження “проривних” технологій, які в сумі дадуть вклад до 34% в загальне зниження емісії парникових газів.

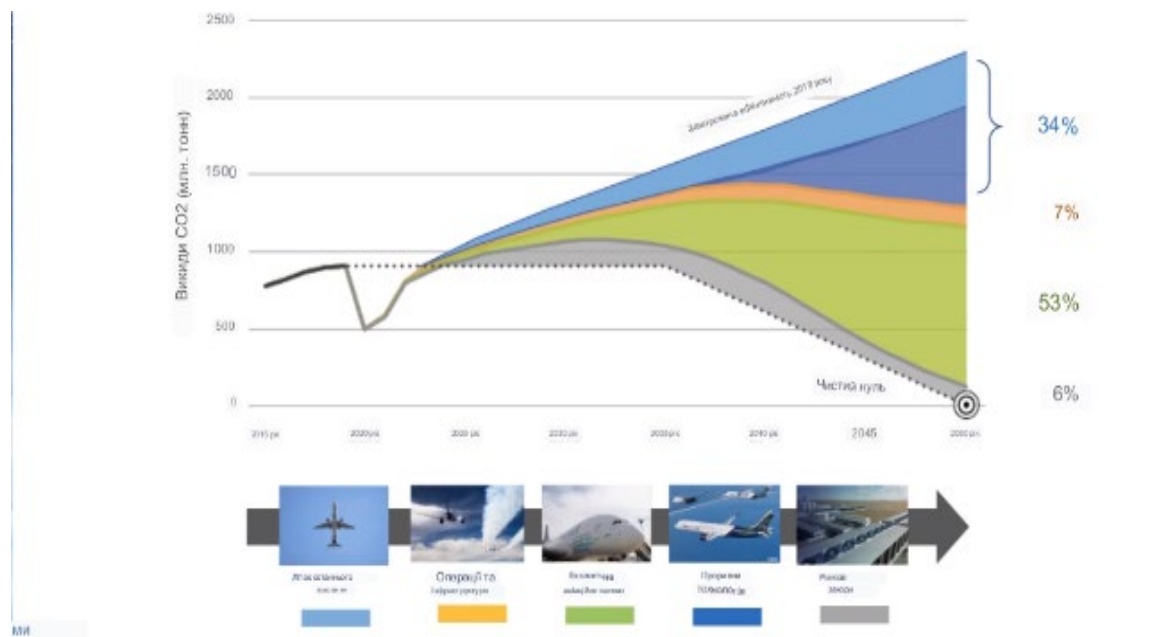


Рис. 1.5. Шляхи досягнення вуглецевої нейтральності та поточна ефективність

Стандарти ICAO були встановлені з метою використання найновіших доступних технологій для запобігання регресу. Це створило необхідність у встановленні окремого набору цілей технологій, які будуть керувати подальшими регуляторними положеннями, і до яких можуть прагнути промисловість та ICAO. Ці цілі, визначені незалежними експертами, повинні бути "викликом, але досяжними".

#### **1.4. Аналіз прогалин українського законодавства в контексті Євроінтеграції для сталого розвитку цивільної авіації**

Загальні вимоги щодо безпечної експлуатації повітряних суден за критеріями екологічної та техногенної безпеки в Україні визначаються: Кодексом цивільного захисту [5], Повітряним кодексом України [18], ЗУ «Про охорону навколишнього природного середовища» [19], ЗУ «Про охорону атмосферного повітря» [20], ЗУ «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [21], ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля» [22], Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів № 173 [23] та іншими законодавчими та регуляторними актами.

*Емісія авіаційних двигунів.* викиди забруднюючих речовин на території аеропортів регулюються за допомогою законодавчих та нормативно-правових актів, а також вимог міжнародних організацій. Державна авіаційна служба України (ДАСУ) та інші компетентні органи забезпечують контроль за впровадженням цих правил.

Шум на приаеродромній території. Основні нормативно-праві акти, стандарти, норми, правила для оцінки впливу на довкілля та управління АШ При виконанні оцінки впливу АШ на довкілля слід керуватися чинними законами та кодексами законів України [22], а також специфічними регуляторними актами, так як Авіаційні правила України «Вимоги до експлуатанта аеродрому щодо просторового зонування території навколо аеропорту з умов впливу авіаційного шуму» (АПУ № 381) [24] та Методичні рекомендації до них [25]. В Україні до 2019 року не було національної регуляторної політики щодо забруднення навколишнього середовища аеропортів. Відсутність затверджених методичних рекомендацій та авіаційних правил стосовно оцінки впливу шуму від аеропортів на населення та розвитку аеропортів і прилеглих територій місцевих громад утримувала систему повітряного транспорту в низькому рівні інформування населення про екологічні проблеми аеропортів. Проте в контексті євроінтеграційних процесів Державна авіаційна служба України впровадила в 2019 році Авіаційні правила України № 381 (АПУ № 381), які встановлюють чіткі

вимоги до експлуатантів аеропортів стосовно зонування територій навколо аеропортів з урахуванням впливу авіаційного шуму. Документ також визначає необхідність якісних вихідних даних та проведення натурних вимірів, а також публікацію інформації про зони обмеження житлової забудови поблизу аеропортів. Відповідно до цих правил були розроблені Методичні рекомендації до просторового зонування території навколо аеропорту з умов впливу авіаційного шуму (наказ ДАСУ № 585 від 23.04.2020), які мають на меті пояснити та уточнити окремі положення АПУ № 381. Обидва ці документи слід розглядати в комплексі. Нові АПУ № 381 та МР № 585 встановлюють вимоги щодо створення шумових карт в околицях аеропортів. На відміну від інших сфер (наприклад, автодоріг, залізниць, промисловості), Україна на сьогоднішній день немає аналогічних нормативно-правових актів, що регулюють захист населення від шкідливих впливів шуму. Однак існують вимоги щодо зон обмеження забудови (санітарно-захисні зони), які встановлюються державними санітарними та будівельними нормами, зокрема ДСП № 173.

В Україні на даному етапі є необхідність впровадження законодавчого акту національного рівня, який би був аналогом Директиви ЄС 2002/49 щодо управління шумом. Цей законодавчий акт повинен створити політичні передумови для ефективного управління основними джерелами шуму та гармонізувати вимоги ЄС з вимогами українського законодавства. Додатковим викликом є приведення вимог Авіаційних правил України № 525 (АПУ № 525) та методичних рекомендацій до них (МР № 585) у відповідність до чинного українського законодавства та базової частини методики оцінки впливу авіаційного шуму. Це включає чітке визначення ролі критеріїв для оцінки авіаційного шуму та тривалості інтервалів дослідження.

Крім того, важливим етапом є розроблення та реалізація планів дій щодо зниження авіаційного шуму в рамках авіаційних правил. Це може включати впровадження нових технологій, застосування шумозахисних заходів, оптимізацію використання літаків та маршрутів, а також співпрацю зі зацікавленими сторонами, включаючи місцеві громади та екологічні організації.

Іншою важливо для впровадження згідно з вимогами угоди про САП [26] є Директива 2002/30 щодо виведення з експлуатації застарілих типів ПС, акустично та емісійно недосконалих та відповідно, заміна їх більш сучасними аналогами.

### **1.5. Рівні екологічних та техногенних чинників в сучасному аеропорту**

Однак, окрім викидів різноманітних забруднювачів повітря, при аналізі техногенних та екологічних чинників, пов'язаних з експлуатацією новітніх видів повітряних суден, необхідно вивчити й інші фактори, наприклад, рівень шуму, аеродинамічну безпеку, технічний стан суден тощо. В цілому, такий комплексний аналіз техногенних та екологічних чинників дозволяє більш повно оцінити наслідки експлуатації новітніх повітряних суден та розробити ефективні заходи для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення безпеки польотів.

Авіаційна діяльність може впливати на здоров'я людини та навколишнє середовище через викиди різноманітних забруднювачів повітря. Для прикладу аналізу локальної якості повітря та викидів парникових газів, ми розглянемо Міжнародний аеропорт "Нікола Тесла Белград". Таблиця 1 містить інформацію про комбінації літаків / двигунів та відповідну кількість циклів LTO для аеропорту "Нікола Тесла" Белград на 1 лютого 2014 року. Інформація про фактори викидів для п'яти видів забруднення для кожного з перелічених літаків, разом із відповідними швидкостями потоку палива, була отримана з Банку даних ІКАО щодо викидів авіаційних двигунів. Для моніторингу у таблиці 1 наведені результати, які були актуальні на 2015 рік.

Відповідно до даних щодо викидів забруднюючих речовин, представлених для 27 різних типів літаків та з урахуванням ПГР CH<sub>4</sub> та N<sub>2</sub>O можна прийти до висновку, що їх внесок в загальну суму витрат на викид парникових газів становить менше 2,5%. В зв'язку з цим, ці види ПГР не були враховані. У таблиці 2 наведено вартість викиду CO<sub>2</sub> для різних типів літаків.

Після аналізу в аеропорту "Нікола Тесла, стало очевидним, що літаки A319 є найбільшим джерелом витрат на викиди CO<sub>2</sub>. Це пояснюється двома факторами:

по-перше, високим рівнем коефіцієнта викиду CO<sub>2</sub> для ЛТО, а по-друге, великою кількістю циклів ЛТО.

Таблиця 1.1

Обсяги емісії забруднюючих речовин Міжнародного аеропорту "Нікола  
Тесла Белград"

Літак типу	Тип двигуна	Коефіцієнти викидів ЛТО/літак (кг/ЛТО/літак)					Витрати палива (кг/ЛТО/літак)	Число ЛТО циклів
		CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>		
A319	CFM56-5A5	1153.4	0.297	4.367	3.175	0.365	365	20
B737-300	CFM56-3-B1	1238.72	0.418	3.595	6.517	0.39	392	11
ATR72	PW127F	310	0.145	0.91	1.165	0.1	100	9
Embraer 195	CF34-10E5	957.48	0.848	2.836	6.761	0.155	303	4
B737-800	CFM56-7B26	1393.56	0.361	6.149	3.533	0.44	441	2
Fokker 100	TAY Mk650-15	1194.48	0.717	2.875	6.921	0.38	378	1
A320	CFM56-5-A1	1216.6	0.285	4.506	3.093	0.385	385	9
Embraer 175	CF34-8E5	761.56	0.018	2.222	2.065	0.155	241	1
Embraer 190	CF34-10E5	957.48	0.848	2.836	6.761	0.155	303	2
Bombardier Q400	PW120	320	0	0.755	1.12	0.1	100	1

Деяка частина викидів забруднюючих речовин, які не пов'язані з роботою літаків, можуть бути поділені на дві категорії: вихлопні викиди (обладнання земного обслуговування, повітряні транспортні засоби) і випаровувальні викиди (заправка літаків та очищення їх від ожеледі). За результатами вивчення було також проаналізовано, що викиди CO<sub>2</sub> від літака Airbus A319 є найбільш значущим чинником забруднення повітря в безпосередній близькості до аеропорту. Тому при оцінці витрат на викид парникових газів необхідно враховувати тип та кількість літаків у потоці повітряного транспорту.

Таблиця 1.2.

Вартість емісії CO<sub>2</sub> для різних типів повітряних суден.

Літак типу	Тип двигуна	Вартість викидів CO <sub>2</sub> станом на 1 лютого 2014 р. (євро)
A319	CFM56-5A5	101.50
B737-300	CFM56-3-B1	59.95
ATR72	PW127F	12.28
Embraer 195	CF34-10E5	16.85
B737-800	CFM56-7B26	12.26
Fokker 100	TAY Mk650-15	5.26
A320	CFM56-5-A1	48.18
Embraer 175	CF34-8E5	3.35
Embraer 190	CF34-10E5	8.43
Bombardier Q400	PW120	1.41

## **РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОГЕННИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ НОВІТНІХ ВИДІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

### **2.1. Вплив світових кризових явищ на систему техногенної та екологічної безпеки цивільної авіації**

Сьогодні повітряний транспорт стикається з великими викликами, які включають глобальну пандемію COVID-19, терористичні події, регіональні та національні фінансові кризи. Ці виклики неодмінно впливають на ефективність та економічну доцільність індустрії. Забезпечення відповідного рівня безпеки для захисту майна, життя та здоров'я людини, довкілля, фінансової безпеки та правової відповідальності авіаційних компаній - пріоритет для розв'язання цих проблем.

Розвиток стратегічних сценаріїв та механізмів розвитку інституційної підтримки є ключем до сталого розвитку повітряного транспорту в динамічному зовнішньому середовищі, яке постійно змінюється та невизначене. Україна також стикається з викликами в цій сфері, пов'язаними наразі з повномасштабною війною, аваріями літаків та пандемією COVID-19, що не можуть не впливати на інфраструктуру повітряного транспорту.

Повітряний транспорт не лише є відкритою системою, але й адаптивною. Сучасні виклики його діяльності показують необхідність розвитку стратегічних сценаріїв та механізмів розвитку підтримки для подальшого сталого розвитку, з урахуванням динамічного зовнішнього середовища, постійної зміни характеру та інтенсивності загроз та факторів невизначеності.

Україна активно займається боротьбою зі змінами клімату та зниженням викидів парникових газів (ПГ), що є ключовими завданнями для країни. У Глазго під час Конференції ООН у листопаді 2021 року, Україна представила свій Другий Національно визначений внесок (НВВ-2). Ціль цього якого полягає у зменшенні викидів ПГ на 65% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року.

Проте для успішної реалізації проєктів, що відповідають цілям Паризької угоди та принципам без вуглецевого сталого розвитку, Україні потрібна фінансова

та інвестиційна підтримка. Документи включають аналіз поточних та майбутніх змін клімату, оцінку вразливості до їх наслідків та пропонують шляхи зниження майбутніх економічних, екологічних і соціальних витрат[27].

Україна успішно вступила до Спільного авіаційного простору ЄС (САП), що є важливим кроком у співробітництві в авіаційній галузі. Угода про приєднання була підписана 12 жовтня 2021 року під час XXIII Саміту Україна-ЄС. Це дає Україні можливість стати членом єдиного авіапростору ЄС, якщо вона виконає європейські стандарти і правила в сфері авіаперевезень.

Також перед початком війни реалізація Європейської зеленої угоди (European Green Deal) була одним із важливих пріоритетів ЄС та України, але через воєнні події та російську агресію цей напрямок став ще більш актуальним. З метою перетворення Європи на перший кліматично нейтральний континент у світі до 2050 року, ЄС розробив широкомасштабну програму, відому як Європейська зелена угода. Україна, у свою чергу, зобов'язалася співпрацювати з Брюсселем у цьому напрямку, і включила до своєї національної економічної стратегії мету досягнення вуглецевої нейтральності до 2060 року[28].

Охорона навколишнього середовища є одним з пріоритетів євроінтеграційного процесу України, а також важливим завданням відновлення після війни. Внаслідок військового вторгнення Росії було завдано значних збитків та шкоди екосистемі України у розмірі 36 мільярдів євро (включаючи 11,4 мільярда євро від забруднення ґрунтів та 24,6 мільярда євро від забруднення повітря). За період семи місяців війни було зафіксовано понад 2 100 випадків природно-екологічної шкоди[29].

Авіаційна індустрія серйозно постраждала від пандемії COVID-19. Тривалість та наслідки цього спалаху є невизначеними, але вже сьогодні очевидно масштабні наслідки. Весняна хвиля закриття кордонів у 2020 році як у ЄС, так і за його межами, призвела до значного скасування рейсів та різкого скорочення роботи авіакомпаній. Повне відновлення авіаперевезень в ЄС не очікується до 2024 року, що матиме довготривалі наслідки для економіки ЄС загалом, а також окремих галузей, зокрема торгівлі та туризму [30].

Пандемія COVID-19 та війна в Україні підкреслили важливість проведення досліджень з техногенної екологічної безпеки. У 2020 році починаючи з поширення COVID-19, пасажирські перельоти майже повністю припинилися, що призвело до введення обмежень на подорожі та скасування багатьох польотів.

Авіаційний ринок зазнав найбільших економічних збитків порівняно з іншими ринками транспортних послуг. Під час аналізу даних, представлених на рисунку, відзначається, що в 2020 році спостерігалось зниження обсягів пасажирських перевезень на 65,9% порівняно з 2019 роком (рисунок 2.1) [31].



Рис. 2.1. Динаміка глобального ринку пасажирських авіаперевезень

В квітні 2020 року кількість щоденних польотів в Європі скоротилася до 12% від обсягів 2019 року (рисунок 2.2), а літнє відновлення було незначним, оскільки нові хвилі пандемії спричинили додаткові блокування. Після запровадження програм вакцинації, Європа побачила швидке відновлення туризму та подорожей влітку 2021 року, хоча середня кількість середньо-дальніх та дальніх перельотів залишалась низькою. Однак, відновлення було нерівномірним, з країнами Середземномор'я, які перевищили кількість польотів в 2019 році, тоді як деякі північні країни залишалися на рівні 50-60% від рівня 2019 року. У кінці 2021 року спостерігався ще один спад пасажирського руху, спричинений варіантом COVID-19 Омикрон.



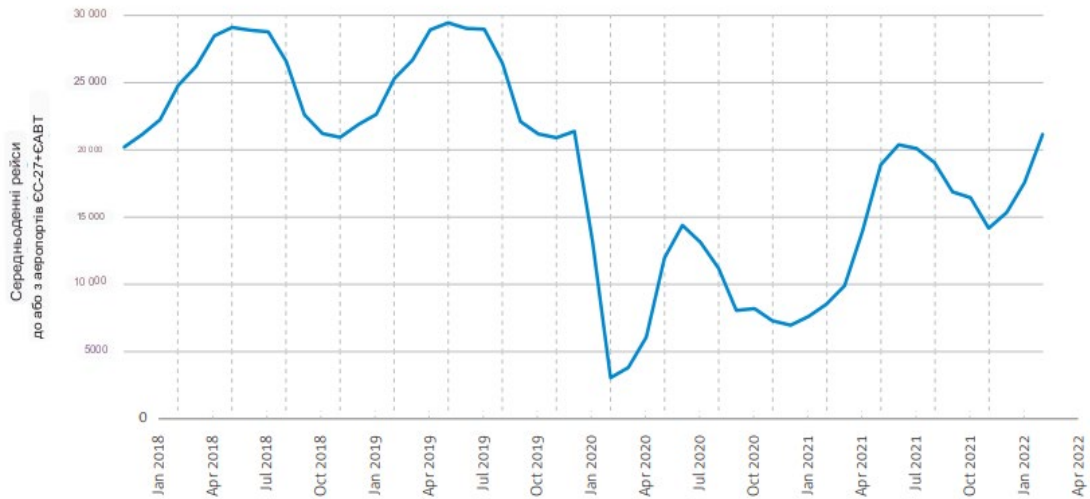


Рис. 2.1. Трафік влітку 2021 року встановив приблизно дві третини літнього трафіку до пандемії

Оператори всіх вантажних літаків та бізнес-авіації майже не постраждали від зменшення кількості польотів протягом 2020 та 2021 років. Внутрішні рейси були більш популярними, оскільки вони менше обмежені, ніж міжнародний транспорт.

У 2019 році середня кількість грамів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) на один пасажирський кілометр зросла до історичного максимуму в 147 мільйонів тонн. Однак прискорені покращення в технології літаків, управлінні повітряним транспортом та сталих авіаційних паливах будуть необхідні для зменшення екологічного сліду сектора, якщо пасажирський трафік відновиться на попередні рівні. У 2020 році пандемія COVID-19 призвела до скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 57%. Незважаючи на це, прогнози зменшення викидів за допомогою механізмів на основі ринкових механізмів не були зроблені через незакінчені дискусії щодо системи ETS та CORSIA на європейському та ICAO рівнях. Зменшення викидів CO<sub>2</sub> може бути досягнуто шляхом застосування мандату ReFuelEU для сталих авіаційних палив, а також використання нових технологій приводу, таких як електричні та водневі літаки після 2035 року. У цьому разі нетто викиди CO<sub>2</sub> можуть бути на 50% нижчими у 2050 році порівняно з 2019 роком, на рисунку 2.3 та 2.4 [8].

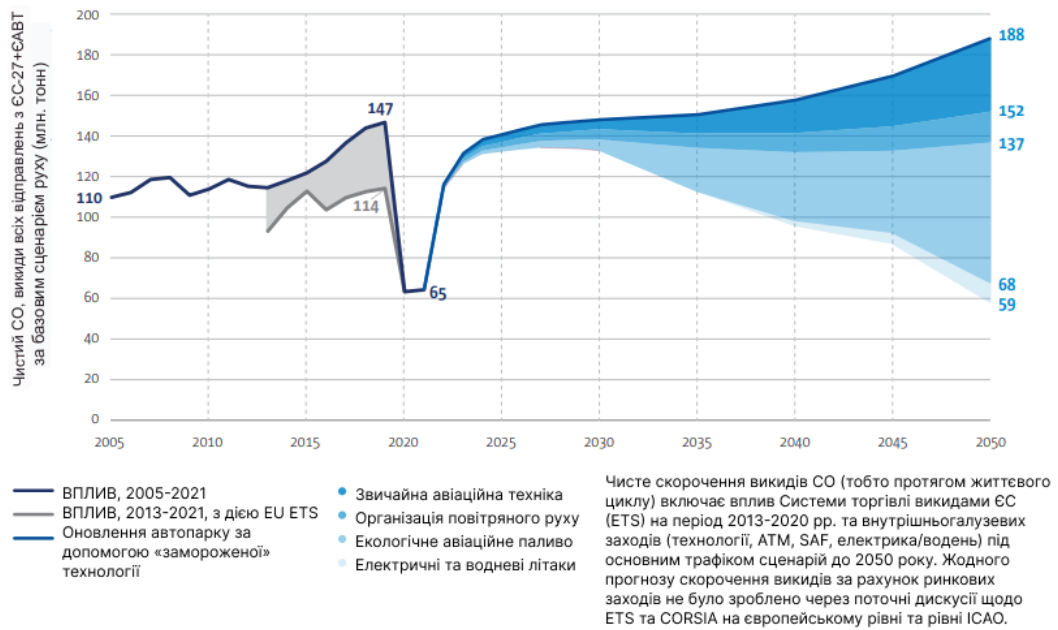


Рис. 2.3. Чисті викиди CO<sub>2</sub> можна скоротити вдвічі до 2050 року, використовуючи екологічне авіаційне паливо

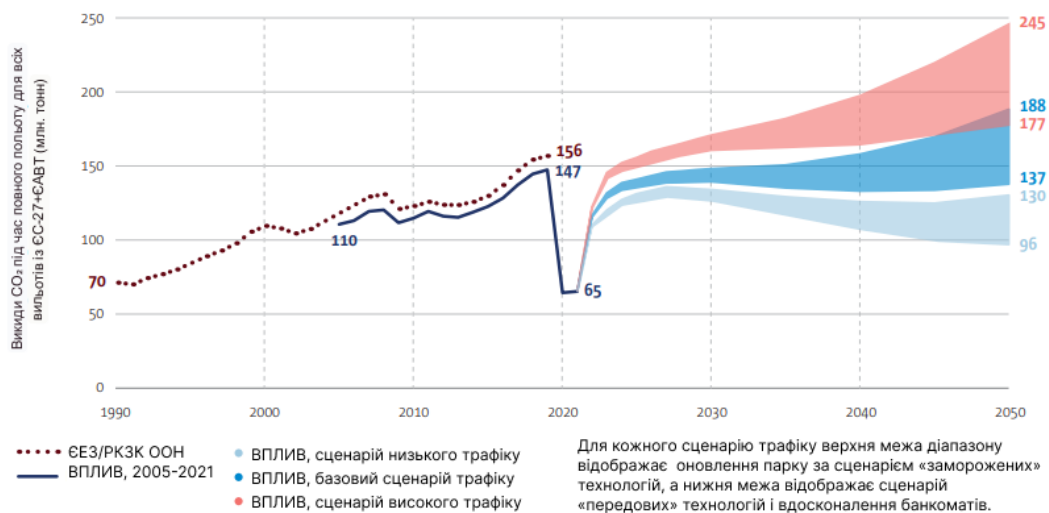


Рис. 2.4. Викиди CO<sub>2</sub> у повному польоті можуть перевищити рівень 2019 року згідно з базовим прогнозом і високим трафіком.

Якщо говорити про вплив на глобальний клімат, то викиди CO<sub>2</sub> від авіації є найбільш шкідливими через тривалий період їхнього атмосферного існування. Згідно з макроекономічними даними, світовий авіаційний сектор призводить до

близько 2% всіх викидів CO<sub>2</sub> у світі. Інформація про тенденції викидів CO<sub>2</sub> міжнародною авіацією доступна за період з 2005 по 2050 роки.

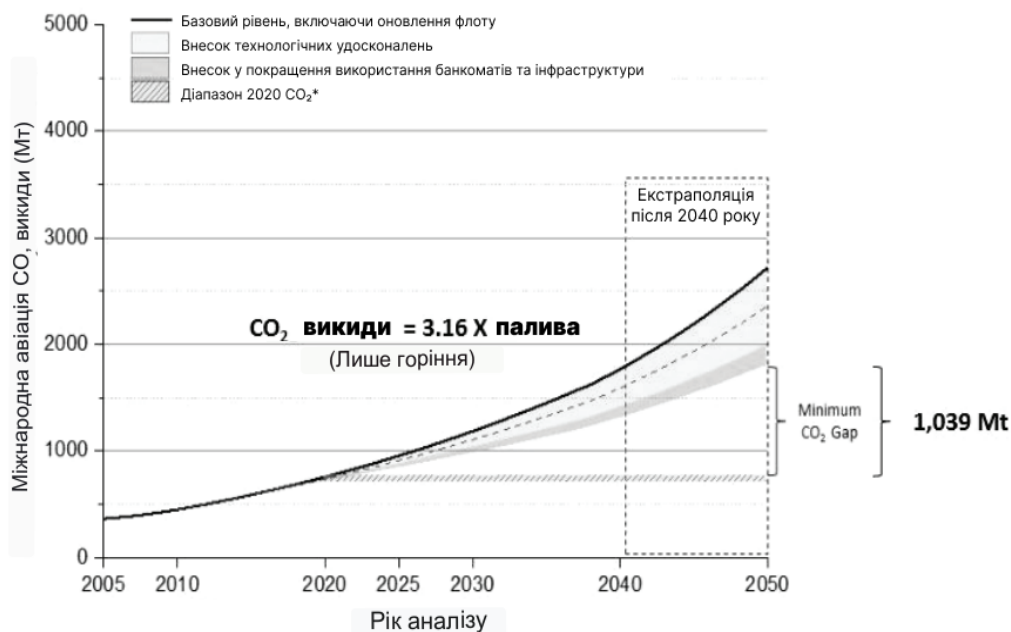


Рис. 2. Тенденції викидів CO<sub>2</sub> від міжнародної авіації (2005-2050).

## Рис. 2.5. Тенденції викидів CO<sub>2</sub> від міжнародної авіації (2005-2050)

У зусиллях зменшення впливу шуму на довкілля, компанії-виробники літаків постійно працюють над новими технологіями та дизайном двигунів із низьким рівнем шуму. Також, аеропорти впроваджують різноманітні заходи для зменшення шуму, такі як спеціальне обладнання для зменшення шуму на старті та посадці, будівництво звукопоглинальних стін та зон для зменшення шумового фону в районах, що оточують аеропорт.

## 2.2. Екологічні загрози під час експлуатації новітніх видів транспорту

Багато країн і промислових секторів ставлять перед собою цілі досягнення нульового рівня викидів до 2050 року, і в різних частинах світу процес декарбонізації відбувається з різною швидкістю. Екологічна трансформація авіаційного сектору в контексті подвійного зеленого і цифрового переходу є однією з головних глобальних проблем, яка суттєво вплине на цю галузь. Європейський

зелений курс, який був ініційований Європейською комісією, націлений на досягнення створення першого в світі блоку, що забезпечить кліматичну нейтральність до 2050 року. Не випадково, екологічна модернізація авіаційного сектору перебуває в центрі уваги.

Авіаційна галузь в 2009 році стала однією з перших промислових галузей, що розробила глобальний план дій щодо зміни клімату. Основною метою на довгострокову перспективу було знизити наполовину викиди CO<sub>2</sub> до 2050 року порівняно з 2005 роком. Це узгоджувалося з ціллю Паризької угоди щодо зменшення глобального потепління до "значно менше 2°C". З урахуванням наукових доказів стає зрозумілим, що реалізація чистих нульових викидів є надзвичайно важливим для попередження та зменшення негативних наслідків змін в навколишньому середовищі. Глобальна авіаційна промисловість може досягти певних результатів, щодо чистих нульових викидів до 2050 року. Досягнення такої попередньо запроваджено у 2009 році промислової кліматичної цілі, можна сказати серйозним викликом, але незважаючи на це, вважається реалістичною метою та наміром. Для того, щоб впоратися зі збільшенням повітряного трафіку та вимогою зменшити загальний слід авіаційного сектору, щоб зробити його більш стійким і прийнятним для всього суспільства, поряд з усіма іншими заходами потрібні радикальні технологічні вдосконалення. Це також включає розробку нових конфігурацій літальних апаратів і відповідних технологій, які, як очікується, принесуть значні покращення щодо спалювання палива, викидів газів і шуму порівняно з поточним станом і поточним еволюційним розвитком. Кілька дослідницьких проєктів по всьому світу досліджують конкретні технології для досягнення цих цілей окремо або нові — іноді також називають «руйнівними» — концепції літаків у цілому.

Авіаційна галузь планує досягти нульових викидів парникових газів до 2050 року, згідно з узгодженням у межах глобальної індустрії. IATA стверджує, що використання стійких видів палива та компенсування вуглецевих викидів внесуть найбільший внесок до зменшення викидів, понад 80%. Більші авіаційні компанії,

зокрема Airbus, активно розробляють інші технології з низьким викидом, такі як літаки на електриці та водні.

Авіаційна галузь відповідає за близько 2,5% світових викидів CO<sub>2</sub>, але його загальний вплив на зміну клімату перевищує цей показник. Причина полягає в тому, що авіаперевезення впливають на клімат не лише через викиди CO<sub>2</sub>, але й через більш складні механізми. Спалювання палива літаками також призводить до викиду CO<sub>2</sub>, який впливає на концентрацію інших газів і забруднюючих речовин у атмосфері. Це може призводити до короточасного збільшення озону (O<sub>3</sub>), зниження метану (CH<sub>4</sub>), викидів водяної пари, сажі, сіркових аерозолів та інших слідів. Деякі з цих ефектів призводять до потепління, тоді як інші мають охолоджуючий ефект. Загалом, ефект потепління переважає.

Дослідники, зокрема Девід Лі та співавтори (2020), провели кількісну оцінку загального впливу авіації на глобальне потепління, враховуючи всі ці наслідки. Вони розрахували показник, відомий як "радіаційний вплив", який вимірює різницю між надходженням та випромінюванням енергії в атмосфері. Якщо більше енергії поглинається, ніж випромінюється, то атмосфера стає теплішою. На рисунку 2.6 представлені їх оцінки радіаційного впливу різних факторів. При урахуванні всіх цих факторів, авіація відповідає за близько 3,5% загального ефективного радіаційного впливу, що відповідає 3,5% потеплінню.

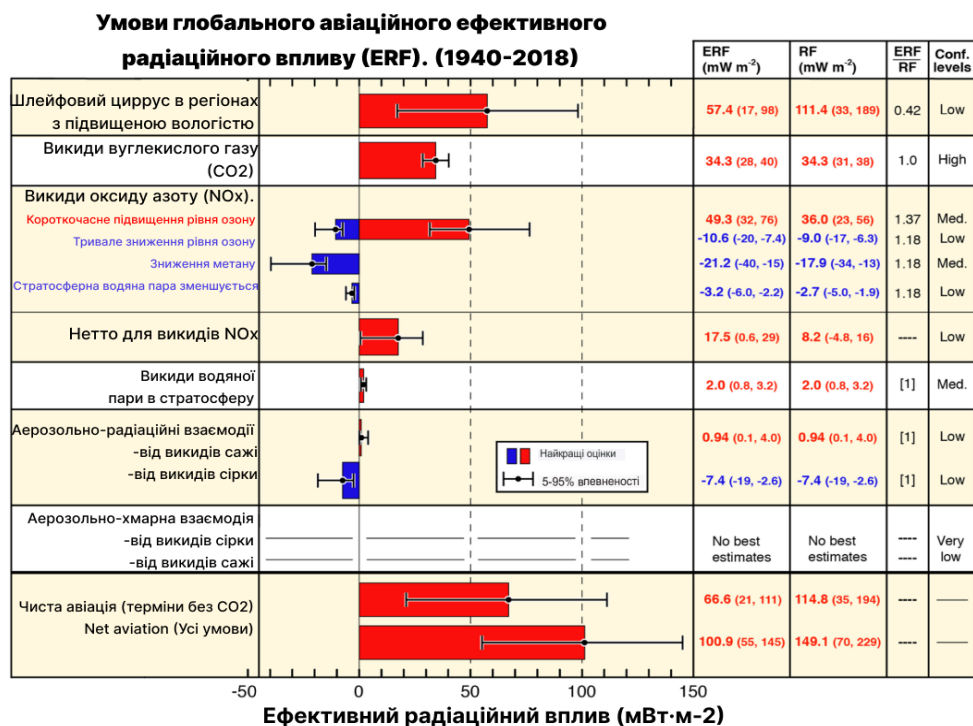


Рис. 2.6. Умови глобального авіаційного ефективного радіаційного впливу

Незважаючи на те, що увага зосереджена на CO<sub>2</sub>, цей газ відповідає за менше половини цього потепління. Дві третини (66%) ефекту походять від інших викидів, не пов'язаних з CO<sub>2</sub>. Найбільший вплив припадає на водяну пару, яка залишається в вихлопних газах літаків.

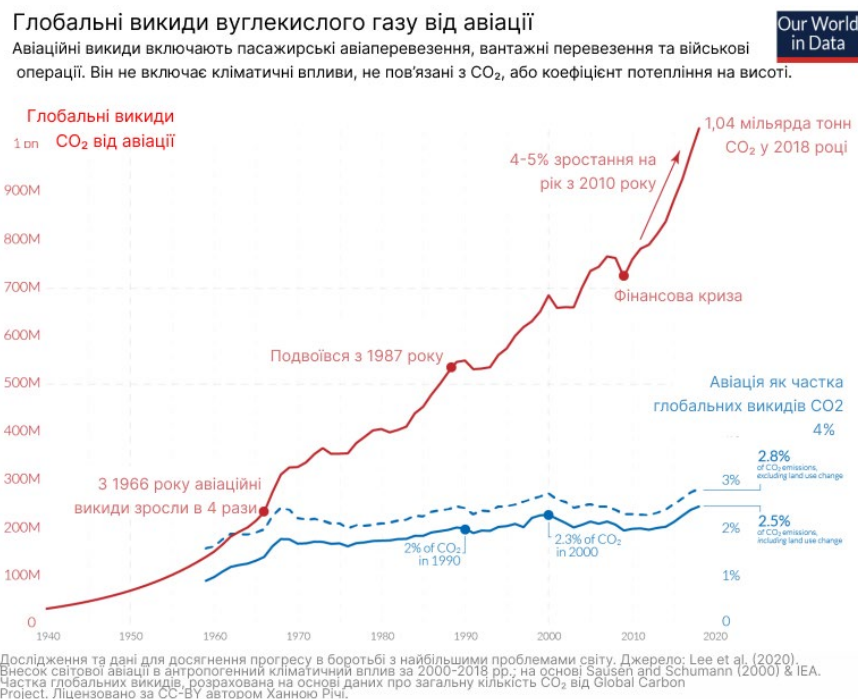


Рис. 2.7. Глобальні викиди вуглекислого газу від авіації

На сьогоднішній день ще триває пошук наявних технологій для екологізації повітряних перевезень. Вклад авіації в зміну клімату - це всього 3,5% потепління або 2,5% викидів CO<sub>2</sub> - що часто менше, ніж багато людей уявляють. У порівнянні з іншими галузями, це відносно невелика частка викидів.

Основний виклик полягає в тому, що екологізація авіації є особливо складною. У нас є рішення для зменшення викидів багатьох найбільших забруднювачів, таких як енергетика чи автотранспорт, і зараз йде праця над їх масштабуванням. Ми можемо використовувати відновлювальну та ядерну енергетику, переходити на електромобілі. Але для авіації ще не маємо доведених рішень.

З'являються деякі концепції дизайну, наприклад, компанія Airbus оголосила плани створити перший літак з нульовим викидом до 2035 року за допомогою водневих паливних елементів. Електричні літаки можуть стати життєздатною концепцією, але ймовірно їх застосують обмежено для дуже малих літаків через обмеження технологій та ємності батарей [32].

### **2.3. Ризики авіаційних подій та інші надзвичайні ситуації техногенного характеру пов'язані з використанням новітніх технологій**

Впровадження нових технологій у сфері авіації, таких як автоматизовані системи, безпілотні літальні апарати (дрони), високошвидкісні літаки і т. д., може вносити як позитивні, так і негативні аспекти з точки зору безпеки.

З одного боку, новітні технології можуть сприяти поліпшенню безпеки авіаційних операцій. Наприклад, автоматизовані системи керування можуть забезпечити точніше планування маршрутів, більш ефективне керування повітряним рухом і попередження про можливі конфлікти. Безпілотні літальні апарати можуть використовуватися для виконання ризикових завдань, таких як пошук і рятування або моніторинг уражених ділянок, зменшуючи ризик для людей.

З іншого боку, використання новітніх технологій може створювати нові види ризиків. Наприклад, проблеми зі супутниковими системами навігації можуть призвести до втрати контролю над літальним апаратом. Технічні несправності

нових систем або недостатня підготовка персоналу можуть також становити загрозу для безпеки.

Отже, важливо забезпечити належну оцінку ризиків та розвинути ефективні стратегії для управління ними при використанні новітніх технологій у авіації. Це включає в себе розробку стандартів безпеки, вдосконалення процесів навчання та підготовки персоналу, проведення системних перевірок і тестувань технологій перед їх впровадженням, а також постійне вдосконалення систем безпеки на основі накопиченого досвіду та вивчення випадків авіаційних подій.

Технічні та технологічні аспекти авіаційного транспорту, які впливають на його техногенну та екологічну безпеку можуть включати:

- Двигуни:

Двигуни літаків можуть виробляти шкідливі викиди в атмосферу, такі як вуглекислий газ, оксиди азоту, водневий хлорид та інші. Крім того, мотори можуть викликати шумове забруднення, що може мати негативний вплив на людей та довкілля.

- Аеродинаміка:

Аеродинамічні властивості літака можуть впливати на його стійкість та безпеку. Наприклад, поганий дизайн крила може призвести до нестабільної польотної поведінки літака.

- Системи безпеки:

Системи безпеки включають в себе різноманітні механізми, такі як аварійні вимикачі, пожежні системи та системи аварійного відключення електропостачання. Недостатність або несправність цих систем можуть призвести до аварії літака.

- Керування:

Керування літаком може включати різні технології, такі як автопілот, електронне управління та інші. Недостатня робота цих систем або недостатні навички пілотів можуть призвести до аварій.

- Матеріали:

Використання різних матеріалів може впливати на вагу та міцність літака, а також на екологічні наслідки його експлуатації. Наприклад, використання



композитних матеріалів може зменшити вагу літака та сприяти зниженню викидів, але при цьому може бути складніше переробити ці матеріали після закінчення терміну експлуатації літака.

Окрім технічних та технологічних аспектів, також важливим фактором впливу на техногенну та екологічну безпеку авіаційного транспорту є людський фактор. Зокрема, навички та професійна підготовка пілотів, персоналу з технічного обслуговування, диспетчерів та інших фахівців можуть впливати на безпеку польотів та роботу авіаційної техніки. Також варто враховувати вплив кліматичних умов та природних катастроф на техногенну та екологічну безпеку авіаційного транспорту.

У зв'язку зі стрімким розвитком авіаційної промисловості та збільшенням числа пасажирських перевезень, особлива увага приділяється аналізу техногенних та екологічних чинників, пов'язаних з експлуатацією новітніх видів повітряних суден. Одним із найважливіших аспектів цього аналізу є викиди різноманітних забруднювачів повітря, які можуть мати серйозний негативний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище.

*Взаємозалежності, що слід врахувати при розробці нових типів повітряних суден*

При розробці нових типів повітряних суден і врахуванні екологічних та техногенних чинників впливу на довкілля важливо враховувати наступні взаємозалежності:

**Ефективність палива та викиди:** Розробка нових типів повітряних суден повинна включати підвищену увагу до ефективності палива та зниження викидів забруднюючих речовин. Це може включати використання екологічно чистих палив, розвиток електричних або гібридних систем приводу, а також застосування більш ефективних двигунів та систем очищення вихлопних газів.

**Шумове забруднення:** Розробка нових повітряних суден повинна спрямовуватись на зниження шумового забруднення, що виникає під час польоту. Це може бути досягнуто шляхом використання більш тихих двигунів, оптимізації

аеродинамічних характеристик судна та використання звукоізоляційних матеріалів.

Енергоефективність: Розробка нових повітряних суден повинна спрямовуватись на покращення їх енергоефективності. Це може включати використання легких матеріалів для зниження маси судна, використання передових систем керування та оптимізацію аеродинамічних характеристик.

Використання відновлювальних джерел енергії: Розробка нових типів повітряних суден може передбачати використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія, для живлення деяких систем або допомоги у приводі.

Життєвий цикл та утилізація: Врахування екологічних аспектів повинне охоплювати не лише експлуатаційний період повітряного судна, але й його життєвий цикл та після експлуатаційну утилізацію. Важливо розглядати можливості вторинного використання матеріалів та компонентів, а також безпечну утилізацію судна після його виведення з експлуатації.

В даній роботі запропоновано використовувати комплексний підхід до врахування техногенних та екологічних чинників.

З цією метою було визначено групи новітніх типів повітряних суден, які оцінюються як найбільш перспективні. Зокрема:

- UAM включно з безпілотниками
- Невеликі електричні літаки та гібридні повітряні судна малої та середньої дальності
- Електричні літаки для комерційних пасажирських перевезень (середньо та далеко-магістральні)
- Літаки, що використовують Sustainable Aviation Fuels
- Повітряні судна на водні
- Надзвукові бізнес-джети
- Великі надзвукові авіалайнери

Екологічні та техногенні чинники було проранжовано за ступенем згадування в літературі та обрано наступні їх групи для подальшого аналізу:

безпека польотів, ризик третьої сторони, шум, парникові викиди, вплив на локальну якість повітря, інфраструктура та готовність технологій до впровадження. Результати якісної оцінки представлено в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Комплексний підхід до оцінки техногенних та екологічних загроз новітніх видів повітряного транспорту

Тип повітряних суден	Безпека польотів	Ризик третьої сторони	Шум	Парникові викиди	Вплив на локальну якість повітря	Інфраструктура	Готовність технологій до впровадження
UAM включно з безпілотниками	Висока	Низький	Низький	Низький	Покращення	Розвинена	Вже впроваджується
Невеликі електричні літаки та гібридні повітряні судна малої та середньої дальності	Висока	Середній	Низький	Низький	Покращення	Розвинена	Вже впроваджується
Електричні літаки для комерційних пасажирських перевезень (середньо та далеко-магістральні)	Висока	Середній	Низький	Низький	Покращення	Розвинена	Вже впроваджується
Літаки, що використовують Sustainable Aviation Fuels	Висока	Низький	Низький	Зниження	Покращення	Розвинена	Вже впроваджується
Повітряні судна на водні	Висока	Середній	Низький	Зниження	Покращення	Розвинена	Вже впроваджується
Надзвукові бізнес-джети	Висока	Низький	Високий	Зниження	Покращення	Розвинена	Вже впроваджується
Великі надзвукові авіалайнери	Висока	Середній	Високий	Зниження	Обмеження	Розвинена	Розробка проектів

## РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ НОВІТНІХ ВИДІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

### 3.1. Техногенно-екологічна характеристика новітніх типів авіаційного транспорту та в умовах відновлення цивільної авіації в Україні

*Надзвукові літаки.* Розробляються нові покоління повітряних суден суперзвукового транспорту (SST) з метою введення їх в експлуатацію до 2030 року. Хоча Aerion, виробник з одним із найбільш передових надзвукових програм, припинив свою діяльність в 2021 році, компанія Boom Supersonic та інші продовжують розробку своїх концепцій суперзвукових літаків. Повітряні судна SST зустрічаються з різними викликами, особливо через "звуковий удар", який вони генерують при польоті з надзвуковою швидкістю. З цієї причини літак Concorde був обмежений дозвуковими швидкостями при польотах над суходолом і близько узбережжя. Крім того, висока швидкість надзвукових літаків ймовірно призведе до значень метричного показника CO<sub>2</sub> за стандартами ICAO, які будуть в 2-3 рази вищі, ніж у порівнянних дозвукових літаків, і потребується краще розуміння впливу зміни клімату від окремих викидів SST на різних висотах [17, 18]. У США NASA буде літальний демонстратор для дослідження технології тихого суперзвукового транспорту з метою зменшення звукових ударів за допомогою спеціально формованих обтічників [19]. В Європі також проводяться різноманітні дослідження щодо польотів SST [20, 21, 22], а EASA активно працює над розробкою відповідних стандартів щодо шуму та викидів для повітряних суден SST як на європейському, так і на рівні ICAO [23].

*Повітряні судна, що використовують електроенергію.* Завдяки покращеній шумовій та екологічній продуктивності та обмеженій дальності польоту, електричні літаки з батарейним приводом були визнані оптимальними для навчання пілотів біля аеродромів. Вони вже використовуються Схваленими організаціями навчання в різних країнах Європи, де нове покоління пілотів вивчає

польоти на електричних літаках. Перехід стимулюється використанням сонячних панелей на ангарах для літаків з системами зберігання енергії батареї та зарядними пристроями, які можуть використовуватись для підтримки всіх електромобільних дій на аеродромі. Зниження оперативних витрат приблизно на 30% також досягається завдяки скороченню часу, необхідного для нагріву приводу та виконання попереднього контролю перед польотом, що призводить до більшого часу фактичного польоту.

Електричний привід вперше був введений на ринок самонесучих планерів у 2014 році. Пізніше, у 2020 році, EASA сертифікувала перший у своєму роді повністю електричний літак загальної авіації - Pipistrel Velis Electro. Завдяки відсутності шуму двигуна, він може бути на 10 децибел тишчим, ніж еквівалентний поршневий літак Pipistrel за шумовим стандартом ICAO Annex 16, Chapter 10, що сприймається людьми як на 50% тише. Ринкова відповідь на цей літак була позитивною, і Pipistrel планує збільшити виробничу потужність до 120 літаків Velis Electro на рік у 2022 році. Додаткові проекти реалізуються компанією Heart Aerospace для Finnair у формі 19-місного регіонального електричного турбогвинтового літака та компанією Eviation для DHL, яка планує поставити вантажний електричний літак "eCargo" у 2024 році. Також розробляються гібридні конфігурації літаків, наприклад, Tecnam P2010 H3PS. Продовжуються технічні виклики, пов'язані з технологією батарей, включаючи необхідність збільшення щільності енергії для зменшення ваги та збільшення тривалості польоту з метою розширення можливостей використання електричних літаків у різних операційних сферах.

*ПС, які використовують альтернативні палива (SAF)* Стійке авіаційне паливо (САП) є стійким, не традиційним альтернативним паливом для авіації, що не базується на викопних джерелах. Залежно від регулятивного контексту, основи вихідних матеріалів та технології виробництва можуть застосовуватись кілька визначень та термінології. Згідно з регуляторним пропозиціям ReFuelEU Aviation [13], САП визначаються як універсальні палива для авіації, що можуть використовуватись без змін в авіаційному обладнанні. Вони можуть бути

біопаливами, виробленими з вихідних матеріалів, перелічених в Додатку IX до Директиви щодо відновлюваної енергії (RED II) [1], або синтетичними паливами для авіації, які відповідають критеріям сталості та зниження викидів парникових газів (ПГ) відповідно до статті 29 RED II. Для синтетичних палив використовуються різні термінології, такі як відновлювані рідкі транспортні палива небіологічного походження (RFNBO), електропалива, е-палива та енергія-в-рідину (PtL). Сировина та процес виробництва САП зазвичай призводять до дуже низького рівня сірки та ароматичних сполук, які входять до складу летючих і нелетючих часток (ПМ). Дослідження щодо використання САП, змішаних з викопним авіаційним паливом, показали, що викиди ПМ за літаком на крейсерських висотах знижуються на 50-97% порівняно з викопним авіаційним паливом. Найбільші зниження спостерігаються при низькій потужності двигуна, яку зазвичай застосовують під час руху по землі, тому САП також можуть покращити якість повітря в місцевості і зменшити вплив на здоров'я [14]. Таким чином, завдяки відмінному фізико-хімічному складу, універсальні палива на основі САП можуть мати позитивний вплив як на якість повітря навколо аеропортів, так і на зміни клімату шляхом зниження утворення хмар.

*Повітряні судна на водневому паливі.* Використання водню як палива або джерела енергії для літаків вже було показано технічно можливим, коли в 1980-х роках двигун літака був модифікований для роботи на водні. Однак вартість і наявність водню в системі авіації, а також складність його зберігання на борту, робили цю архітектуру непривабливою порівняно з використанням нафтопродуктів на основі керосину. Ініціатива Airbus ZEROe має на меті розробку комерційного літака з нульовими викидами CO<sub>2</sub>, який увійде в експлуатацію до 2035 року. Останні оцінки свідчать, що використання водню у поєднанні з паливними елементами може зменшити кліматичний вплив польоту на 75-90%, а використання водню для згоряння може забезпечити зменшення впливу на 50-75% [24, 25]. Проте, для повного розуміння зменшення викидів та пов'язаних з ними впливів, необхідні подальші дослідження в цій галузі. Вже розробляються прототипи, що працюють на водні, такі як APUS i-2, HY4 від H2FLY та Piper M-

class, модифіковані компанією ZeroAvia. Однак, існують технічні виклики. Хоча вища енергетична щільність водню дозволить значне зменшення маси палива, об'єм водню повинен бути в чотири рази більше, ніж керосину, при тій же кількості енергії, навіть при зберіганні у рідкому вигляді за температури  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . З метою вирішення цих проблем, одна з трьох складових ініціативи Clean Aviation є водень, який спрямований на розробку відповідної технології та регулятивних вимог.

*Дрони та міська повітряна мобільність (UAM)*. Протягом 2021 року EASA опублікувало результати дослідження соціального сприйняття транспорту UAM в Європі [33], в якому було встановлено, що шум є другою основною проблемою після безпеки. Дослідження також підтвердило, що шум, пов'язаний з UAM, сприймається як більш обтяжливий, ніж інші звуки в місті. З метою забезпечення єдиної високої якості захисту навколишнього середовища та вирішення проблем, пов'язаних із шумом, які виражені громадянами ЄС, EASA розробляє спеціальні стандарти шумової сертифікації, які враховують конкретні характеристики цих продуктів.

Хоча використання електричного приводу схильне зменшувати шум порівняно зі звичайними літаками, використання кількох роторів може створювати унікальний звук. Тому необхідна система вимірювання, яка належним чином враховує виникаючу неприємність, а для досягнення цієї мети EASA проводить широкомасштабні дослідження, які охоплюють випробування на місці експлуатації та психоакустичні вимірювання.

Крім того, дрони та повітряні транспортні засоби для міської мобільності (UAM) мають експлуатаційні аспекти, які не були враховані при розробці існуючих стандартів шуму для літаків (наприклад, операції у неподалік від густонаселених районів, профілі польоту з високими швидкостями підйому та стрімкими поворотами через відсутність пілотів або пасажирів на борту). Розуміння того, як очікується, що ці транспортні засоби будуть літати та які будуть їх типові місії, також є основою для розробки відповідних стандартів сертифікації шуму.

Повітряні транспортні засоби для міської мобільності (UAM), такі як Lilium, Volocopter і CityAirbus, можуть забезпечувати швидкість з'єднання точка-точка,

наприклад, між аеропортами та передмістями "міських воріт" або між містами на регіональній основі. Прототип модульного тестового майданчика для вертипортів, який може бути масштабований залежно від попиту, вже створюється групою Aéroports de Paris з метою першого комерційного польоту до 2024 року. Польотні випробування заплановано на 2022 рік, під час яких будуть оцінюватися заходи з пом'якшення, спрямовані на управління шумовим впливом від експлуатаційних режимів у співпраці з місцевою громадою.

Таким чином, різні підходи та технологічні рішення мають досить різні ефекти після впровадження в експлуатацію, а кумулятивний ефект для довкілля та місцевого населення має бути оцінений окремо для кожного аеропорту/ вертипорту та масштабований на глобальному рівні для оцінки ефективності нової технології за різних сценаріїв експлуатації.

### **3.2. Вихідні умови та критерії екологічної та техногенної безпеки**

Для комплексної оцінки та моделювання рівнів екологічного та техногенного навантаження від впровадження новітніх типів повітряного транспорту було використано сценарний підхід. В межах якого було виділено три основні сценарії експлуатації повітряних суден, які дозволяють проілюструвати переваги комплексного підходу, що пропонуються в даному дослідженні.

Для розрахунків було експлуатаційні та геометричні характеристики одного з міжнародних аеропортів України.

Базуючись на попередньому аналізі (Розділи 1-2) з урахуванням основних взаємозалежностей було обрано такі чинники та критерії для оцінки техногенного та екологічного впливу:

- викиди оксиду вуглецю (тони, %);
- викиди оксидів азоту (тони, %);
- рівні шуму (максимальні та еквівалентні рівні звуку, дБА)
- ризик третьої сторони як функція техногенної безпеки нових типів літаків, що потенційно пов'язана з істотною шкодою на поверхні землі а загибеллю сторонніх осіб (третьої сторони).



Для оцінки зазначених чинників було використано моделі, рекомендовані ICAO та/або верифіковані під час використання в інших аналогічних проектах:

- для оцінки емісій – модель Emission and Dispersion Modeling System (EDMS) FAA;

- для оцінки шуму – модель Integrated Noise Model (INM) FAA;

- для оцінки ризику третьої сторони – модель НАУ 3P-Risk.

Пропонується розглянути три сценарії:

- поточний, який відповідає завантаженості аеропорту станом на 2019 рік (Сценарій 0)

- перспективний сценарій на 50 років з урахування зростання обсягів авіаційних перевезень та збереження технологій 2019 року (Сценарій 1) та надзвукового літака Concorde.

- перспективний сценарій на 30 років (до 2050) з урахування зростання обсягів авіаційних перевезень та проривного технологічного розвитку в сфері цивільної авіації із залученням всіх перелічених в табл. 3.1) новітніх класів ПС.

Таблиця 3.1

Зведена характеристика основних перспективних типів повітряних суден

Класи ПС	Типи ПС /концепт
Надзвукові літаки:	-
- Бізнес джети	Aerion SBJ
-комерційні літаки SST	Overture Boom Supersonic
ПС, що використовують електроенергію	
- Електричні літаки	- eAirbus
- Гібридні літаки	- An132Hybrid

ПС, які використовують альтернативні палива (SAF)	A 220
ПС, які використовують водень	ZeroAvia
Urban Air Mobility	Joby Aviation / Volocopter

### 3.3. Результати прогнозування техногенно-екологічного навантаження за умов експлуатації змішаного парку повітряних суден

*Емісія авіадвигунів: оксиди азоту.* Результати моделювання викидів оксиду азоту для різних сценаріїв продемонстровано на рис 3.1.



Рис. 3.1. Обсяги оксидів азоту у порівнянні з базовим сценарієм, %

*Емісія авіадвигунів: діоксид вуглецю.* Результати моделювання викидів оксиду азоту для різних сценаріїв продемонстровано на рис 3.2.

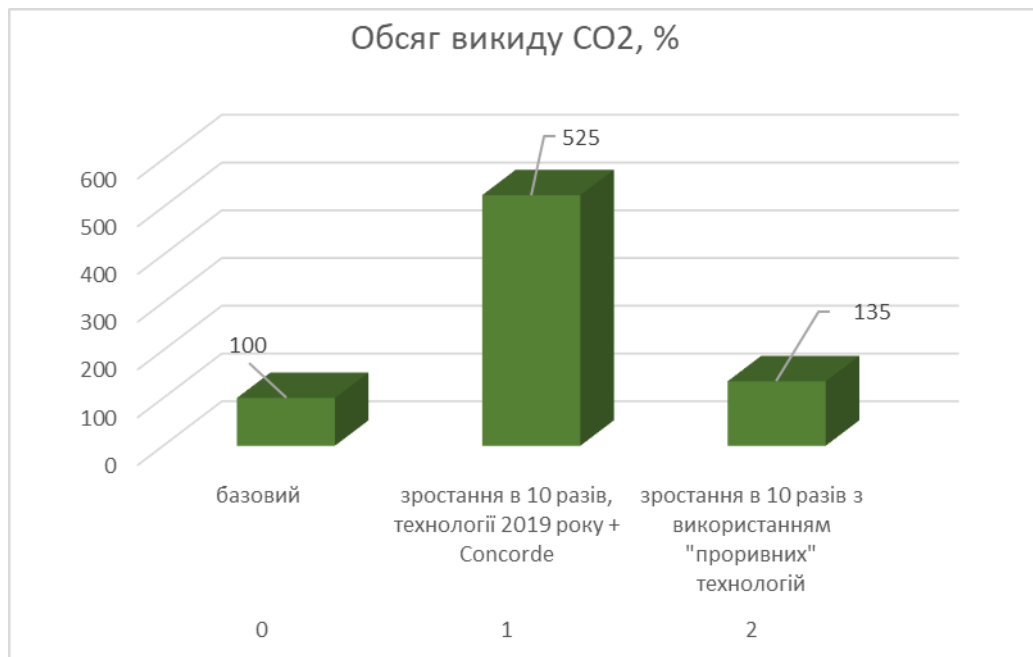
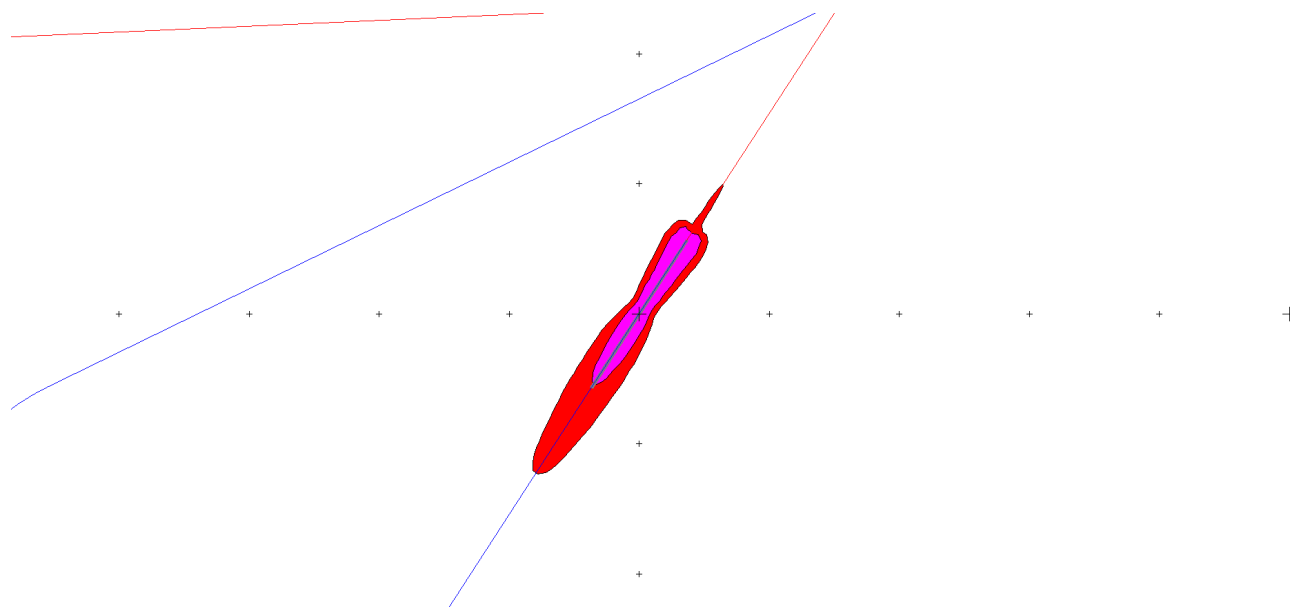


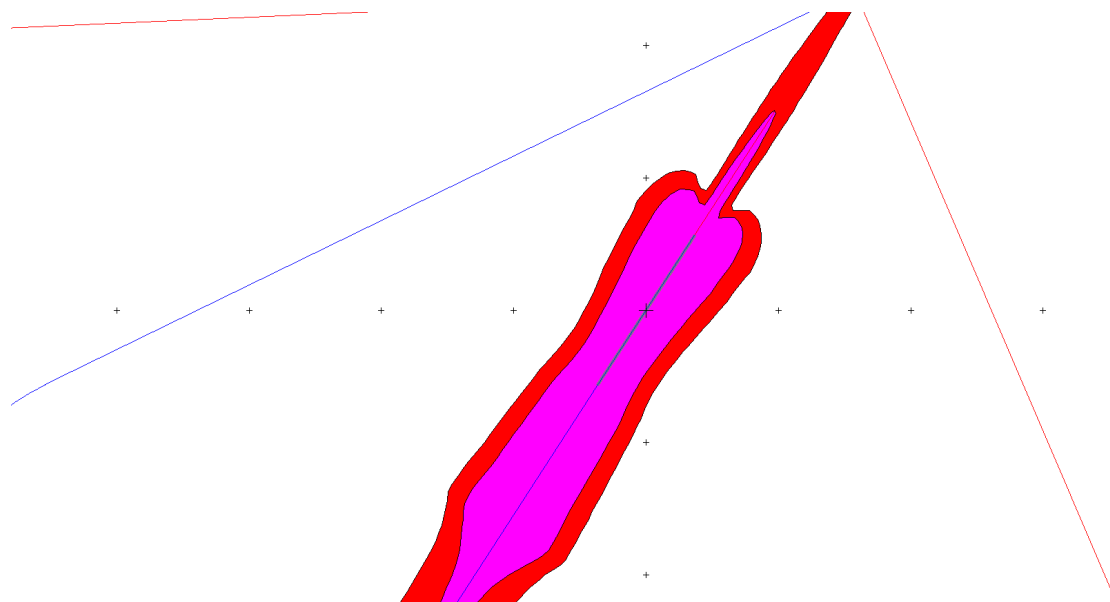
Рис. 3.2. Обсяги оксидів вуглецю CO<sub>2</sub> у порівнянні з базовим сценарієм, %  
*Авіаційний шум*. Результати моделювання рівнів шуму для сценаріїв 0, 1, 2, показали, що

а) за показником еквівалентних рівнів звуку найвищі рівні шуму формуються при реалізації Сценарію 1 (який включає зростання обсягів перевезень за існуючого рівня технологічної довершеності) (площа контурів рівного шуму зростає приблизно в 3 рази для контуру рівного шуму 60 дБА). Для Сценарію 2, який включає збільшення обсягів перевезень в 10 разів та використання проривних технологій, збільшення площі контурів шуму не перевищує 7% за нормативними показниками (рис. 3.1)

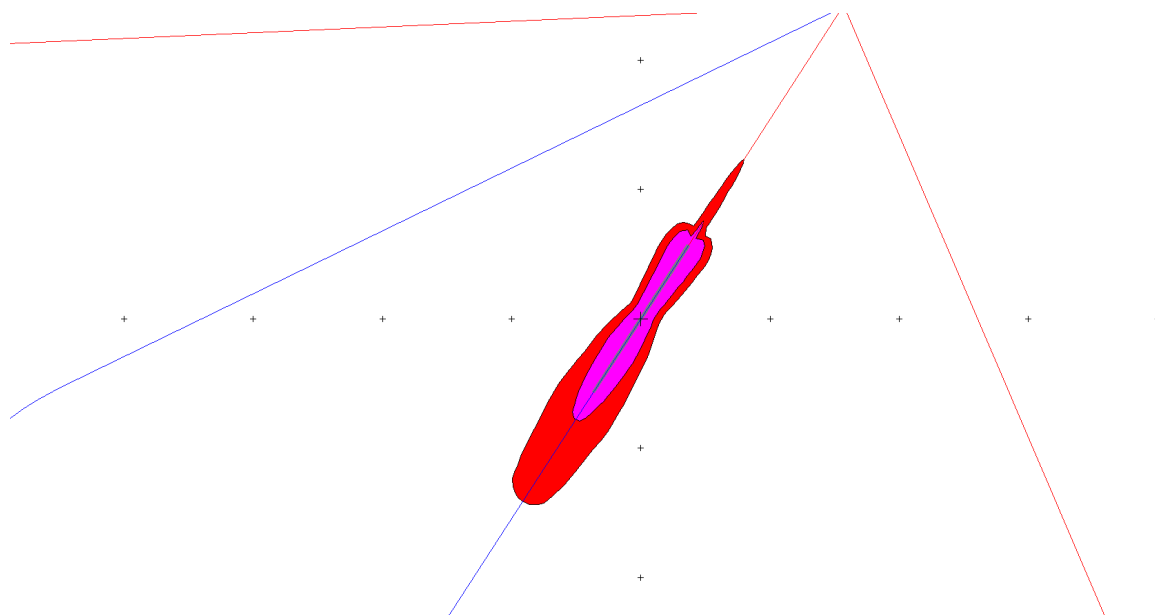
б) за показником максимальних рівнів звуку шуму формуються при реалізації Сценарію 1 (який включає зростання обсягів перевезень за існуючого рівня технологічної довершеності) (площа контурів рівного шуму зростає приблизно в 9 разів для контуру рівного шуму 95 дБА). Для Сценарію 2 відмічається істотне скорочення рівнів шуму в порівнянні зі сценарієм 1 (до 90%).



а) Сценарій 0

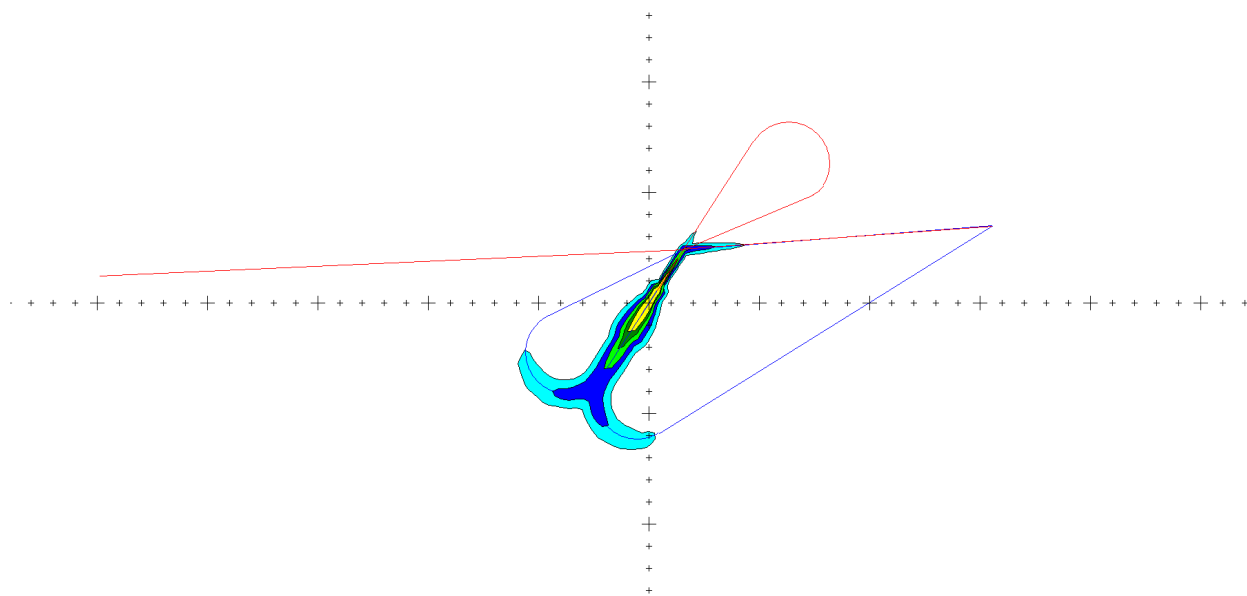


б) сценарій 1

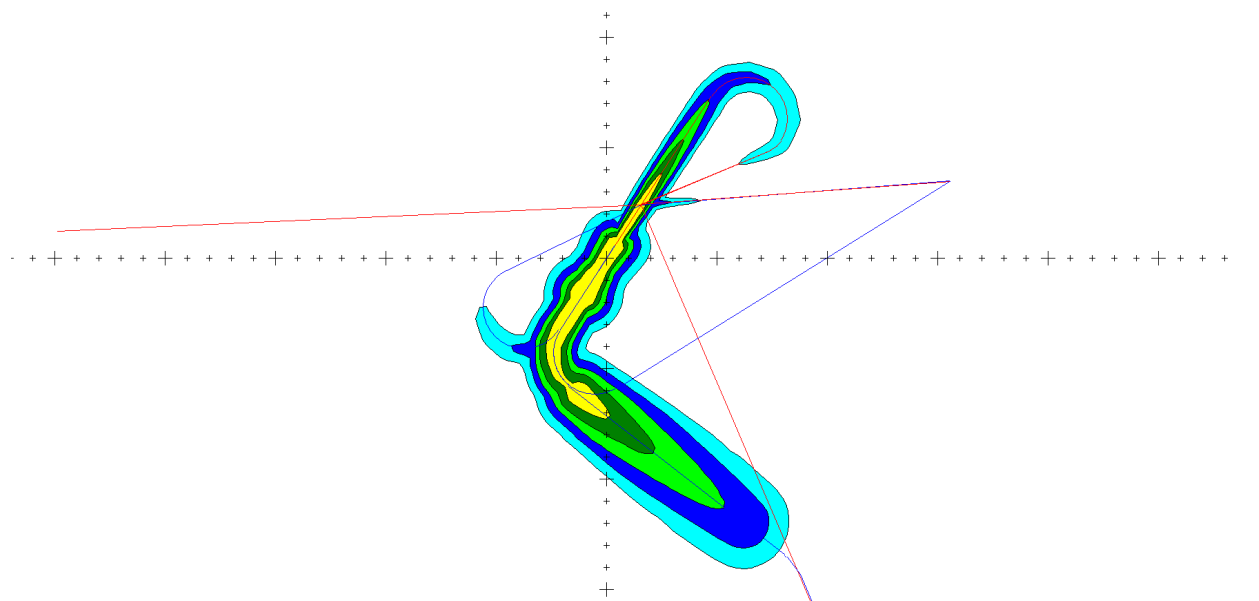


в) сценарій 2

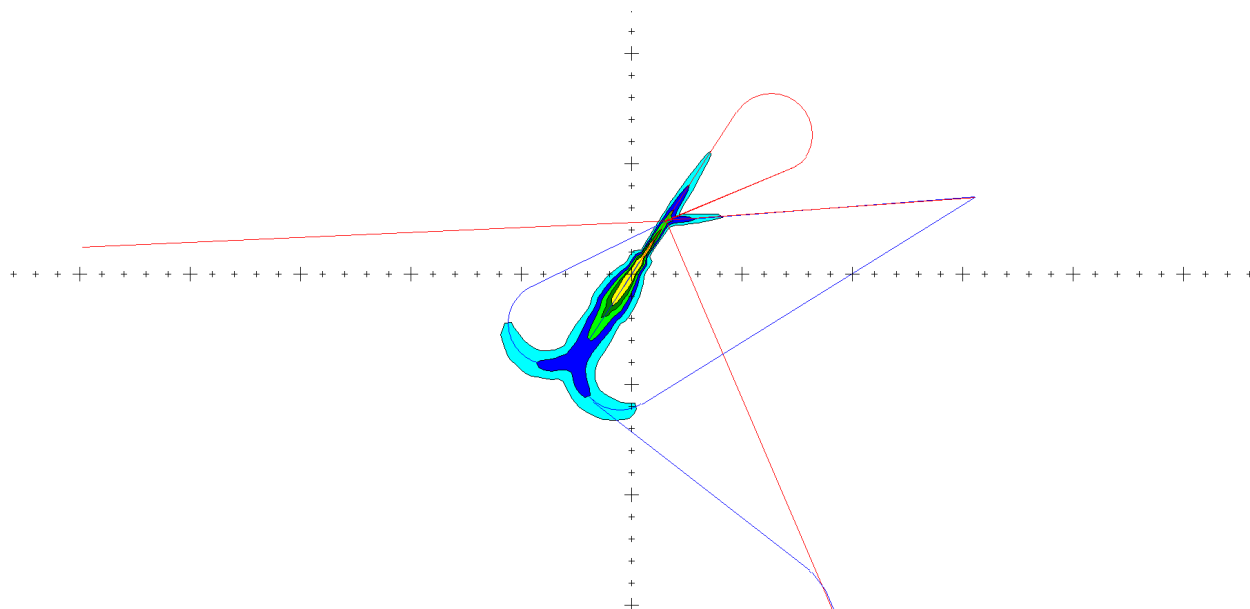
Рис. 3.1. Результати моделювання еквівалентних рівнів звуку для сценаріїв 0 (а), 1(б) та 2 (в), дБА: червоний – 60 дБА, маджента – 65 дБА.



а) сценарій 0



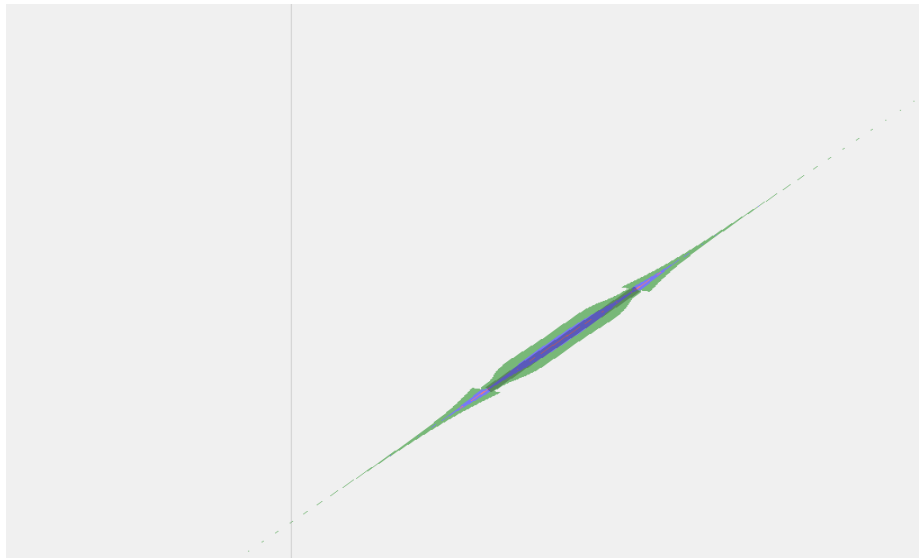
а) сценарій 1



в) сценарій 2

Рис. 3.2. Результати моделювання максимальних рівнів звуку для сценаріїв 0 (а), 1(б) та 2 (в), дБА: блакитний – 75 дБА, синій – 80 дБА, салатний – 85 дБА, зелений – 90 дБА, жовтий – 95 дБА

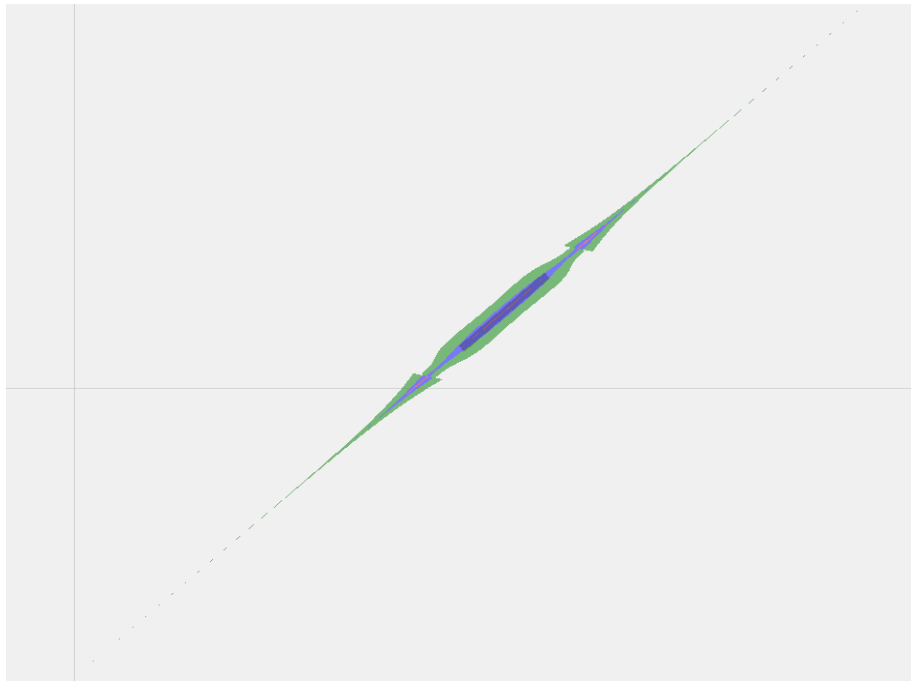
*Ризик третьої сторони.* Результати моделювання контури ризику третьої сторони відповідно до методики ІСАО наведено на рис. 3.3.



a)



b)



в)

Рис. 3.2. Результати моделювання контурів ризику третьої сторони для сценаріїв 0 (а), 1(б) та 2 (в): зелений –  $10^{-06}$ , фіолетовий –  $10^{-05}$ , червоний –  $10^{-04}$ , зелений – 90 дБА, жовтий – 95 дБА

Отже, незважаючи на різноманітні підходи та технології, застосовані при розробці новітніх видів транспорту (табл. 3.1), а також потенційні взаємозалежності між окремими екологічними та техногенними чинниками, в цілому, у перспективі 30 років, прогнозується істотне скорочення рівнів шуму та викидів забруднюючих речовин, а також зниження ризику третьої сторони – але лише за умови використання таких «проривних» технологій.



## ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Техногенна та екологічна безпека новітніх видів авіаційного транспорту» було досягнуто поставленої мети щодо визначення впливу новітніх видів авіаційного транспорту на техногенну та екологічну безпеку, а також пошук шляхів зменшення цього впливу.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

- проаналізовано нормативно-правові документи у сфері техногенної та екологічної безпеки під час експлуатації повітряних суден;
- визначено основні чинники, які визначають рівень техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації;
- проведено аналіз техногенних та екологічних чинників, пов'язаних з експлуатацією новітніх видів повітряного транспорту;
- розроблено методика/підхід до оцінки техногенної та екологічної безпеки в галузі цивільної авіації;
- досліджено вплив світових кризових явищ на систему техногенної та екологічної безпеки цивільної авіації;
- спрогнозовано рівень техногенної та екологічної безпеки під час експлуатації новітніх видів повітряних суден за найбільш чутливими критеріями.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у подальшому розвитку методу комплексного прогнозування рівнів техногенного та екологічного навантаження на довкілля. У цій роботі було вперше запропоновано враховувати характеристики нових типів повітряних суден для прогнозування потенційного впливу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання їх для покращення системи технічної безпеки та зменшення негативного впливу авіаційного транспорту на довкілля. Результати кваліфікаційної роботи в цілому можуть бути використані для покращення системи технічної безпеки та зменшення негативного впливу авіаційного транспорту на

довкілля. Прогнозування техногенного та екологічного ризику під час ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, таких як аеропорти, злітно-посадкові майданчики, вертипорти тощо, відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та сталого розвитку. Цей процес включає аналіз технічних параметрів та характеристик об'єктів, оцінку потенційних небезпек, що пов'язані з їх функціонуванням, а також оцінку можливих впливів на довкілля. Це передбачає виявлення потенційних аварійних ситуацій, випадків витоку небезпечних речовин, пошкоджень та інших негативних подій, які можуть спричинити негативні наслідки для людей, об'єктів і довкілля. Використання методів прогнозування техногенного та екологічного ризику дозволяє виявити потенційні проблеми та розробити ефективні стратегії управління ризиками.

Завдяки розробленню методів та підходів до аналізу процесів техногенної безпеки та прогнозуванню негативного впливу на довкілля, можна створити рекомендації для підвищення рівня техногенної та екологічної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) К. І. Кажан, І. В. Якимець, М. І. Шишова. Екологічна безпека новітніх видів авіаційного транспорту. Екологічна безпека держави: тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 2023 р., Національний авіаційний університет. – К. : НАУ, 2023.
- 2) К. І. Кажан, М.І. Шишова, А.С. Куденко. Удосконалення комплексної оцінки впливу експлуатації аеропортів на довкілля. Екологічна безпека держави: тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Київ, 2022 р., Національний авіаційний університет. – К. : НАУ, 2022.
- 3) К. І. Кажан, М. І. Шишова. Актуальність безпілотних засобів для функціонування об'єктів критичної інфраструктури // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Національний авіаційний університет. – Київ, 2022.
- 4) К. І. Кажан, М. І. Шишова. Технічна естетика безпілотного автомобіля. XVII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності», Національний авіаційний університет. – К. : НАУ, 2022.
- 5) Кодекс цивільного захисту України, № 2708-XII, прийнятий 7 жовтня 1992 року.
- 6) Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" (ОНПС), № 1264-XII, прийнятий 25 червня 1991 року.
- 7) Zaporozhets O., Konovalova O., Tokarev V. et al. "Interdependency Analysis of Current and Future Criteria and Their Limits for Aircraft Noise Control in Urban Areas." Abstracts of the International Conference ACOUSTIC CLIMATE INSIDE AND OUTSIDE BUILDINGS. 23–26 September, 2014, Vilnius, Lithuania.
- 8) EASA. (2022). High Resolution EUROPEAN AVIATION ENVIRONMENTAL REPORT 2022. Отримано з [https://www.easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2023-02/230217\\_EASA%20EAER%202022.pdf](https://www.easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2023-02/230217_EASA%20EAER%202022.pdf)
- 9) EC (2002), Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise.
- 10) EEA (2021), Air quality in Europe – 2021 report, EEA Report No 15/2021.

- 11) EC (2008), Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- 12) Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., Lelieveld, J. (2020), COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines.
- 13) EU (2019), European Green Deal
- 14) Організація Об'єднаних Націй (ООН). Цілі сталого розвитку [Електронний ресурс]. Доступно: <https://sdgs.un.org/goals>
- 15) ICAO (2019), Резолюція А40-19: Узагальнена заява щодо продовження політики та практик, пов'язаних із захистом довкілля - Компенсаційна схема зменшення викидів вуглецю для міжнародної авіації (CORSIA).
- 16) Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission), Directorate-General for Research and Innovation (European Commission). (2012). FLIGHTPATH 2050. [Електронний ресурс]
- 17) Fly the Green Deal, Europe's Vision for Sustainable Aviation, Report of the Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe (ACARE). - 64 p. // <https://www.acare4europe.org/news/fly-the-green-deal/>
- 18) Повітряний Кодекс України, Відомості ВВР зі змінами, 2011, № 48-49, ст.536 // Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>
- 19) ЗУ «Про охорону навколишнього природного середовища», 25.06.1991 // Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
- 20) ЗУ «Про охорону атмосферного повітря», 16.10.1992 // Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
- 21) ЗУ «Про об'єкти підвищеної небезпеки» , 2001, N 15, ст. 73. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text>
- 22) ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля», 23.05.2017 // Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
- 23) Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, затв. наказом МОЗ № 173 від 19.06.1996 // Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>

- 24) Авіаційні правила України «Вимоги до експлуатанта аеродрому щодо просторового зонування території навколо аеропорту з умов впливу авіаційного шуму», затверджені наказом Державної авіаційної служби України (ДАСУ) № 381 від 26 березня 2019 року. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0461-19>
- 25) Методичні рекомендації щодо просторового зонування території навколо аеропорту з умов впливу авіаційного шуму, затверджені наказом Державної авіаційної служби України (ДАСУ) № 585 від 23 квітня 2020 року. Отримано з <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/Nakaz-585-Pro-zatverdzhennya-metodichnihrekomentatsij-2.pdf>
- 26) Угода між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом і його державами-членами, з іншої сторони, про Спільний авіаційний простір. Угоду ратифіковано Законом № 2067-IX від 17 лютого 2022 року. Отримано з [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_004-21#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-21#Text)
- 27) "Україна співпрацює з Energy Community щодо впровадження четвертого енергетичного пакету" - Укрінформ, 1 липня 2022 р., отримано з <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3497130-ukraina-spivpracue-iz-energy-community-sodo-implementacii-cetvertogo-energeticnogo-paketu.html>
- 28) Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року» від 3 березня 2021 року. Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text>
- 29) Журнал "Національна безпека і оборона", стаття "Україна на шляху до ЄС: реалії і перспективи", видання №1-2 (187-188) 2022, Український центр економічних і політичних досліджень імені Олександра Разумкова.
- 30) "Impact of COVID-19 on European Airlines and Market" - GLG. Отримано з <https://glginsights.com/articles/impact-of-covid-19-on-european-airlines-and-market/>
- 31) Annual growth in global air traffic passenger demand from 2006 to 2022 (2021)" - Statista. Отримано з <https://www.statista.com/statistics/193533/growth-of-global-air-traffic-passenger-demand> (дата звернення: 09.09.2021)
- 32) Ritchie, H. (2020, жовтень 22). "Зміна клімату та авіаперельоти: яка частина глобальних викидів CO2 походить від авіації?" Our World in Data. Отримано з

<https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation#:~:text=Aviation%20accounts%20for%202.5%25%20of%20global%20CO2%20emissions&text=Most%20flights%20are%20powered%20by,to%20CO2%20when%20burned>.

33) EASA (2021). "Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe."