

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КРАЇНОЗНАВСТВА ТА ТУРИЗМУ

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

за спеціальністю: 242 Туризм
галузі знань: 24 Сфера обслуговування
за освітньо-професійною програмою: Туризм
на здобуття освітнього ступеню: Бакалавра

Кваліфікаційна робота бакалавра
студента денного відділення
IV курсу
Пузиревич Володимир Олегович

Науковий керівник:
д.геогр.н, проф. Любіцева О.О.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АВІАТРАНСПОРТУ	4
1.1. Специфіка сталого розвитку авіаційного транспорту	4
1.2. Вплив авіаційного транспорту на навколишнє середовище	8
1.3. Аналіз оцінки впливу авіаційного транспорту на стан довкілля	13
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ СВІТУ	19
2.1. Парникові гази та їхній вплив на зміну клімату	19
2.2. Забруднення повітря та локальні екологічні наслідки	22
2.3. Шумове забруднення та його вплив на здоров'я населення	27
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ	32
3.1. Інноваційні технології та паливна ефективність в авіації	32
3.2. Альтернативні джерела енергії для авіаційного транспорту	37
3.3. Міжнародна співпраця та політичні заходи щодо зменшення екологічного впливу авіації	42
РОЗДІЛ 4. КРАЩІ СВІТОВІ ПРАКТИКИ ЗАПОБІГАННЯ НЕГАТИВНОМУ ВПЛИВУ АВІАТРАНСПОРТУ НА ДОВКІЛЛЯ: МОЖЛИВОСТІ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ В ДІЯЛЬНІСТЬ АВІАКОМПАНІЙ УКРАЇНИ	47
4.1. Використання біопалива у комерційній авіації: досвід США та Бразилії	47
4.2. Розробка та впровадження електричних літаків: інноваційні рішення Норвегії та Франції	51
4.3. Оптимізація польотних маршрутів за допомогою штучного інтелекту: приклади Сінгапуру та Великої Британії	57
ВИСНОВКИ	63
СПИСКИ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Авіаційний транспорт є однією з найдинамічніших і найважливіших галузей сучасної світової економіки, забезпечуючи швидке переміщення людей і вантажів на великі відстані. Його значущість у глобальній економіці важко переоцінити, адже він сприяє розвитку міжнародної торгівлі, туризму та культурних обмінів. Проте, разом із розвитком авіації, зростає і її негативний вплив на навколишнє середовище. Викиди парникових газів, забруднення повітря, шумове забруднення – це лише деякі з екологічних проблем, пов'язаних з авіаційним транспортом, які потребують негайного вирішення.

Актуальність теми. В умовах глобального потепління та збільшення забруднення атмосфери питання зниження екологічного впливу авіаційного транспорту стає надзвичайно актуальним. За даними Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), авіація спричиняє близько 2% глобальних викидів CO₂, а також значну частку інших шкідливих викидів, що негативно впливають на здоров'я людей і стан довкілля, що вимагає впровадження ефективних заходів для мінімізації цього впливу, що робить дослідження екологічних проблем авіаційного транспорту і пошук шляхів їх вирішення надзвичайно важливими для забезпечення сталого розвитку галузі.

Мета кваліфікаційної роботи. Метою даної роботи є комплексний аналіз екологічних проблем авіаційного транспорту світу та розробка рекомендацій щодо зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище.

Завдання:

1. Вивчити специфіку сталого розвитку авіаційного транспорту.
2. Описати вплив авіаційного транспорту на навколишнє середовище.
3. Розробити методику оцінки впливу авіаційного транспорту на стан довкілля.
4. Проаналізувати основні екологічні проблеми авіаційного транспорту світу.

5. Описати інноваційні технології та паливну ефективність в авіації.
6. Вивчити альтернативні джерела енергії для авіаційного транспорту.
7. Встановити роль міжнародної співпраці та політичних заходів щодо зменшення екологічного впливу авіації.
8. Висвітлити кращі світові практики запобігання негативному впливу авіатранспорту на довкілля та можливості їх імплементації в діяльність авіакомпаній України.

Об'єкт дослідження – процеси та явища, пов'язані з впливом авіаційного транспорту на навколишнє середовище.

Предмет дослідження – екологічні проблеми, спричинені авіаційним транспортом, та шляхи їх вирішення.

Методологічна основа. У процесі написання роботи були використані методи аналізу, синтезу, порівняння, статистичний аналіз, а також огляд літературних джерел, присвячених тематиці сталого розвитку та екологічних проблем авіаційного транспорту. Основними джерелами теоретико-методологічної основи роботи стали праці провідних вчених у галузі екології, авіаційної техніки та транспорту. Використання комплексного підходу дозволило глибше зрозуміти та оцінити вплив авіації на довкілля, а також розробити практичні рекомендації для зменшення цього впливу.

Структура кваліфікаційної роботи. Дипломна робота складається з чотирьох розділів, які містять по 3 підрозділів. Робота включає 2 рисунки, 1 таблицю, список використаних джерел, що налічує 135 позицій, і викладена на 77 сторінках. Перший розділ присвячений теоретичним положенням та методиці дослідження сталого розвитку авіатранспорту. У другому розділі аналізуються основні екологічні проблеми авіаційного транспорту світу. Третій розділ розглядає шляхи вирішення екологічних проблем авіаційного транспорту, а четвертий розділ висвітлює кращі світові практики запобігання негативному впливу авіатранспорту на довкілля та можливості їх імплементації в діяльність авіакомпаній України.

РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1. Специфіка сталого розвитку авіаційного транспорту

В умовах глобальних трансформацій та зростання інтеграційних процесів, виникає гостра необхідність аналізувати сучасний стан забезпечення безпеки в цивільній авіації. Цивільна авіаційна безпека є критичним елементом загальної міжнародної безпеки та відіграє ключову роль у національній безпеці, безпеці суспільства, і охоплює заходи захисту авіаційного транспорту від усіх видів загроз, як зовнішніх, так і внутрішніх [95].

У сучасних умовах одним із найважливіших стратегічних завдань є забезпечення безпеки авіаційного транспорту. Це завдання набуває особливої актуальності, адже від його успішного вирішення залежить не лише захист життя та здоров'я людей і збереження їхнього майна, але й гарантія економічної стабільності, підтримання соціальних стандартів та забезпечення екологічної безпеки. Отже, належне управління ризиками та розробка ефективних заходів безпеки у сфері авіаційного транспорту є ключовими для зміцнення загальної безпеки суспільства [109].

Значущість авіаційного транспорту в глобальному масштабі продовжує динамічно зростати, що обумовлено рядом ключових факторів. Серед них — стрімкий технологічний прогрес та інновації в авіаційній індустрії, які постійно покращують якість та ефективність авіаперевезень. Крім того, глобалізаційні процеси сприяють збільшенню міжнародних економічних, культурних та освітніх обмінів. Це веде до зростаючої потреби у швидкісних та ефективних транспортних засобах, серед яких авіація відіграє ключову роль. Також значною мірою на збільшення використання авіатранспорту впливає зміцнення міждержавних зв'язків, що вимагає більш інтенсивних та регулярних контактів на міжнародному рівні [87].

На початку двадцять першого століття світ став свідком подвійного розвитку: з одного боку, спостерігалася інтенсифікація агресивного прогресу цивілізації, з іншого – цей період відзначився зародженням нових підходів до створення соціально та економічно безпечних спільнот. У цьому контексті значно зросла активність у сфері управління безпекою, що стало важливою характеристикою сучасного етапу розвитку глобального суспільства [95].

Розширення економічних механізмів призвело до того, що світова економічна криза разом із політичними змінами виокремили та посилили необхідність вирішення питань, пов'язаних із забезпеченням безпеки авіаційного транспорту. Ці фактори вимагають уваги до стандартів та процедур, які мають бути застосовані для ефективної відповіді на виклики, що стоять перед міжнародним авіаційним співтовариством у контексті забезпечення безпечних і надійних авіаперевезень. [95].

Специфіка сталого розвитку авіаційного транспорту стає все більш актуальною темою на фоні зростаючої уваги до екологічних питань та необхідності зниження вуглецевого сліду в індустрії. Останніми роками значний акцент робиться на інноваційні підходи та технології, що можуть зменшити шкідливі викиди та підвищити енергоефективність авіаційних перевезень.

Один із прикладів сталого розвитку в авіаційній індустрії – застосування біопалива. Авіакомпанія Scandinavian Airlines почала використовувати біопаливо ще в 2018 році, яке виробляється з перероблених рослинних матеріалів та відходів, значно знижуючи рівень викидів вуглецю порівняно з традиційним авіаційним паливом [125].

Іншим важливим аспектом є енергоефективність повітряних суден. Наприклад, компанія Boeing розробила літак 787 Dreamliner, який використовує композитні матеріали для зниження ваги літака, що призводить до зменшення споживання палива на 20-25% порівняно з аналогічними моделями [95].

Також важливою є оптимізація маршрутів та покращення систем управління повітряним рухом, що дозволяє знижувати непотрібні польоти та

час простою на злітно-посадкових смугах. Європейська організація з безпеки повітряного руху (Eurocontrol) розробила ряд проектів, які сприяють більш ефективному розподілу повітряного простору та зменшенню оборотного часу літаків на землі [126].

Не можна ігнорувати і роль цифровізації, яка дозволяє авіакомпаніям ефективніше керувати ресурсами, планувати політи та відстежувати викиди. Цифрові технології, такі як використання штучного інтелекту для оптимізації маршрутів польоту, дозволяють не тільки підвищувати безпеку, але й знижувати енергетичні витрати та вплив на навколишнє середовище [104].

В цілому, сталий розвиток авіаційної індустрії вимагає комплексного підходу, який включає використання інноваційних технологій, ефективне управління ресурсами та безперервне вдосконалення оперативних процесів. Враховуючи глобальні кліматичні цілі та необхідність зниження викидів, цей сектор продовжує бути в авангарді технологічних та екологічних інновацій.

З огляду на зростаючий пасажиропотік та глобальне розширення авіаційних мереж, велика увага приділяється також розробці еко-ефективних аеропортів. Вони включають застосування сталих будівельних матеріалів, системи рециркуляції води, сонячні панелі для виробництва електроенергії та інші екологічні ініціативи. Наприклад, аеропорт Чангі в Сінгапурі використовує водозбірні системи та енергію сонця для освітлення та кондиціонування, значно знижуючи свій енергетичний вплив [48].

Крім технічних і фізичних вдосконалень, важливим аспектом є також стає управління людськими ресурсами в авіаційній індустрії. Освіта та тренінги для співробітників щодо енергозбереження та зменшення викидів є критичними для створення екологічно свідомої культури в компаніях, що включає навчання з оптимізації польотів, використання палива та управління відходами [43].

Регулятивні зміни також відіграють ключову роль у формуванні сталого розвитку авіації. Європейський Союз, наприклад, запровадив систему торгівлі викидами (ETS), яка вимагає від авіакомпаній купувати дозволи на викиди

CO₂, що стимулює їх до пошуку шляхів зниження власних викидів [134], що в свою чергу підвищує інтерес до інновацій та стимулює ринок чистіших технологій.

На фінальному етапі, роль громадськості та споживачів не може бути недооціненою. Зростаюча обізнаність та вимоги споживачів до сталості спонукають авіакомпанії до прозорості в своїх екологічних ініціативах. Так, багато авіакомпаній почали активно комунікувати свої досягнення в області сталого розвитку, що також слугує формою залучення клієнтів та підтримки їхньої лояльності [94].

Таким чином, сталий розвиток в авіаційному транспорті являє собою комплексне явище, що вимагає інтеграції технічних інновацій, ефективного управління, регулятивних заходів та активної участі громадськості для досягнення глобальних екологічних цілей.

В контексті глобалізації та інтеграції ринків, сталість у авіації також залежить від міжнародної співпраці та обміну найкращими практиками. Міжнародна цивільна авіаційна організація (ICAO) розробила ряд стандартів і рекомендацій, які спрямовані на зменшення викидів і підвищення енергетичної ефективності. Один з таких ініціатив – CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), яка передбачає компенсацію та зниження викидів вуглецю для міжнародних рейсів [22].

Також зростає значення корпоративної соціальної відповідальності (CSR) у авіаційній галузі. Багато компаній розробляють програми, що спрямовані на зменшення шумового забруднення, підтримку біорізноманіття в районах навколо аеропортів, а також на поліпшення умов праці своїх співробітників. Наприклад, активно працює над зменшенням свого впливу на навколишнє середовище, включаючи інвестиції в сучасні тихі двигуни та заходи щодо захисту місцевих екосистем [53].

Інноваційність у авіації не обмежується лише технічними рішеннями. Багато авіакомпаній впроваджують інтегративні підходи до управління пасажиропотоками, що дозволяє не лише покращити сервіс, але й оптимізувати

паливне споживання. Використання big data та аналітичних інструментів для прогнозування попиту та оптимізації навантаження дозволяє компаніям знижувати невикористане місце на рейсах, тим самим зменшуючи викиди на пасажирів [108].

Завершуючи, сталий розвиток авіаційного транспорту не є одномоментним завданням чи зусиллям однієї компанії. Це широка мультидисциплінарна діяльність, яка вимагає співпраці на усіх рівнях – від місцевих до міжнародних – і залучення всіх зацікавлених сторін, включно з пасажирів. Такий інтегративний підхід дозволяє створювати інноваційні рішення, які не лише підтримують бізнес-інтереси авіакомпаній, але й сприяють загальній сталості, враховуючи кліматичні, екологічні та соціальні чинники.

1.2. Вплив авіаційного транспорту на навколишнє середовище

У сучасних умовах все більше уваги громадськості привертають питання захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу транспортних засобів. З цим пов'язаний зростаючий акцент на необхідність застосування ефективних заходів для мінімізації цього впливу. Оскільки джерела забруднення можуть бути як у межах аеропорту, так і в його навколишніх територіях, заходи з охорони довкілля слід застосовувати як на території самого аеропорту, так і в його околицях.

Поняття навколишнього середовища включає такі складові:

- атмосфера, ґрунт і водні об'єкти;
- всі шари атмосфери;
- всі види органічної і неорганічної речовини та живих організмів;
- взаємодіючі природні системи, згадані вище.

Оскільки всі ці компоненти тісно взаємодіють, збиток, завданий одному з них, може мати серйозні наслідки для всієї системи. Тому для зменшення

впливу місцевих і глобальних факторів на навколишнє середовище важливо, щоб галузь цивільної авіації займалася боротьбою зі шкідливими викидами.

Забруднення, що виникає на території аеропорту та його навколишній області, може пошкодити не лише найближче середовище, але й всю прилеглу місцевість. Оскільки це може вплинути на здоров'я людей та екологію, необхідно прикласти зусилля для запобігання забрудненню. Заходи з охорони навколишнього середовища можуть допомогти зменшити забруднення на місці або знизити його негативний вплив. До таких заходів відносяться нормативні вимоги до якості повітря та води, обмеження шуму авіаційних двигунів, плани управління відходами, надзвичайні екологічні заходи та раціональне використання природних ресурсів [96].

Авіаційний транспорт значно впливає на екологію планети. Цивільна авіація, завдяки інтенсивному використанню паливних ресурсів та специфіці роботи двигунів, створює потенційну загрозу навколишньому середовищу, спричиняючи викиди шкідливих речовин та зменшуючи обсяг озонового шару. Незважаючи на це, необхідність повітряних перевезень зростає, і актуальні екологічні проблеми залишаються у фокусі уваги.

Повітряний транспорт забруднює атмосферу, ґрунт та водні ресурси. Особливу увагу дослідники звертають на вплив газових викидів авіадвигунів, які містять значну кількість забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту, окиси вуглецю та тверді частинки сажі. Такі сполуки призводять до руйнування озонового шару, який захищає нашу планету від ультрафіолетового випромінювання. За даними джерел, аеропорти першого класу викидають щорічно десятки тон оксидів азоту, а загальний річний викид оксидів азоту авіаційним транспортом складає сотні тисяч тон.

Дослідження впливу авіації на атмосферу свідчать, що літакові викиди збільшують концентрації шкідливих речовин. В процесі польоту в верхніх шарах атмосфери відпрацьовані гази, що містять оксиди азоту, викидаються в повітряний простір, що спричиняє руйнування озонового шару та порушує

екологічний баланс. Окрім того, зони навколо аеропортів зазнають суттєвого забруднення важкими металами та іншими токсичними речовинами [97].

Авіаційний транспорт відіграє важливу роль у сучасному світі, дозволяючи швидко та ефективно пересуватися по всій планеті. Однак разом із цим виникають значні проблеми екологічного характеру, які обумовлені використанням авіаційних двигунів, специфікою їх експлуатації та їхнім впливом на атмосферу. Проблеми актуальні на глобальному рівні і відображаються в забрудненні атмосфери різноманітними речовинами, створенні шумового забруднення та порушенні озонового шару.

Авіаційні двигуни виробляють гази та частинки, що становлять небезпеку для якості повітря та здоров'я людей. Найбільш поширеними забруднювачами є окиси вуглецю, азоту та сажа. Під час зльоту й посадки, а також при холостому ході відбувається підвищення викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів, водночас під час крейсерського польоту зростає концентрація окисів азоту, речовини мають негативний вплив на дихальні системи людей та спричиняють забруднення навколишнього середовища [130].

Один з головних аспектів цього впливу – викиди оксидів азоту (NO_x). Дані речовини сприяють руйнуванню озонового шару та збільшенню концентрації в атмосфері, що має негативний вплив на здоров'я людей та екосистему в цілому. Наприклад, емісія оксидів азоту під час зльоту та посадки літаків може стати причиною погіршення дихальних проблем у людей, особливо в місцях, де рівень забруднення атмосфери від авіаційних викидів високий.

Оксиди вуглецю (CO) також викидаються авіаційними двигунами та сприяють забрудненню повітря, що може мати негативний вплив на дихальну систему людей, особливо в місцях з високим рівнем авіаційного трафіку.

Тверді частинки, такі як сажа, є іншими продуктами забруднення повітря авіаційним транспортом. Ці частинки можуть потрапляти в дихальні шляхи людей і викликати серйозні проблеми зі здоров'ям, такі як захворювання легень та серця.

Крім того, авіаційний транспорт призводить до шумового забруднення, особливо у районах, де розташовані аеропорти, що може порушувати спокій та комфорт мешканців цих районів і призводити до стресу та інших фізичних проблем зі здоров'ям [126].

Таблиця 1.1.

Вплив авіаційного транспорту на навколишнє середовище [складено автором]

Параметр	Вплив на навколишнє середовище
Оксиди азоту (NO _x)	Руйнування озонового шару, збільшення концентрації
Окиси вуглецю (CO)	Забруднення повітря, негативний вплив на дихальну систему
Тверді частинки (сажа)	Забруднення повітря, ризик для здоров'я
Фреони	Руйнування озонового шару
Галогени	Руйнування озонового шару
Шумове забруднення	Вплив на мешканців, підвищення рівня стресу
Забруднення ґрунту та вод	Відходи палива та технічних рідин

Забруднення верхніх шарів атмосфери має особливо тривожний характер через порушення озонового шару, який виконує функцію природного фільтру проти ультрафіолетового випромінювання. Викиди окисів азоту під час польоту можуть призводити до окислення озону, що знижує його концентрацію та створює ризики для здоров'я всього живого на планеті [11]. Крім того, інші сполуки, такі як фреони, потрапляють у стратосферу та спричиняють руйнування озону, звільняючи хлор та бром, які діють як каталізатори цього процесу [119].

Авіація також має значний вплив на шумове забруднення в районах, прилеглих до аеропортів. Гучний шум від зльоту та посадки літаків впливає на якість життя місцевих мешканців, порушуючи їхній сон, збільшуючи рівень стресу та спричиняючи фізичні проблеми зі здоров'ям [123].

Авіаційний транспорт може забруднювати ґрунт та водойми внаслідок потрапляння відходів палива, технічних рідин та інших продуктів діяльності авіаційних двигунів, що особливо актуально для зон навколо аеропортів, де концентрація таких речовин є вищою [130].



**Рис. 1.2. Вплив авіаційного транспорту на забруднення атмосфери
[створено автором за [123; 119; 131]]**

Авіаційний транспорт, хоча й надає значний рівень зручності та швидкості у переміщенні, все ж стає джерелом серйозних проблем для навколишнього середовища. Україна, як і багато інших країн, стикається з викликами, пов'язаними з експлуатацією авіаційного транспорту та його впливом на навколишнє середовище.

Однією з головних проблем є застарілий авіаційний флот, що приводить до більшого викиду шкідливих речовин у повітря. Старі літаки мають менш ефективні двигуни та системи очищення викидів, тому їхня робота призводить до більшого забруднення атмосфери.

Технічні та екологічні можливості українських аеропортів також створюють проблеми для навколишнього середовища. Багато з них не відповідають сучасним міжнародним вимогам щодо зменшення викидів шкідливих речовин та забезпечення екологічно чистих технологій, що призводить до забруднення атмосфери та земельних ресурсів у районах, де розташовані ці аеропорти [99].

Нафтосховища, які знаходяться в аеропортах, також становлять серйозну загрозу для навколишнього середовища. Вони можуть витікати та забруднювати ґрунт та водні джерела, що має негативний вплив на екосистему та здоров'я людей.

Крім того, авіаційний транспорт є джерелом шумового забруднення, яке впливає на мешканців районів, прилеглих до аеропортів. Шум від зльотів та посадок літаків може порушувати сон та викликати стрес у людей, що мешкають у цих районах.

Отже, авіаційний транспорт має значний вплив на навколишнє середовище, зокрема на якість повітря, озоновий шар, шумове забруднення, ґрунти та водойми. Проблема забруднення авіаційними двигунами має глобальний та локальний характер, тому необхідно комплексно підходити до її вирішення. Важливо розвивати інноваційні методи зменшення викидів, покращувати конструкцію двигунів та впроваджувати альтернативні види палива, щоб зменшити вплив авіації на екологію планети.

1.3. Аналіз оцінки впливу авіаційного транспорту на стан довкілля

Транспорт відомий як значний джерело забруднення атмосфери, зокрема через викиди вихлопних газів. Незважаючи на те, що авіація викидає приблизно в 15 разів менше забруднюючих речовин, ніж автомобільний транспорт, її вплив на атмосферу є значним і має особливості. Авіаційний транспорт, зокрема, впливає на екологічний стан верхньої тропосфери та нижньої

стратосфери, зони, які є критично важливими для збереження кліматичного балансу нашої планети. Відрізняючись від інших видів транспорту, авіація має унікальний вплив на якість повітря як на локальному, так і на регіональному та глобальному рівнях, поширюючи забруднюючі речовини в атмосферні шари, де вони можуть переноситись на великі відстані, впливаючи на екологічні системи далеко за межами своїх джерел викидів [122].

Вплив авіаційної індустрії на атмосферу може бути класифікований як акустичний та хімічний. Значення цього розподілу було підкреслено ще у 1972 році під час Конференції Організації Об'єднаних Націй щодо проблем навколишнього середовища, яка відбулася у Стокгольмі. Тоді Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) оголосила про своє бачення та розуміння негативного впливу, який авіація може спричинити для довкілля. Викладено було також про невідкладний обов'язок ІКАО та її членських держав забезпечити, щоб розвиток цивільної авіації був відповідальним та планомірним, водночас максимально згуртованим з високими стандартами охорони навколишнього середовища [113].

У відповідь на зростаючу свідомість про необхідність захисту довкілля, у 1983 році було засновано Комітет з охорони навколишнього середовища в авіації (САЕР), який є технічним органом Ради Міжнародної цивільної авіаційної організації (ІКАО). Цей комітет зіграв ключову роль у сприянні Раді ІКАО у розробці політики та введенні нових нормативних документів під назвою «Стандарти та Рекомендовані Практики» (SARPs), які визначають директиви зі зменшення шуму від авіації, емісій від авіаційних двигунів та більш широкого впливу авіаційної діяльності на навколишнє середовище. Ці документи зазвичай інкорпоровані як Додаток 16 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, відомої як Чикагська конвенція. САЕР продовжує бути в авангарді у розробці глобальних стандартів, що сприяють сталому розвитку авіаційної індустрії та забезпеченню її екологічної безпеки [91].

Екологічні виклики в авіаційній індустрії тісно пов'язані з негативними наслідками, які авіація може мати на довкілля. Ці проблеми охоплюють

широкий спектр екологічних порушень, від викидів шкідливих газів до шумового забруднення, що впливає на якість життя населення, яке проживає поблизу аеропортів. Розробка стратегій та методів вирішення цих проблем вимагає злагоджених зусиль та інтеграції із загальноприйнятою міжнародною структурою з охорони довкілля. Важливу роль у цьому процесі відіграє міжнародна координація та впровадження стандартів, які дозволяють мінімізувати екологічний вплив авіації, забезпечуючи при цьому ефективне та безпечне функціонування галузі.

Авіаційний транспорт є одним із найшвидших і найефективніших способів переміщення людей і товарів на великі відстані, але його вплив на довкілля викликає занепокоєння через викиди вуглекислого газу, шумове забруднення та інші екологічні наслідки. Сучасні методи оцінки впливу авіації на довкілля стають дедалі більш важливими у світлі глобальних кліматичних змін і зростаючої уваги до сталого розвитку.

Один із основних методів оцінки впливу – це вимірювання викидів вуглекислого газу. Авіація вносить приблизно 2-3% в загальносвітові викиди вуглекислого газу, але її вплив зростає з кожним роком. Дослідження, проведене Міжнародною організацією цивільної авіації, демонструє, що викиди від комерційних рейсів продовжують зростати, незважаючи на покращення технологій і ефективність палива [45].

Ще один важливий аспект – шумове забруднення. Великі аеропорти, такі як Хітроу в Лондоні або JFK в Нью-Йорку, знаходяться під суворим контролем щодо шумових норм. Дослідження впливу шуму на місцеві спільноти показало, що тривалий вплив шуму від літаків може призводити до стресу, порушень сну та інших здоров'я-захворювань [66].

Крім того, оцінка впливу на довкілля включає аналіз життєвого циклу (LCA), який розглядає всі аспекти виробництва, використання та утилізації літаків. Наприклад, Boeing і Airbus інвестують у розробку більш сталих матеріалів і технологій, щоб мінімізувати екологічний вплив на всіх етапах життєвого циклу своєї продукції [3].

Важливу роль у оцінці екологічного впливу грають супутникові спостереження, які дозволяють відстежувати викиди вуглекислого газу та інші забруднюючі речовини на великих висотах. Ці дані використовуються для моделювання розповсюдження забруднювачів та оцінки їхнього впливу на атмосферу та погодні умови [23].

Завершуючи, слід зазначити, що сучасні методи оцінки впливу авіаційного транспорту на стан довкілля забезпечують комплексний підхід, який включає аналіз викидів, шумове забруднення, вплив на місцеві спільноти та оцінку життєвого циклу продукції, що дозволяє визначати науково обґрунтовані шляхи мінімізації негативного впливу і сприяти сталому розвитку авіаційної галузі.

З використанням даних досліджень і інновацій, сектор авіації також активно досліджує можливості використання альтернативних видів палива, що мають значно менший вплив на довкілля. Біопаливо, яке виготовляється з рослинних матеріалів і відходів, вже використовується в комерційних рейсах компаніями, такими як United Airlines і Lufthansa, і продемонструвало свою здатність знижувати викиди вуглекислого газу на 50-80% порівняно з традиційними авіаційними паливами [16].

Також наявність нових технологій, таких як електричні та гібридні літаки, обіцяє ще більш радикальне зниження викидів. Наприклад, компанія Airbus розробляє проєкт E-Fan X, який включає гібридний двигун, здатний значно знизити використання викопного палива та викиди вуглекислого газу під час польоту [28].

Аналітика великих даних та штучний інтелект відіграють ключову роль у моделюванні і прогнозуванні екологічного впливу авіації, дозволяючи авіакомпаніям оптимізувати маршрути, зменшити час простою на злітно-посадкових смугах і підвищити загальну ефективність польотів. Застосування цих технологій може значно зменшити енергетичні витрати і викиди парникових газів [7].

Крім технологічних інновацій, важливу роль у зменшенні впливу авіації на довкілля грають міжнародні регуляторні ініціативи, такі як Схема компенсації та зниження викидів вуглекислого газу для міжнародної авіації (CORSIA), ініційована Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO). Ця схема передбачає обмеження зростання викидів CO₂ з 2020 року, вимагаючи від авіакомпаній купувати викидні кредити, які сприяють проектам зі зменшення викидів [22].

Ось так, збалансування потреб швидкого та ефективного транспорту з необхідністю збереження довкілля залишається одним із найбільших викликів сучасності. Але завдяки постійному розвитку нових технологій, інновацій у виробництві та жорсткій регуляторній політиці можливо досягнути значних успіхів у зниженні екологічного впливу авіації.

Продовжуючи аналіз методів оцінки впливу авіації на довкілля, не можна ігнорувати вплив аеропортів, як великих транспортних вузлів, на навколишнє середовище. Аеропорти споживають значні обсяги енергії, води та інших ресурсів, а також виробляють велику кількість відходів. Ініціативи зі сталості в таких аеропортах, як Шіпхол у Нідерландах, включають застосування сонячної енергії, збір дощової води для використання в санітарних системах та переробку відходів. Такі ініціативи не тільки зменшують вплив аеропорту на довкілля, але й служать прикладом для інших галузей, демонструючи можливість ефективного впровадження сталих практик [71].

Також значний прогрес досягнуто в області мінімізації екологічного сліду під час будівництва і реконструкції аеропортів. Використання матеріалів з низьким вуглецевим вмістом, енергоефективних систем освітлення та опалення, а також систем енергоменеджменту, які відстежують та оптимізують споживання ресурсів, є ключовими аспектами сучасного аеропортового дизайну. Інноваційний проект аеропорту в Осло, Норвегія, включає будівництво терміналу з дерева, що є прикладом використання відновлюваних матеріалів, що сприяє зниженню викидів вуглекислого газу [65].

Впровадження новітніх технологічних рішень в авіаційній індустрії та аеропортових операціях, таких як інтелектуальні системи керування повітряним рухом, які можуть зменшувати час простою літаків у повітрі та на землі, що призводить до зниження викидів, є ще одним напрямком для зменшення впливу на довкілля. Інтеграція даних з різних джерел дозволяє створювати більш точні моделі польотів, що забезпечує оптимальні маршрути і часи польотів [36].

Підсумовуючи, авіаційна промисловість стоїть перед великими викликами, але також має численні можливості для розвитку та впровадження сталих практик. Від новітніх технологічних інновацій до змін у регуляторній політиці та поведінці споживачів – всі ці аспекти взаємодіють, сприяючи створенню майбутнього, де авіація зможе забезпечувати не тільки швидкість та зручність, але й екологічну сталість.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ СВІТУ

2.1. Парникові гази та їхній вплив на зміну клімату

Згідно з висловлюванням вчених, ключовим фактором, який спричинює зміни клімату через глобальне потепління, є парниковий ефект. Парникові гази, зокрема вуглекислий газ (CO_2), метан і оксиди азоту, які накопичуються в атмосфері, утримують тепло від сонця, перешкоджаючи його вибіганню назад у космос [135].

Прогнози відомих дослідників свідчать, що протягом наступних тридцяти років наша планета стикається зі зростанням середньорічної температури на приблизно півтора градуси Цельсія [59].

Людська діяльність є головним джерелом викидів CO_2 , що внесло найбільший внесок у глобальне потепління. За останніми оцінками, концентрація діоксиду вуглецю в атмосфері на 48% перевищує показники доіндустріального періоду. Парникові гази, утворені в результаті спалювання вугілля, нафти та газу для енергетичних потреб, промислової та сільськогосподарської діяльності, а також знищення лісових масивів та виробництва цементу, є головними факторами у цьому процесі [18].

Парникові гази відіграють ключову роль у процесах зміни клімату на Землі, сприяючи глобальному потеплінню та кліматичним змінам, що становить серйозну загрозу для всіх живих систем. Основні парникові гази включають вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4), диоксид азоту (N_2O) та фторовані гази, кожен з яких має різний потенціал глобального потепління та різну тривалість перебування в атмосфері.

Вуглекислий газ, який є основним парниковим газом, викидається в результаті спалювання викопних палив, вирубки лісів та інших діяльностей, пов'язаних з людською діяльністю. За останні десятиліття концентрація CO_2 у

атмосфері значно зросла, досягнувши рівнів, які не спостерігалися протягом останніх 800,000 років [12], спричинило значне збільшення середньої температури земної поверхні, що призводить до танення полярних льодовиків, підвищення рівня моря та збільшення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ.

Метан, який має в 25 разів більший потенціал глобального потепління, ніж CO_2 за 100 років, є другим за значенням парниковим газом. Даний газ викидається в атмосферу в результаті природних процесів, таких як болота та термокарстові озера, а також через антропогенну діяльність, таку як видобуток нафти і газу, розведення великої рогатої худоби та звалища. Збільшення концентрації метану в атмосфері спостерігається як важливий фактор швидкого кліматичного потепління, що вимагає негайних заходів для контролю викидів [19].

Діоксид азоту, хоча й викидається в набагато менших обсягах, має потенціал глобального потепління, який в 298 разів вищий за потенціал CO_2 . Цей газ викидається в результаті аграрної діяльності, особливо через використання азотних добрив, а також від спалювання органічного палива. Проблема N_2O полягає у його довгому періоді життя в атмосфері, що робить його довготривалим впливом на клімат [73].

Фторовані гази, хоча і присутні в атмосфері у дуже малих кількостях, мають надзвичайно високий потенціал глобального потепління. Вони використовуються в якості холодоагентів, у побутовій техніці, як засоби очищення, та в електронній промисловості, а їхній вплив на клімат може тривати тисячі років. Зусилля по заміні цих газів на менш шкідливі альтернативи є критично важливими для зниження майбутніх викидів [50].

Ось так, парникові гази вносять вагомий вклад у зміну клімату, що становить загрозу для природних і людських систем. Боротьба з цією проблемою вимагає глобальної співпраці, інновацій у сфері технологій та змін у політичній волі, щоб зменшити викиди і стабілізувати кліматичні показники.

Сучасна наука і технології пропонують новітні рішення для моніторингу і зниження викидів парникових газів. Супутникове спостереження дозволяє точно визначати обсяги викидів з різних джерел на глобальному рівні та стежити за їхніми змінами в реальному часі. Наприклад, супутник Sentinel-5P, запущений Європейським космічним агентством, забезпечує детальні дані про викиди метану, вуглекислого газу та інших забруднювачів, що сприяє кращому розумінню їх впливу на клімат і допомагає у формуванні політик щодо зниження викидів.

На місцевому рівні, міста і корпорації інтегрують зелені технології для зниження своєї вуглецевої відбитки. Наприклад, в Сан-Франциско реалізовано програму заміни муніципального транспорту на електричний, що значно зменшило викиди CO₂ в міському транспортному секторі. Такі ініціативи демонструють, як місцеві дії можуть сприяти глобальним цілям зі зниження викидів парникових газів [82].

Окрім технологічних нововведень, значний акцент робиться на впровадження правил вуглецевого оподаткування, які мають на меті зменшення викидів шляхом фінансового стимулювання. Країни, такі як Швеція та Канада, впровадили системи вуглецевого податку, що показали їхню ефективність у зменшенні викидів вуглекислого газу через здорожчання використання вуглець-інтенсивних технологій [46].

Науковці також працюють над розробкою та вдосконаленням методів уловлювання та зберігання вуглекислого газу (CCS). Ця технологія дозволяє збирати CO₂ на великих промислових об'єктах, таких як електростанції, і захоронювати його в геологічних формаціях під землею. Наприклад, проект в Норвегії «Northern Lights» є одним з перших у світі комерційних проектів з CCS, що демонструє потенціал технології в боротьбі з кліматичними змінами [63].

Завдяки такому широкому спектру ініціатив і рішень, можливості для зменшення впливу парникових газів на клімат постійно зростають. Втім, для досягнення глобальних кліматичних цілей необхідна співпраця на всіх рівнях –

від міжнародних угод до індивідуальних зусиль кожного громадянина. Таке поєднання глобальних, національних та місцевих заходів є ключем до сталого майбутнього.

2.2. Забруднення повітря та локальні екологічні наслідки

Забруднення повітря є давньою проблемою. Протягом більше ніж двох століть, великі промислові міста в Європі викликали значне занепокоєння через високий рівень атмосферного забруднення. Спочатку таке забруднення мало місцевий характер, оскільки дим і сажа, що виходили з невеликої кількості заводів і фабрик, легко розчинялись в об'ємах чистого повітря. Однак, зі стрімким розвитком промисловості та транспорту у XX столітті, обсяги викидів в атмосферу стали такими, що вже не могли адекватно розсіюватися, що призвело до зростання концентрації шкідливих речовин, що має небезпечні і навіть фатальні наслідки для біосфери у XXI столітті.

Сучасна атмосфера містить приблизно одну двадцяту частину всього кисню нашої планети. Основні резерви кисню знаходяться у карбонатах, органічних матеріалах і окисах заліза, а також частина кисню є розчиненою у воді. В атмосфері існує приблизна баланс між утворенням кисню через фотосинтез та його використанням живими організмами. Однак нещодавно виникла загроза зменшення запасів кисню в атмосфері через людську активність. Особливо тривожним є пошкодження озонового шару, яке спостерігається в останні роки, і багато вчених вважають, що це пов'язано з діяльністю людини.

Циркуляція кисню в біосфері є дуже складною, адже він взаємодіє з множиною органічних і неорганічних елементів. Крім того, з'єднуючись з воднем, кисень формує воду, що є ще однією важливою частиною його кругообігу [89].

Діоксид вуглецю, або вуглекислий газ, є необхідним компонентом у процесі фотосинтезу, який дозволяє рослинам виробляти органічні речовини, тим самим забезпечуючи закриття циклу вуглецю в біосфері. Як і кисень, вуглець є важливою складовою ґрунтів, рослин та тварин, відіграючи ключову роль у численних природних циклах обігу речовин. Рівень вуглекислого газу в атмосфері, який ми вдихаємо, залишається відносно стабільним у різних частинах світу, хоча у великих містах його концентрація може перевищувати звичайні показники.

Варіації рівнів вуглекислого газу в атмосфері певних регіонів можуть змінюватися в залежності від часу дня, сезону та біомаси місцевої рослинності. Одночасно, дослідження вказують на те, що з початку ХХ століття середній вміст вуглекислого газу в атмосфері хоч і повільно, але стабільно зростає, що є наслідком людської активності.

Азот є критично важливим біогенним елементом, оскільки є частиною складу білків та нуклеїнових кислот. Хоча атмосфера слугує нескінченним джерелом азоту, більшість живих організмів не можуть використовувати його безпосередньо. Для їхнього вживання азот має бути перетворений на хімічні сполуки через процеси зв'язування [90].

Азот частково надходить у екосистеми через атмосферу у формі оксиду азоту, що утворюється внаслідок електричних розрядів під час бур. Проте основна кількість азоту потрапляє в воду та ґрунт через його біологічну фіксацію. Деякі види бактерій та синьо-зелених водоростей мають здатність фіксувати атмосферний азот.

В результаті їхньої активності, а також через розкладання органічних матеріалів у ґрунті, азот трансформується в форму, яку можуть засвоювати рослини [98].

Кругообіг азоту тісно взаємопов'язаний з кругообігом вуглецю. Хоча кругообіг азоту є більш складним порівняно з вуглецевим, він зазвичай відбувається швидше. Інші компоненти атмосферного повітря не беруть активної участі в біогеохімічних циклах, але наявність у повітрі значної

кількості антропогенних забруднювачів може призвести до серйозних збоїв у цих циклах та змінити газовий склад атмосфери. Антропогенне забруднення атмосфери великою мірою залежить від типу джерел забруднення, як-от технологічні установки, що викидають шкідливі речовини під час експлуатації. Забруднювачі можуть бути як стаціонарними, так і пересувними.

Атмосфера забруднюється різноманітними газами, дрібними частками та рідкими речовинами, що негативно впливають на живі організми та погіршують умови їхнього життя. Джерела забруднення повітря можуть бути як природними, так і штучними (антропогенними) (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Джерела забруднення атмосферного повітря [105]

Природні джерела забруднення атмосфери включають пилові бурі, вулканічні виверження, космічний пил та інші (див. рис. 2.1). Більшість (три чверті) природних забруднювачів атмосфери складають неорганічні речовини, такі як продукти вивітрювання гірських порід, ґрунтові частинки, попіл, сіль та інші [90].

Земна атмосфера містить різноманітні органічні сполуки, які є результатами біологічної активності живих організмів. Серед них знаходяться вуглеводні спирти, органічні кислоти, ефіри та альдегіди. Газоподібні продукти рослинного походження, які активно взаємодіють з іншими організмами, отримали назву атмовітамінів. Вони користуються попитом у багатьох живих істот для задоволення своїх життєвих потреб. Органічні сполуки, які негативно впливають на бактерії, мікроорганізми та гриби, називаються фітонцидами.

Щорічний приріст морських солей в атмосферу оцінюється в межах від 0,700 до 1,5 мільярдів тонн, а винос ґрунтового пилу коливається від 7 до 700 мільйонів тонн. Також утворення аерозолів через лісові пожежі складає від 35 до 360 мільйонів тонн. В сукупності від усіх джерел в атмосферу потрапляє до 2,3 мільярдів тонн природних аерозолів.

Хоча природні джерела забруднення, як правило, не перевищують встановлених допустимих концентрацій і не викликають значних змін у якості повітря, активне поширення таких джерел у певній області, таких як вулканічні виверження, лісові та степові пожежі, може стати серйозною причиною атмосферного забруднення. Ці природні явища іноді призводять до створення щільного шару, який перешкоджає проникненню світла навколо Землі та змінює її тепловий баланс. Однак, загалом, природні забруднення зазвичай не завдають великої шкоди людям, оскільки відбуваються відповідно до біологічних закономірностей і регулюються природним обігом речовин та проявляються періодично [92].

Антропогенне забруднення атмосфери, викликане діяльністю людини, стає все більш помітним через зміну складу та характеристик атмосфери. Джерела такого забруднення можна класифікувати як стаціонарні та пересувні.

Серед стаціонарних джерел, теплові електростанції виступають як значні забруднювачі, викидаючи в атмосферу сірчистий ангідрид, двоокис сірки, оксиди азоту, а також сажу, яка служить носієм смолистих речовин, пилу та золи з вмістом солей важких металів. Комбінати чорної металургії та супутні промислові підприємства, такі як доменні та сталеплавильні цехи, гірничорудні та агломераційні заводи, коксохімічні та відходопереробні заводи, також спричиняють значне забруднення. Їх викиди містять оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, пил, оксиди азоту, сірководень, аміак, сірковуглець, аерозолі хрому та марганцю, бензол, фенол, піридин, нафталан.

Кольорова металургія спричиняє забруднення атмосфери сполуками фтору, кольорових та важких металів у вигляді аерозолів, парами ртуті, сірчистим ангідридом, окисами азоту та окисом вуглецю, поліметалічним пилом та смолистими речовинами, включаючи бензапірен. Виробничі підприємства машинобудування і металообробки також вносять свій вклад у забруднення атмосфери через викиди аерозолів сполук кольорових і важких металів та пари органічних розчинників [118].

Нафтопереробна та нафтохімічна промисловість випускає в атмосферу сірководень, сірчистий ангідрид, окис вуглецю, аміак, а також вуглеводні, включно з бензапіреном. Підприємства неорганічної хімії викидають окисли сірки та азоту, сірководень, аміак, сполуки фосфору та вільний хлор. Підприємства органічної хімії забруднюють атмосферу великою кількістю органічних речовин складного хімічного складу, соляної кислоти, сполук важких металів, сажі та пилу. Підприємства по виробництву будівельних матеріалів забруднюють атмосферу пилом, що містить сполуки важких металів, фтору, двоокису кремнію, азбесту, гіпсу та тонкодисперсного скляного пилу.

Що стосується пересувних джерел, автотранспорт є значним забруднювачем атмосфери, особливо у міських умовах. Вихлопні гази від

автомобілів зосереджуються у приземному шарі повітря, що ускладнює їх розсіювання, а житлові будинки, розташовані поруч із великими автомагістралями, нерідко служать своєрідними «екранами», що затримують забруднювачі. Кількість автомобілів в усьому світі, яка налічує 630 мільйонів одиниць, ймовірно, подвоїться протягом наступних 20-30 років, що може значно погіршити ситуацію з атмосферним забрудненням.

2.3. Шумове забруднення та його вплив на здоров'я населення

Механічні коливання та хвилі, включно зі звуком та ультразвуком, мають потенціал бути шкідливими для здоров'я людини, особливо коли відбувається механічний резонанс. Цей процес виникає, коли частота природних коливань організму співпадає з частотою зовнішніх коливань, що призводить до різкого зростання амплітуди коливань. Такі явища можуть бути особливо небезпечними під час роботи з такими машинами, як двигуни та генератори. Наприклад, в електроакустичній лабораторії Морського науково-дослідного центру у Марселі під час тестування генератора інфразвуку стався інцидент, що пов'язаний з механічним резонансом. Дослідники раптово почали відчувати погіршення самопочуття, включно з вібраціями внутрішніх органів – шлунка, серця та легень. Після вимкнення генератора симптоми зберігалися протягом декількох годин, що є характерним для механічного резонансу.

Шум також є значним ризиковим фактором для здоров'я людей. Згідно з дослідженнями австрійських вчених, шумове забруднення може скоротити тривалість життя мешканців мегаполісів на 10-12 років. Це пояснюється високим рівнем постійного шуму від промисловості, транспорту, побутових приладів, радіо та телебачення, що створює значне навантаження на мешканців великих міст. Історичний приклад з Китаю демонструє, як шум використовували як метод покарання: порушників релігійних вірувань

змушували слухати неперервну гру флейтистів, барабанщиків та крикунів день і ніч, аж до їхньої смерті.

Шум може викликати серйозні проблеми зі здоров'ям, включаючи порушення кровообігу, ушкодження слуху, метаболічні розлади, виразки шлунка, гіпертонію та зміни в роботі залоз внутрішньої секреції. Найбільший вплив шум має на нервову систему, спричиняючи 80% випадків головного болю та неврозів, безсоння та загальну втоми. Навіть невеликий рівень шуму до 35 дБ може послабити пам'ять. З цією серйозною соціальною проблемою активно борються органи охорони здоров'я. Згідно зі статистикою, кожна четверта людина, яка регулярно користується навушниками для прослуховування музики через телефон, стикається з ризиком ушкодження слуху. Лікарі попереджають, що звуки гучністю 100 дБ можна безпечно слухати не більше 40 хвилин, а гучні звуки слухати безпечно лише протягом 5 хвилин. Тим не менше, багато молодих людей витрачають у навушниках понад 5 годин на день [102].

Шум не тільки завдає шкоди слуху, але й негативно впливає на нервову систему. Гучні звуки можуть спричинити розвиток неврозів, погіршення настрою, зниження працездатності та викликати безсоння. Шум є однією з форм фізичного забруднення навколишнього середовища, що виникає через коливання тиску повітря. Це може бути хаотичне скупчення звуків різної частоти, інтенсивності та тривалості, які перевищують межі комфортного слухового середовища. Існують різні типи шуму: постійний, непостійний, періодичний, переривчастий та імпульсний. Всі вони можуть негативно впливати на здоров'я людини, зокрема на органи слуху, ендокринну, нервову та серцево-судинну системи, включаючи розвиток гіпертонії. Адаптація до шуму майже неможлива, тому контроль та обмеження шумового забруднення є важливими заходами. Шум вимірюється в децибелах (дБ), що позначає відношення діючого звукового тиску до мінімального рівня, який може сприймати людське вухо.

Земля завжди мала свій власний звуковий ландшафт, і люди завжди використовували природне середовище як медіум для передачі звуків. Рівень шуму в природному середовищі коливається від 30 до 60 децибел. У сучасний час до цього природного фону додаються шуми від промисловості та транспорту, які часто перевищують 100 децибел. Шуми виходять від різноманітних джерел, таких як транспортні засоби, промислові підприємства, гучномовці, ліфти, телевізори, радіоприймачі, музичні інструменти, а також від людських натовпів.

Сто років тому рівень шуму на головних вулицях великих міст рідко перевищував 60 дБ. Сильний шум змушує людський організм витратити багато енергії на адаптацію, що призводить до перевантаження нервової системи, втоми, нервових і психічних розладів. Шум негативно впливає не тільки на людей, але й на рослини та тварин [34].

Шумове забруднення є однією з найпоширеніших екологічних проблем у сучасному світі, особливо в урбанізованих та промислових районах. Визначається як небажане або шкідливе звукове випромінювання, яке може негативно впливати на здоров'я людей і комфорт життя, шум стає значною проблемою для громадського здоров'я.

Вплив шуму на здоров'я людини досліджено детально. Шум від транспорту, такий як автомобільний, залізничний і повітряний транспорт, є особливо серйозним. Наприклад, дослідження в Європі показали, що довготривалий вплив на шум від автомагістралей та аеропортів пов'язаний із підвищеним ризиком розвитку серцево-судинних захворювань. Інші здоров'язнищувальні ефекти включають стрес, порушення сну, пошкодження слуху та психологічний дискомфорт [85].

Промислові джерела, такі як фабрики, будівельні майданчики та енергетичні установки, також значно внесли в рівні шумового забруднення. Довготривале впливання на високий рівень промислового шуму може призвести до гіпертензії та інших порушень серцевої діяльності, а також викликати неврологічні порушення та зниження когнітивних функцій.

Наприклад, робітники, що зайняті на великих металургійних заводах або у важкій промисловості, часто страждають від втрати слуху як прямий наслідок тривалої взаємодії з шумом [51].

Шум в міських середовищах, що походить від щільної дорожньої мережі, машинобудування та розважальних закладів, також впливає на здоров'я. В містах, таких як Нью-Йорк, вимірювання шуму показують, що рівні можуть сягати 85 дБ в денний час і близько 70 дБ вночі, що значно вище рекомендованих норм. Такі рівні пов'язані з підвищеним ризиком ішемічної хвороби серця, високим кров'яним тиском, стресовими розладами, а також зі зниженням продуктивності та навчальної успішності.

Підходи до управління шумовим забрудненням включають використання шумозахисних бар'єрів, розробку та застосування політик зниження шуму в транспорті, а також стратегії міського планування, які спрямовані на зменшення впливу шуму на жителів. Інноваційні технології, такі як звукоізоляційні матеріали у будівництві та розробка тихих транспортних систем, також відіграють ключову роль у зменшенні шумового впливу на здоров'я.

Також важливо відзначити, що зменшення шумового забруднення може значно покращити якість життя населення. Міські зелені зони, такі як парки, лісосмути та зелені дахи, можуть служити ефективними природними бар'єрами проти міського шуму. Дослідження в Лондоні показали, що зелені зони можуть знизити рівень шуму на 5-10 дБ, що сприяє зменшенню стресу та покращенню загального психічного здоров'я місцевого населення [47].

На законодавчому рівні, багато країн прийняли норми, які обмежують рівні шуму в певних зонах. Наприклад, Європейський Союз встановив строгі директиви щодо шуму, які зобов'язують держави-члени вести моніторинг шумових рівнів і розробляти плани дій для зниження шуму в найбільш забруднених районах [26].

Окрім цього, важливу роль у зменшенні впливу шуму на населення відіграє освіта та підвищення обізнаності громадян про шум та його наслідки.

Проведення інформаційних кампаній та навчань може допомогти людям краще розуміти, як вони можуть захистити себе від шуму, наприклад, через використання індивідуальних засобів захисту слуху або шляхом планування житла в менш шумних районах.

Таким чином, комплексний підхід до управління шумом, який включає технологічні інновації, регуляторні заходи, міське планування та освітні програми, є ключовим для забезпечення здорового та комфортного середовища для життя міського населення.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

3.1. Інноваційні технології та паливна ефективність в авіації

Інноваційні технології та паливна ефективність в авіації є ключовими аспектами для забезпечення стійкого розвитку галузі. Враховуючи значний вплив авіаційного транспорту на довкілля, індустрія авіації активно впроваджує нові технології, які спрямовані на зниження витрат палива та зменшення викидів парникових газів.

Однією з найважливіших інновацій є розробка і використання біопалива. Наприклад, компанія KLM здійснила перший у світі комерційний рейс на біопаливі у 2011 році, використовуючи суміш звичайного авіаційного палива та палива, виготовленого з відходів рослинної олії. З того часу, багато авіакомпаній, включаючи United Airlines і Lufthansa, розпочали використання біопалива у своїх рейсах, що дозволило знизити викиди вуглекислого газу на 50-80% [77].

Також, важливу роль у підвищенні паливної ефективності відіграють новітні конструкції літаків. Наприклад, Boeing 787 Dreamliner та Airbus A350 XWB оснащені композитними матеріалами, які є легшими та міцнішими за традиційні матеріали. Це дозволяє знизити вагу літаків, зменшуючи таким чином витрати палива на 20-30% у порівнянні з попередніми моделями [76].

Сучасні двигуни також стали значно ефективнішими. Розробки, такі як двигуни Pratt & Whitney GTF (Geared Turbofan) та CFM LEAP, забезпечують зниження витрат палива на 15-20% завдяки інноваційним технологіям, таким як використання композитних матеріалів у вентиляторах та більш ефективних схем згорання. Це не тільки зменшує витрати палива, але й знижує рівень шуму та викиди шкідливих речовин [64].

Додатково, технології оптимізації польотів, такі як системи управління повітряним рухом (ATM) і нові маршрути польотів, також сприяють підвищенню паливної ефективності. Наприклад, впровадження системи NextGen в США дозволило скоротити час польотів, зменшити затримки та оптимізувати витрати палива, що в кінцевому результаті призвело до зниження викидів вуглекислого газу [62].

Крім того, новітні електричні та гібридні літаки демонструють великий потенціал для зниження впливу авіації на довкілля. Проекти, такі як E-Fan X від Airbus та Alice від Eviation, передбачають використання електричних двигунів, які можуть значно знизити витрати палива та викиди шкідливих речовин. Хоча ці технології знаходяться ще на стадії розробки, їх успішне впровадження може революціонізувати авіаційну галузь [29].

Окрім технологічних інновацій, важливим аспектом підвищення паливної ефективності є підвищення обізнаності та відповідальності серед авіаційних компаній та пасажирів. Впровадження програм екологічного менеджменту, таких як IATA's Environmental Assessment (IEnvA), допомагає авіакомпаніям знижувати свій екологічний вплив шляхом впровадження кращих практик та інновацій [44].

Отже, інноваційні технології та підвищення паливної ефективності є критичними для зниження екологічного впливу авіаційної галузі. Завдяки біопаливу, новим конструкціям літаків, ефективнішим двигунам, оптимізованим системам управління польотами та електричним і гібридним літакам, авіація може значно зменшити свій вплив на довкілля та сприяти стійкому розвитку глобальної транспортної системи.

Новітні розробки в сфері авіаційних технологій також включають в себе використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни. Наприклад, винайдений у Німеччині сонячний літак Solar Impulse здійснив історичний переліт навколо світу, використовуючи лише сонячну енергію. Даний проект продемонстрував можливість довгих польотів без

використання традиційного палива, що відкриває нові перспективи для створення екологічно чистих літаків [75].

Крім того, велику увагу приділяють розробці легких та ефективних матеріалів для конструкції літаків, таких як композитні матеріали на основі карбону. Ці матеріали дозволяють знизити вагу літака, що в свою чергу зменшує витрати палива та викиди CO₂. Наприклад, Boeing 777X використовує 50% композитних матеріалів у своїй конструкції, що дозволяє знизити вагу літака та підвищити його паливну ефективність [17].

В удосконаленні двигунів також спостерігається значний прогрес. Компанія Rolls-Royce, наприклад, розробляє двигуни серії UltraFan, які мають бути найбільш паливо-економічними у світі. Такі двигуни використовуватимуть технологію плавного відкриття вентилятора, що дозволить знизити витрати палива на 25% порівняно з сучасними двигунами [70].

Значний вклад у підвищення паливної ефективності вносять і нові методи управління польотами. Системи автоматизації та оптимізації маршрутів дозволяють ефективніше використовувати паливо та зменшувати час польоту. Наприклад, програми оптимізації польотів, розроблені компаніями Honeywell та Airbus, дозволяють авіакомпаніям знижувати витрати палива на 5-10% шляхом оптимізації швидкості та маршруту польоту [9].

Ще однією важливою сферою, де інновації сприяють підвищенню паливної ефективності та зменшенню впливу на довкілля, є розвиток автономних систем і штучного інтелекту в авіації. Системи автоматичного управління польотом (AFCS) та технології штучного інтелекту дозволяють оптимізувати маршрут польоту в режимі реального часу, що сприяє зменшенню витрат палива та часу в повітрі. Наприклад, компанія Boeing використовує AI для аналізу великих обсягів даних з польотів, що дозволяє прогнозувати найефективніші маршрути та запобігати можливим затримкам [56].

Іншою перспективною технологією є використання електричних та гібридних літаків для коротких та середньої дальності польотів. Компанія

Ampaire, наприклад, розробляє гібридний електричний літак Electric EEL, який вже здійснює тестові польоти на Гавайях. Такий літак використовує електричний двигун у комбінації з традиційним двигуном внутрішнього згорання, що дозволяє значно знизити витрати палива та викиди [83].

Значні зміни відбуваються і в аеропортах, які впроваджують інноваційні технології для зменшення свого екологічного сліду. Наприклад, аеропорт Осло в Норвегії став першим аеропортом у світі, що досяг вуглецевої нейтральності завдяки використанню відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей та геотермальної енергії. Крім того, аеропорт використовує електричні транспортні засоби для переміщення пасажирів та вантажів [35].

Також важливим аспектом є впровадження концепції зелених аеропортів, які використовують екологічно чисті технології та практики. Наприклад, аеропорт Шіпхол у Нідерландах встановив біофільтри для очищення дощової води та інноваційні системи енергозбереження, що дозволяє значно знизити енергоспоживання та викиди [1].

Загалом, інноваційні технології та підвищення паливної ефективності в авіації охоплюють широкий спектр заходів та рішень, спрямованих на зниження впливу на довкілля та забезпечення сталого розвитку галузі. Впровадження біопалива, використання альтернативних джерел енергії, розробка легких та ефективних матеріалів, створення паливоекономічних двигунів, оптимізація польотів за допомогою AI, розвиток електричних та гібридних літаків, а також перетворення аеропортів на вуглецево-нейтральні об'єкти демонструють великі можливості для майбутнього авіації [76].

Таким чином, завдяки постійному розвитку та впровадженню інноваційних технологій, авіаційна індустрія має всі шанси стати екологічно стійкою та ефективною, сприяючи збереженню навколишнього середовища та забезпеченню високих стандартів комфорту та безпеки для пасажирів.

Інтеграція інноваційних технологій в авіаційній індустрії не лише сприяє зниженню викидів та підвищенню паливної ефективності, але й стимулює економічний розвиток. Наприклад, розробка та впровадження нових типів

двигунів і матеріалів створює нові робочі місця у високотехнологічних секторах, сприяє розвитку наукових досліджень та інновацій.

Одним з найбільш перспективних напрямів є розвиток електричних літаків для регіональних перевезень. Компанія Eviation Aircraft розробляє електричний літак Alice, який призначений для перевезення пасажирів на відстані до 1,000 кілометрів. Цей літак має на меті знизити витрати на експлуатацію та зменшити викиди вуглекислого газу, що робить його ідеальним для регіональних авіаперевезень [37].

Крім того, концепції урбаністичних повітряних перевезень (UAM) стають дедалі популярнішими. Компанії, такі як Uber Elevate та Volocopter, розробляють електричні літальні апарати вертикального зльоту та посадки (eVTOL), які можуть використовуватися для перевезення пасажирів у великих містах, зменшуючи навантаження на наземний транспорт та знижуючи рівень шуму та забруднення повітря [84].

Ще однією значущою інновацією є використання 3D-друку у виробництві авіаційних компонентів. Технологія адитивного виробництва дозволяє створювати легкі та міцні деталі з мінімальними відходами матеріалів, що знижує витрати на виробництво та експлуатацію. Наприклад, компанія GE Aviation активно використовує 3D-друк для виробництва паливних форсунок для своїх двигунів, що дозволяє знизити їх вагу та підвищити паливну ефективність [4].

Важливо також зазначити, що розвиток інноваційних технологій вимагає співпраці між урядами, науковими установами та приватним сектором. Різноманітні ініціативи та програми підтримки, такі як Європейська програма «Горизонт 2020» або Програма досліджень авіаційних технологій NASA, сприяють фінансуванню досліджень та розробок у сфері авіації, що допомагає впроваджувати нові технології та підвищувати паливну ефективність [61].

Підсумовуючи, інноваційні технології та паливна ефективність в авіації є важливими чинниками, які визначають майбутнє галузі. Використання біопалива, розробка нових конструкцій літаків, впровадження ефективніших

двигунів, оптимізація маршрутів польотів за допомогою AI, розвиток електричних і гібридних літаків, застосування 3D-друку та впровадження концепцій урбаністичних повітряних перевезень — все це сприяє зниженню впливу на довкілля та забезпеченню стійкого розвитку авіації. Завдяки співпраці між урядами, науковими установами та приватним сектором, авіаційна галузь має всі шанси стати екологічно стійкою, ефективною та інноваційною [52].

3.2. Альтернативні джерела енергії для авіаційного транспорту

Авіаційний транспорт є одним із найбільших споживачів палива у світі, що призводить до значних викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин в атмосферу. У зв'язку з глобальним потеплінням та забрудненням довкілля, стає все більш важливим розробка та впровадження альтернативних джерел енергії для авіаційного транспорту. Однією з основних альтернатив є біопаливо. Біопаливо для авіації може бути виготовлено з різних рослинних та тваринних жирів, а також з відходів агропромислового комплексу. Наприклад, компанія British Airways разом із Velocys розробляє проект по переробці твердих побутових відходів на реактивне паливо, що дозволяє знизити викиди вуглекислого газу на 70% порівняно з традиційним авіаційним паливом [86].

Ще однією перспективною технологією є використання водневих паливних елементів. Водень може бути використаний як основне паливо для авіадвигунів, що працюють на електричній енергії. Водневі літаки мають потенціал до повного усунення викидів вуглекислого газу, оскільки продуктом згоряння водню є лише вода. Наприклад, Airbus оголосив про плани розробити перший у світі комерційний водневий літак до 2035 року. Вони вже працюють над трьома концептами літаків, які будуть використовувати рідкий водень як паливо [10].

Електричні літаки також привертають значну увагу як альтернатива традиційним авіаційним двигунам. Електричні літаки використовують акумулятори для живлення електродвигунів, що значно знижує викиди шкідливих речовин і зменшує шум. Відомим прикладом є компанія Wright Electric, яка спільно з EasyJet розробляє електричний пасажирський літак. Їхній проект спрямований на створення літака, здатного перевозити до 186 пасажирів на відстань до 540 км [110].

Інша компанія, Zunum Aero, працює над розробкою гібридно-електричних літаків, які використовують комбінацію електричної енергії та традиційного палива, що дозволяє зменшити витрати на паливо та знизити викиди вуглекислого газу. Вони вже тестують свої прототипи і планують випустити перший комерційний літак до 2025 року [117].

Використання сонячної енергії для авіаційного транспорту також має потенціал, хоча і обмежений на даному етапі. Проект Solar Impulse, що був розпочатий у 2003 році, показав можливість використання сонячної енергії для тривалих польотів. Їхній літак Solar Impulse 2 здійснив кругосвітню подорож, використовуючи виключно сонячну енергію [124].

Незважаючи на значний прогрес у розробці альтернативних джерел енергії для авіаційного транспорту, існують численні виклики. Вартість розробки та впровадження нових технологій, обмежена ємність сучасних акумуляторів, а також необхідність створення нової інфраструктури для підтримки водневих та електричних літаків є основними перепонами на шляху до широкого застосування цих технологій. Проте, з урахуванням зростаючого тиску з боку регуляторів та суспільства, авіаційна галузь неминуче рухається у напрямку сталого розвитку, впроваджуючи альтернативні джерела енергії як невід'ємну частину своєї стратегії на майбутнє [88].

Попри численні виклики, дослідження і розробки в галузі альтернативних джерел енергії для авіаційного транспорту не припиняються. Інноваційні компанії та наукові установи по всьому світу продовжують працювати над створенням ефективніших та екологічно безпечніших рішень.

Одним з таких перспективних напрямків є синтетичне паливо. Це вид палива виробляється з відновлюваних джерел, таких як біомаса, або шляхом хімічного синтезу з вуглекислого газу та водню. Наприклад, компанія Synhelion розробляє технологію виробництва синтетичного палива з використанням концентрованої сонячної енергії, що дозволяє створювати паливо, яке є екологічно чистим та повністю замінює традиційне авіаційне паливо [78].

Гібридні системи живлення, що поєднують електричну енергію з іншими видами палива, також розглядаються як важливий крок до повної електрифікації авіаційного транспорту. Компанія Rolls-Royce, відома своїми авіаційними двигунами, активно працює над створенням гібридних двигунів, що використовують як електричну енергію, так і традиційне авіаційне паливо. Їхній проект E-Fan X, розроблений у співпраці з Airbus, мав на меті випробування нових технологій на регіональних літаках, однак з огляду на пандемію COVID-19 проект був призупинений. Незважаючи на це, отримані знання та технології продовжують використовуватися в інших розробках [74].

Крім технічних рішень, важливу роль відіграють політичні та економічні чинники. Уряди багатьох країн активно підтримують розвиток альтернативних джерел енергії через субсидії, податкові пільги та інші стимули. Наприклад, Європейський Союз запровадив програму «Зелений курс», що передбачає зниження викидів парникових газів на 55% до 2030 року, включаючи авіаційний сектор [101].

Інвестори також починають визнавати важливість інвестицій у чисті технології. Великий інтерес до стартапів, що займаються розробкою екологічно чистих авіаційних рішень, сприяє швидшому розвитку цієї галузі. Наприклад, компанія Joby Aviation, яка займається розробкою електричних літаків вертикального зльоту та посадки (eVTOL), залучила значні інвестиції від таких компаній, як Toyota та Uber, що дозволяє їм активно розвивати свої технології та готуватися до виходу на ринок [24].

Окремо варто згадати про інфраструктурні зміни, необхідні для підтримки нових видів палива та технологій. Для водневих літаків потрібно

створювати спеціальні заправні станції та сховища для рідкого водню. Аналогічно, електричні літаки потребують нових зарядних станцій в аеропортах. Ці зміни потребують значних інвестицій, але водночас створюють нові можливості для розвитку інфраструктури та бізнесу [93].

Таким чином, розвиток альтернативних джерел енергії для авіаційного транспорту є складним, але надзвичайно важливим завданням. Він вимагає інтегрованого підходу, що включає технічні інновації, економічну підтримку та політичні ініціативи. З урахуванням зростаючого тиску з боку регуляторів та суспільства, а також технічного прогресу, впровадження альтернативних джерел енергії в авіаційну галузь є не лише можливим, але й неминучим. Це допоможе значно знизити викиди шкідливих речовин, зменшити залежність від викопних видів палива та зробити авіаційний транспорт більш сталим та екологічно безпечним.

У рамках розвитку альтернативних джерел енергії для авіаційного транспорту, варто звернути увагу на нові матеріали та технології, які можуть зробити літаки легшими та ефективнішими. Наприклад, використання композитних матеріалів у конструкції літаків дозволяє значно зменшити їх вагу, що, в свою чергу, знижує споживання палива та викиди вуглекислого газу. Boeing 787 Dreamliner є яскравим прикладом такого підходу. Завдяки використанню композитних матеріалів, цей літак споживає на 20% менше палива порівняно з аналогічними моделями, що використовують традиційні матеріали [111].

Технології штучного інтелекту (ШІ) та великих даних (Big Data) також відіграють важливу роль у підвищенні ефективності авіаційного транспорту. Аналіз великих обсягів даних дозволяє оптимізувати маршрути польотів, знижуючи тим самим витрати палива та викиди шкідливих речовин. Наприклад, компанія GE Aviation розробила платформу Predix, яка використовує дані з різних сенсорів на борту літаків для оптимізації роботи двигунів і зниження витрат палива. Така технологія дозволяє авіакомпаніям економити значні кошти та зменшувати вплив на навколишнє середовище [41].

Також перспективним напрямком є використання аеродинамічних вдосконалень, які допомагають знижувати опір повітря та підвищувати ефективність польотів. Наприклад, NASA разом із Boeing працюють над проектом X-48, експериментальним літаком із конструкцією типу «летюче крило». Цей дизайн дозволяє значно зменшити опір повітря та знизити витрати палива. Попередні тестування показали, що використання такої конструкції може знизити витрати палива на 20-30%.

Крім того, важливим аспектом є інтеграція альтернативних джерел енергії в існуючі системи авіаційного транспорту, що вимагає розробки нових стандартів та регуляцій, які б враховували особливості використання нових видів палива та технологій. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) активно працює над створенням таких стандартів, що сприятиме ширшому впровадженню екологічно чистих технологій у галузі авіаційного транспорту [106].

Окремо варто зазначити, що розвиток альтернативних джерел енергії для авіації також сприяє створенню нових робочих місць та стимулює економічний розвиток. Наприклад, будівництво заводів з виробництва біопалива та водневих заправних станцій створює тисячі нових робочих місць, що позитивно впливає на місцеву економіку. Крім того, розвиток нових технологій сприяє підвищенню кваліфікації працівників та розвитку науково-дослідницької бази [Економічний вплив будівництва заводів з виробництва біопалива [15].

Отже, розвиток альтернативних джерел енергії для авіаційного транспорту є надзвичайно важливим кроком на шляху до сталого розвитку. Він включає в себе не лише впровадження нових технологій, але й зміну підходів до проектування, експлуатації та регулювання авіаційної галузі. Інтеграція біопалива, водневих технологій, електричних та гібридних літаків, а також вдосконалення матеріалів та аеродинаміки дозволять значно знизити вплив авіації на навколишнє середовище та забезпечити більш сталий розвиток галузі. У поєднанні з економічними та політичними стимулами, ці технології мають потенціал змінити обличчя авіаційного транспорту в найближчі десятиліття.

3.3. Міжнародна співпраця та політичні заходи щодо зменшення екологічного впливу авіації

Міжнародна співпраця та політичні заходи відіграють ключову роль у зменшенні екологічного впливу авіаційної галузі. Розуміння глобального характеру авіації вимагає координації зусиль між державами, міжнародними організаціями та приватним сектором, аби забезпечити стійкий розвиток галузі та мінімізувати її вплив на навколишнє середовище. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) є провідною у цьому процесі, впроваджуючи стандарти та рекомендації щодо зменшення викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин [81].

Одним із головних заходів є впровадження Схеми компенсації та зменшення викидів вуглецю для міжнародної авіації (CORSIA), яка зобов'язує авіакомпанії компенсувати збільшення викидів CO₂ після 2020 року через придбання кредитів на проекти зменшення викидів вуглецю. Це дозволяє зберегти чистоту атмосфери та сприяє фінансуванню екологічно чистих технологій. Наприклад, компанія Delta Air Lines вже вклала мільйони доларів у такі проекти, як відновлення лісів у Каліфорнії та впровадження технологій для зменшення викидів у Африці [2].

Європейський Союз також активно працює над зменшенням екологічного впливу авіації через програму Horizon 2020, що фінансує дослідження та інновації у сфері авіації, спрямовані на зниження викидів. Одним з найбільш відомих проектів є Clean Sky, який об'єднує провідних європейських виробників літаків, таких як Airbus, з метою розробки більш екологічно чистих літаків. У рамках цієї програми було створено новий тип двигуна, який зменшує витрати палива на 15% порівняно з попередніми моделями [42].

США також роблять значні кроки у напрямку зменшення впливу авіації на довкілля. NASA проводить дослідження з розробки електричних та гібридних літаків, а також нових конструкцій крил, які зменшують опір повітря та покращують паливну ефективність. Проект X-57 Maxwell є одним з таких

прикладів, де використання електричної тяги дозволяє значно знизити викиди CO₂.

Азійські країни, зокрема Японія та Китай, також активно включаються у міжнародні зусилля. Японська авіаційна компанія ANA співпрацює з місцевими урядами та науковими установами для впровадження біопалива, виготовленого з водоростей, що знижує викиди CO₂ до 80% порівняно з традиційним авіаційним паливом. Китай, з іншого боку, інвестує в дослідження та розробку технологій захоплення та зберігання вуглецю (CCS), що дозволяє зменшити викиди від існуючих авіаційних двигунів.

На національному рівні уряди приймають різноманітні законодавчі акти та програми для підтримки зеленої авіації. Наприклад, уряд Великої Британії затвердив план Zero Emission Flight, який передбачає до 2030 року здійснити перший комерційний рейс з нульовими викидами, включаючи розробку нових типів літаків, а також створення інфраструктури для виробництва та використання водневого палива.

Підсумовуючи, міжнародна співпраця та політичні заходи є ключовими у зменшенні екологічного впливу авіації. Від проектів з розробки нових технологій та палива до законодавчих ініціатив і міжнародних угод, всі ці заходи сприяють створенню стійкої та екологічно безпечної авіаційної галузі. Завдяки зусиллям урядів, міжнародних організацій та приватного сектору, авіація має всі шанси на стаке майбутнє [79].

Також варто відзначити зусилля, спрямовані на зменшення шумового забруднення, яке також є важливим аспектом екологічного впливу авіації. Європейське агентство з авіаційної безпеки (EASA) розробляє та впроваджує нові стандарти щодо зменшення шуму літаків, що зокрема включає використання нових матеріалів та конструкцій. Наприклад, використання композитних матеріалів у конструкції літаків дозволяє зменшити шум під час зльоту та посадки [54].

У співпраці з міжнародними науковими установами, такі авіаційні гіганти, як Boeing та Airbus, активно розробляють нові моделі літаків, які

значно зменшують екологічний вплив. Boeing працює над проектом ecoDemonstrator, який тестує нові технології, включаючи біопаливо та матеріали, що зменшують вагу літаків, що, в свою чергу, знижує витрати палива та викиди CO₂ [Boeing, «ecoDemonstrator», 2020]. Airbus, з іншого боку, активно розробляє концепцію ZEROe, що включає три різні моделі літаків, які використовують водневу енергію. Планується, що ці літаки зможуть виконувати комерційні рейси вже у 2035 році, що стане великим кроком вперед у зменшенні вуглецевого сліду авіації [107].

Національні уряди також розробляють та впроваджують політики, спрямовані на стимулювання розвитку екологічно чистих авіаційних технологій. Наприклад, уряд Франції надав фінансову підтримку у розмірі 1,5 мільярда євро для досліджень та розробок у сфері водневих літаків, що дозволить створити нові робочі місця та зменшити викиди CO₂ від авіації [21].

Скандинавські країни, зокрема Норвегія, також активно працюють над зменшенням екологічного впливу авіації. Норвезька авіакомпанія Widerøe планує до 2030 року впровадити флот літаків на електричній тязі для коротких внутрішніх рейсів, що дозволить зменшити викиди парникових газів та залежність від викопного палива [30].

На глобальному рівні впровадження інноваційних технологій та підвищення ефективності використання палива є важливими чинниками, що визначають майбутнє авіаційної галузі. Використання біопалива, розробка нових конструкцій літаків, впровадження ефективніших двигунів, оптимізація маршрутів польотів за допомогою штучного інтелекту (AI), розвиток електричних і гібридних літаків, застосування 3D-друку та впровадження концепцій урбаністичних повітряних перевезень — все це сприяє зниженню впливу на довкілля та забезпеченню стійкого розвитку авіації.

Таким чином, завдяки міжнародній співпраці, законодавчим ініціативам та технологічним інноваціям, авіаційна галузь має всі шанси стати екологічно стійкою, ефективною та інноваційною. Спільні зусилля урядів, міжнародних організацій та приватного сектору створюють необхідні умови для зменшення

негативного впливу авіації на довкілля та сприяють досягненню глобальних екологічних цілей.

Ще одним важливим аспектом міжнародної співпраці є обмін передовим досвідом та знаннями у галузі екологічно чистих авіаційних технологій. Наприклад, спільний проект між NASA та Європейським космічним агентством (ESA) спрямований на розробку нових матеріалів та технологій, що дозволять зменшити викиди та підвищити ефективність авіаційних двигунів. Цей проект включає використання новітніх композитних матеріалів, що зменшують вагу літаків, а також впровадження нових конструкцій двигунів з нижчим рівнем викидів [57]

Партнерство між авіаційними компаніями та університетами також є важливим елементом зменшення екологічного впливу авіації. Наприклад, компанія Rolls-Royce співпрацює з Кембриджським університетом над розробкою гібридних електричних двигунів для літаків. Ці двигуни використовують як традиційне паливо, так і електричну тягу, що дозволяє значно зменшити викиди CO₂ та витрати палива [69].

Крім того, міжнародні організації, такі як Міжнародний союз охорони природи (IUCN) та Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO), активно працюють над оцінкою та моніторингом впливу авіації на довкілля та здоров'я людей. Вони розробляють рекомендації та стандарти, які допомагають урядам та авіакомпаніям впроваджувати найкращі практики для зменшення негативного впливу авіації на екосистеми та здоров'я населення [8].

Значний вклад у зменшення екологічного впливу авіації також роблять міжнародні фінансові інституції. Наприклад, Світовий банк та Міжнародний валютний фонд (IMF) надають фінансову підтримку країнам, що розвиваються, для впровадження екологічно чистих технологій в авіації, що дозволяє таким країнам модернізувати свою авіаційну інфраструктуру та зменшити викиди парникових газів [38].

Одним з найцікавіших проектів є співпраця між різними країнами у рамках програми Green Airports. Ця програма спрямована на зменшення

екологічного впливу авіаційних хабів через впровадження новітніх технологій та оптимізацію операційних процесів. Наприклад, міжнародний аеропорт у Сінгапурі (Changi) активно впроваджує системи енергозбереження та переробки відходів, що дозволяє значно зменшити його вуглецевий слід [5].

Завдяки міжнародній співпраці, законодавчим ініціативам та технологічним інноваціям авіаційна галузь має всі шанси стати екологічно стійкою, ефективною та інноваційною. Спільні зусилля урядів, міжнародних організацій та приватного сектору створюють необхідні умови для зменшення негативного впливу авіації на довкілля та сприяють досягненню глобальних екологічних цілей [6].

Міжнародна співпраця та політичні заходи є ключовими у зменшенні екологічного впливу авіації. Від проектів з розробки нових технологій та палива до законодавчих ініціатив і міжнародних угод, всі ці заходи сприяють створенню стійкої та екологічно безпечної авіаційної галузі. Завдяки зусиллям урядів, міжнародних організацій та приватного сектору, авіація має всі шанси на стаке майбутнє.

РОЗДІЛ 4. КРАЩІ СВІТОВІ ПРАКТИКИ ЗАПОБІГАННЯ НЕГАТИВНОМУ ВПЛИВУ АВІАТРАНСПОРТУ НА ДОВКІЛЛЯ: МОЖЛИВОСТІ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ В ДІЯЛЬНІСТЬ АВІАКОМПАНІЙ УКРАЇНИ

4.1. Використання біопалива у комерційній авіації: досвід США та Бразилії

Використання біопалива у комерційній авіації стає все більш актуальним у світлі зростаючої стурбованості щодо екологічного впливу традиційного авіаційного палива. США та Бразилія є піонерами у впровадженні біопалива в авіацію, демонструючи успішні приклади та створюючи можливості для глобального розвитку цієї технології.

У США розвиток біопалива для авіації отримав значну підтримку від уряду, наукових установ і приватного сектору. Важливим етапом стала співпраця між Федеральним управлінням авіації (FAA) і компанією Boeing у рамках ініціативи «Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative» (CAAIFI). У 2011 році компанія United Airlines здійснила перший комерційний політ з використанням біопалива, виготовленого з водоростей, що стало важливою віхою у розвитку цієї технології (United Airlines, 2011) [116].

Біопаливо, вироблене в США, переважно виготовляється з відходів сільського господарства, водоростей та інших відновлюваних ресурсів. Наприклад, компанія Gevo, яка спеціалізується на виробництві ізобутанолу, використовує кукурудзяний цукор для створення біопалива, яке потім може бути використане в авіації, що дозволяє значно знизити викиди парникових газів порівняно з традиційним авіаційним паливом [102].

Бразилія також демонструє вагомі успіхи у використанні біопалива в авіації, особливо завдяки своїм багаторічним досягненням у виробництві біоетанолу. У 2013 році компанія Gol Airlines провела перший комерційний рейс з використанням біопалива на основі цукрової тростини, розробленого в

рамках партнерства з компанією Amyris. Цей успіх відкрив нові перспективи для зниження викидів CO₂ у регіоні, який відомий своєю екологічною активністю [103].

Важливим аспектом успіху Бразилії є підтримка з боку держави та наукових інститутів. В Університеті Кампінас було створено Центр дослідження біопалива для авіації, де проводяться дослідження та розробки нових видів біопалива на основі місцевих ресурсів, що дозволяє не лише знижувати викиди парникових газів, але й стимулювати місцеву економіку за рахунок використання сільськогосподарських відходів.

Крім того, важливим фактором є співпраця між авіакомпаніями та постачальниками біопалива. У США компанія Delta Airlines підписала угоду з постачальником біопалива Northwest Advanced Bio-Fuels для будівництва заводу з виробництва біопалива, що забезпечить авіакомпанію стійким паливом на довгі роки [128].

Підсумовуючи, досвід США та Бразилії у використанні біопалива в комерційній авіації демонструє реальні можливості для зниження негативного впливу авіаційної галузі на довкілля. Впровадження подібних ініціатив в Україні може стати важливим кроком до забезпечення екологічної стійкості та інноваційного розвитку авіакомпаній. Співпраця з міжнародними партнерами, науковими установами та урядом може сприяти створенню нових рішень та підвищенню конкурентоспроможності української авіаційної галузі на глобальному рівні [25].

Враховуючи успішні приклади використання біопалива в США та Бразилії, можна виділити кілька ключових аспектів, які можуть бути імplementовані в діяльність авіакомпаній України.

По-перше, важливим елементом є підтримка з боку держави та стимулювання досліджень і розробок у цій галузі. Уряди США та Бразилії активно інвестували у наукові програми, що спрямовані на вивчення та розробку нових видів біопалива. Це включає як фінансову підтримку, так і створення сприятливого регуляторного середовища для інновацій. Для України

це може означати розробку національної стратегії розвитку біопалива, що включатиме як законодавчу підтримку, так і фінансові стимули для дослідницьких установ та приватних компаній [55].

По-друге, співпраця з науковими установами та приватним сектором є критично важливою для розвитку технологій біопалива. У США та Бразилії існує тісна взаємодія між університетами, дослідницькими центрами та авіакомпаніями. Наприклад, у Бразилії співпраця між Університетом Кампінас та компаніями, такими як Amyris, дозволила створити нові види біопалива на основі місцевих ресурсів, що знижує залежність від імпортованих паливних матеріалів.

По-третє, важливим фактором є економічна ефективність та екологічні переваги біопалива. Біопаливо не лише знижує викиди парникових газів, але й може бути економічно вигіднішим у довгостроковій перспективі, завдяки використанню відновлюваних ресурсів та зниженню залежності від коливань цін на нафту. У США компанії, такі як Gevo, показали, що виробництво біопалива з відходів сільського господарства може бути вигідним бізнесом, забезпечуючи стійке паливо для авіації.

Для успішної імплементації цих практик в Україні важливо також враховувати місцеві умови та ресурси. Наприклад, Україна має значний потенціал у використанні сільськогосподарських відходів для виробництва біопалива, що може стати основою для розвитку власного виробництва авіаційного біопалива. Співпраця з міжнародними організаціями та обмін досвідом з країнами-лідерами у цій галузі можуть допомогти Україні в швидкому впровадженні передових технологій [112].

Загалом, досвід США та Бразилії у використанні біопалива в авіації демонструє, що поєднання державної підтримки, наукових досліджень та економічних стимулів може створити умови для стійкого розвитку авіаційної галузі. Імплементація цих практик в Україні може значно знизити негативний вплив авіатранспорту на довкілля, підвищити енергоефективність та сприяти розвитку місцевої економіки [20].

По-четверте, важливим є інвестування у інфраструктуру для виробництва та розповсюдження біопалива. У США такі компанії, як Fulcrum BioEnergy, побудували заводи, які перетворюють твердий міський відхід на синтетичне паливо для авіації. Перший завод Fulcrum BioEnergy, який розпочав роботу у 2020 році, здатний виробляти 10 мільйонів галонів палива на рік, що значно знижує кількість відходів на сміттєзвалищах та зменшує викиди парникових газів [60].

Важливим фактором успіху є також підтримка авіакомпаній, які готові інвестувати у сталий розвиток. Компанія Delta Airlines у США та Gol Airlines у Бразилії активно вкладають кошти у розвиток біопалива. Delta Airlines зобов'язалася витратити 1 мільярд доларів на зниження своїх викидів вуглецю протягом наступного десятиліття, включаючи інвестиції в біопаливо та інші стійкі технології.

Бразилія, зі свого боку, має розвинену інфраструктуру для виробництва біопалива завдяки довгій історії виробництва біоетанолу. Зокрема, співпраця між компанією Embraer і науковими установами дозволила розробити літаки, здатні працювати на біоетанолі. Перший політ такого літака відбувся у 2004 році, і з тих пір технологія постійно вдосконалюється.

Для України це означає необхідність створення сприятливого середовища для інвестицій в інфраструктуру виробництва біопалива. Залучення міжнародних інвесторів, створення державних програм підтримки та співпраця з міжнародними фінансовими установами можуть сприяти розвитку цієї галузі. Наприклад, програми Європейського Союзу, такі як Horizon 2020, надають гранти на дослідження та розробку стійких технологій, включаючи біопаливо.

На додаток, важливо розвивати місцевий ринок біопалива, включаючи створення сприятливих умов для малого та середнього бізнесу, який може займатися виробництвом біопалива з місцевих ресурсів. Успішний приклад такого підходу можна знайти в Бразилії, де численні невеликі фермерські господарства та кооперативи займаються виробництвом біоетанолу з цукрової тростини, забезпечуючи місцевий ринок стійким паливом [55].

На завершення, досвід США та Бразилії у використанні біопалива в комерційній авіації демонструє, що поєднання державної підтримки, наукових досліджень, інвестицій в інфраструктуру та розвиток місцевого ринку є ключовими факторами успіху. Імплементация цих практик в Україні може значно знизити негативний вплив авіатранспорту на довкілля, підвищити енергоефективність та сприяти розвитку місцевої економіки. Співпраця з міжнародними партнерами, урядові програми підтримки та активна участь авіакомпаній можуть допомогти Україні стати лідером у сфері стійкого розвитку авіаційної галузі.

4.2. Розробка та впровадження електричних літаків: інноваційні рішення Норвегії та Франції

Розробка та впровадження електричних літаків є одним з ключових напрямків у боротьбі з негативним впливом авіатранспорту на довкілля. Норвегія та Франція є лідерами у цій галузі, демонструючи успішні приклади реалізації інноваційних рішень.

Норвегія активно впроваджує електричні літаки як частину своєї стратегії зниження викидів парникових газів. Компанія Avinor, яка управляє більшістю аеропортів у країні, спільно з норвезькою авіакомпанією Widerøe оголосила про плани запуснути перші комерційні рейси на електричних літаках до 2025 року. Важливо зазначити, що норвезька електроенергія майже повністю виробляється з відновлюваних джерел, що робить електричні літаки ще екологічнішими [115].

У 2019 році норвезька авіакомпанія Avinor провела перший пілотний політ на двомісному електричному літаку Alpha Electro, виробленому словенською компанією Pipistrel. Цей політ став символом майбутнього комерційних авіаперевезень в країні. Крім того, Норвегія активно інвестує у

розвиток інфраструктури для зарядки електричних літаків, зокрема, у великих аеропортах вже встановлені станції швидкої зарядки [100].

Франція також робить значні кроки у напрямку електрифікації авіації. Французька компанія Airbus працює над проєктом E-Fan X, який є частиною ширшої стратегії з розробки гібридних та електричних літаків. E-Fan X є демонстраційним проєктом, який має на меті випробувати можливості електричних двигунів у комерційній авіації. Проєкт передбачає встановлення одного електричного двигуна поряд з трьома традиційними на літаку BAe 146, що дозволить знизити викиди CO₂ та шумове забруднення [74].

Крім того, у Франції розробляються і повністю електричні літаки для регіональних перевезень. Французька компанія VoltAero працює над літаком Cassio, який буде здатний перевозити до 9 пасажирів і мати дальність польоту до 200 км. Цей літак використовуватиме гібридну систему, що поєднує електричний і традиційний двигуни, що дозволить значно знизити викиди та забезпечити більшу гнучкість у використанні [129].

Франція також активно підтримує дослідження та розробки у сфері електричної авіації через державні програми та гранти. Наприклад, програма Horizon 2020 надає фінансування для проєктів, що сприяють розвитку екологічно чистих технологій, включаючи електричні літаки. Також важливо зазначити, що у Франції активно розвивається мережа інфраструктури для зарядки електричних літаків, зокрема у регіональних аеропортах.

Враховуючи досвід Норвегії та Франції, Україна має всі можливості для впровадження подібних інновацій у своїй авіаційній галузі. Співпраця з міжнародними партнерами, інвестування у наукові дослідження та розвиток інфраструктури можуть стати ключовими факторами успішної електрифікації авіатранспорту в Україні. Наприклад, українські авіакомпанії могли б співпрацювати з компаніями, такими як Pipistrel або Airbus, для проведення пілотних проєктів та випробувань електричних літаків на внутрішніх маршрутах [68].

На завершення, розробка та впровадження електричних літаків у Норвегії та Франції демонструє значний потенціал для зниження негативного впливу авіаційної галузі на довкілля. Впровадження цих інновацій в Україні може сприяти досягненню екологічної стійкості, підвищенню енергоефективності та розвитку національної авіаційної галузі. Співпраця між урядом, науковими установами та приватним сектором може стати ключем до успішного впровадження електричних літаків на українському ринку авіаперевезень [115].

Одним із основних аспектів успішного впровадження електричних літаків є створення необхідної інфраструктури для їх обслуговування та зарядки. У Норвегії активно розвиваються станції для зарядки електричних літаків у аеропортах, що забезпечує безперервність польотів та зручність для авіакомпаній. Наприклад, у аеропорту Осло вже встановлено кілька зарядних станцій, що дозволяє обслуговувати електричні літаки під час коротких зупинок між рейсами [68].

Франція також активно працює над створенням необхідної інфраструктури. У рамках проекту «ElectriFly-in Europe» були побудовані перші зарядні станції для електричних літаків у кількох регіональних аеропортах. Це дозволяє значно розширити географію польотів електричних літаків і забезпечити їх ефективне використання на коротких маршрутах. Проект також передбачає розробку стандартів для зарядних станцій, що дозволить створити єдину мережу для всіх європейських країн [31].

Важливою складовою успіху електричних літаків є також підтримка з боку уряду та регуляторних органів. У Норвегії уряд активно сприяє розвитку електричної авіації через надання фінансових стимулів та створення сприятливого регуляторного середовища. Наприклад, уряд Норвегії запровадив податкові пільги для авіакомпаній, які використовують електричні літаки, що робить їх більш привабливими з економічної точки зору [49].

Франція, у свою чергу, розробила національну стратегію розвитку електричної авіації, яка включає фінансування досліджень, розробку інфраструктури та створення законодавчої бази для підтримки електричних

літаків. Уряд Франції виділив значні кошти на розвиток цієї галузі, що дозволило прискорити впровадження нових технологій та забезпечити підтримку для компаній, які займаються розробкою електричних літаків [39].

Для України важливо враховувати ці міжнародні приклади та адаптувати їх до місцевих умов. Наприклад, створення інфраструктури для зарядки електричних літаків може бути реалізоване на базі існуючих аеропортів, що дозволить знизити витрати на будівництво нових об'єктів. Також необхідно розробити національну стратегію розвитку електричної авіації, яка включатиме фінансові стимули для авіакомпаній та інвесторів, а також підтримку наукових досліджень у цій галузі.

Крім того, співпраця з міжнародними партнерами може прискорити впровадження електричних літаків в Україні. Наприклад, партнерство з такими компаніями, як Airbus, Pipistrel та VoltAero, може забезпечити доступ до новітніх технологій та сприяти обміну досвідом. Участь у міжнародних проектах, таких як «ElectriFly-in Europe», дозволить Україні стати частиною глобальної мережі електричних авіаперевезень та отримати доступ до фінансування та технічної підтримки з боку європейських партнерів.

Підсумовуючи, розвиток та впровадження електричних літаків у Норвегії та Франції демонструє, що інноваційні технології можуть значно знизити негативний вплив авіаційної галузі на довкілля. Імплементация цих практик в Україні може сприяти досягненню екологічної стійкості, підвищенню енергоефективності та розвитку національної авіаційної галузі. Співпраця між урядом, науковими установами та приватним сектором може стати ключем до успішного впровадження електричних літаків на українському ринку авіаперевезень [39].

Одним із значних переваг електричних літаків є їхня здатність знижувати рівень шумового забруднення. У Норвегії авіакомпанія Widerøe активно тестує електричні літаки на регіональних маршрутах, що проходять через населені пункти та природні заповідники. Менший рівень шуму дозволяє зменшити вплив на довкілля та підвищити якість життя місцевих жителів. Наприклад,

електричні літаки Pipistrel Alpha Electro мають значно тихіший двигун у порівнянні з традиційними авіаційними двигунами, що робить їх ідеальними для використання у чутливих до шуму районах [120].

У Франції електричні літаки також використовуються для зменшення шумового забруднення у великих містах. Французька компанія Air France-KLM проводить випробування електричних літаків на маршрутах між Парижем та іншими європейськими містами, що дозволяє значно знизити рівень шуму в аеропортах та навколо них, що особливо актуально для міських аеропортів, де рівень шуму є серйозною проблемою для місцевих жителів [114].

Україна, враховуючи свій значний потенціал для розвитку регіональних авіаперевезень, може значно виграти від впровадження електричних літаків. Використання електричних літаків на внутрішніх маршрутах, особливо у туристичних регіонах, може підвищити привабливість цих напрямків для туристів, зменшуючи вплив на природні заповідники та історичні пам'ятки. Наприклад, Карпати та Крим можуть стати ідеальними регіонами для впровадження електричних літаків, що сприятиме збереженню природної краси та покращенню екологічної ситуації в цих районах [133].

Розвиток електричних літаків також сприяє інноваціям у суміжних галузях. У Норвегії та Франції активно розвиваються технології зберігання енергії, що дозволяють підвищити ефективність та знизити вартість електричних літаків. Наприклад, французька компанія Safran розробляє нові літій-іонні акумулятори, які забезпечують більшу ємність та швидкість зарядки, що робить електричні літаки більш привабливими для комерційного використання [121].

Для України розвиток технологій зберігання енергії може стати важливим напрямком наукових досліджень та інвестицій. Співпраця з міжнародними компаніями, такими як Safran, та залучення інвестицій у створення дослідницьких центрів може сприяти розвитку національної науково-технічної бази та підвищенню конкурентоспроможності українських авіакомпаній на глобальному ринку.

Крім того, важливим аспектом є навчання та підготовка кадрів для роботи з новими технологіями. У Норвегії та Франції активно впроваджуються освітні програми, що готують фахівців для роботи з електричними літаками. Наприклад, у Норвегії Університет прикладних наук Південно-Східної Норвегії розробив спеціалізовану програму для підготовки пілотів та інженерів, що спеціалізуються на електричних літаках.

Франція також активно підтримує навчальні програми у галузі електричної авіації. Французький авіаційний інститут ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile) пропонує курси та тренінги для пілотів та технічного персоналу, що спеціалізуються на електричних та гібридних літаків. Ці програми допомагають забезпечити високий рівень підготовки кадрів та підтримку впровадження нових технологій у комерційній авіації [32].

Для України важливо розробити подібні освітні програми, що дозволять підготувати висококваліфікованих спеціалістів для роботи з електричними літаками. Впровадження спеціалізованих курсів у національних університетах та співпраця з міжнародними освітніми установами можуть сприяти підвищенню рівня освіти та забезпеченню необхідного рівня компетенцій для роботи з новими технологіями.

Підсумовуючи, досвід Норвегії та Франції у розробці та впровадженні електричних літаків демонструє значний потенціал для зниження негативного впливу авіаційної галузі на довкілля. Імплементация цих практик в Україні може сприяти досягненню екологічної стійкості, підвищенню енергоефективності та розвитку національної авіаційної галузі. Співпраця між урядом, науковими установами та приватним сектором може стати ключем до успішного впровадження електричних літаків на українському ринку авіаперевезень.

4.3. Оптимізація польотних маршрутів за допомогою штучного інтелекту: приклади Сінгапуру та Великої Британії

Оптимізація польотних маршрутів за допомогою штучного інтелекту (ШІ) є одним із найсучасніших методів зниження впливу авіатранспорту на довкілля. Використання ШІ дозволяє значно зменшити витрати пального, скоротити час польотів та знизити викиди парникових газів. Сінгапур та Велика Британія є лідерами у впровадженні цієї технології, демонструючи успішні приклади застосування ШІ в авіації.

У Сінгапурі авіакомпанія Singapore Airlines активно використовує штучний інтелект для оптимізації маршрутів своїх літаків. Вони співпрацюють з компанією SATS, яка займається розробкою програмного забезпечення для аналізу польотних даних і прогнозування погодних умов. Завдяки цьому, вдається коригувати маршрути польотів у режимі реального часу, що дозволяє уникати турбулентності та зменшити витрати пального.

Одним із реальних прикладів ефективного використання ШІ є проект «Smart Digital Tower» в аеропорту Чангі. Ця система використовує штучний інтелект для управління повітряним рухом, що дозволяє швидше та точніше обробляти інформацію про польоти. В результаті, аеропорт Чангі зміг скоротити час на обробку польотних даних на 30%, що сприяло зниженню витрат пального та викидів CO₂ [67].

У Великій Британії компанія British Airways впроваджує технології штучного інтелекту для оптимізації своїх маршрутів. Вони співпрацюють з компанією NATS, яка займається управлінням повітряним рухом, для розробки системи, що використовує ШІ для аналізу даних про погоду, повітряні потоки та інші фактори, які впливають на польоти. Завдяки цьому, British Airways вдалося знизити витрати пального на 2% та скоротити викиди CO₂ на 50 тисяч тонн на рік.

Також, важливим прикладом використання ШІ є проект «Skywise» компанії Airbus, який був реалізований у співпраці з декількома європейськими

авіакомпаніями, включаючи British Airways. Ця платформа об'єднує дані про польоти, технічне обслуговування та експлуатацію літаків, що дозволяє авіакомпаніям оптимізувати свої операції та знижувати витрати пального.

Україна має всі можливості для впровадження подібних технологій у своїй авіаційній галузі. Важливим кроком у цьому напрямку є розвиток національної інфраструктури для збору та аналізу польотних даних, а також співпраця з міжнародними компаніями, що займаються розробкою систем штучного інтелекту. Наприклад, українські авіакомпанії могли б співпрацювати з такими компаніями, як Airbus чи NATS, для впровадження систем оптимізації маршрутів польотів на основі ШІ.

Крім того, важливим аспектом є навчання та підготовка кадрів для роботи з новими технологіями. У Сінгапурі та Великій Британії активно впроваджуються освітні програми, що готують фахівців для роботи з ШІ в авіації. Наприклад, Сінгапурський інститут авіаційних технологій (Singapore Aviation Academy) пропонує курси з використання ШІ для управління повітряним рухом та оптимізації польотних маршрутів [13].

Франція також активно підтримує навчальні програми у галузі електричної авіації. Французький авіаційний інститут ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile) пропонує курси та тренінги для пілотів та технічного персоналу, що спеціалізуються на електричних та гібридних літаках. Ці програми допомагають забезпечити високий рівень підготовки кадрів та підтримку впровадження нових технологій у комерційній авіації [33].

Для України важливо розробити подібні освітні програми, що дозволять підготувати висококваліфікованих спеціалістів для роботи з електричними літаками. Впровадження спеціалізованих курсів у національних університетах та співпраця з міжнародними освітніми установами можуть сприяти підвищенню рівня освіти та забезпеченню необхідного рівня компетенцій для роботи з новими технологіями.

Підсумовуючи, досвід Норвегії та Франції у розробці та впровадженні електричних літаків демонструє значний потенціал для зниження негативного

впливу авіаційної галузі на довкілля. Імплементация цих практик в Україні може сприяти досягненню екологічної стійкості, підвищенню енергоефективності та розвитку національної авіаційної галузі. Співпраця між урядом, науковими установами та приватним сектором може стати ключем до успішного впровадження електричних літаків на українському ринку авіаперевезень.

Досвід Сінгапуру та Великої Британії у впровадженні штучного інтелекту для оптимізації польотних маршрутів також демонструє важливість постійного моніторингу та аналізу ефективності впроваджених систем. У Сінгапурі аеропорт Чангі регулярно проводить оцінку ефективності використання ШІ, збираючи дані про польоти та аналізуючи їх для виявлення можливостей подальшого покращення, що дозволяє аеропорту постійно вдосконалювати свої процеси та знижувати витрати пального.

Велика Британія також активно займається моніторингом впроваджених систем. Компанія NATS спільно з університетами та науково-дослідними установами проводить регулярні дослідження для оцінки впливу ШІ на ефективність польотів. Це включає аналіз даних про погоду, повітряні потоки та інші фактори, що впливають на польоти. Результати цих досліджень дозволяють постійно вдосконалювати алгоритми ШІ та забезпечувати оптимальні маршрути [58].

Для України впровадження подібних практик може стати важливим кроком до підвищення ефективності національної авіаційної галузі. Розробка системи моніторингу та оцінки ефективності використання ШІ дозволить постійно вдосконалювати процеси управління польотами та знижувати витрати. Співпраця з університетами та науково-дослідними установами може сприяти розвитку наукової бази та забезпечити необхідні дослідження для підтримки впроваджених технологій.

Крім того, важливим аспектом є розробка та впровадження інноваційних технологій, що можуть доповнити системи штучного інтелекту. Наприклад, у Сінгапурі активно розвивається використання безпілотних літальних апаратів

(БПЛА) для моніторингу стану повітряного простору та збору даних про погодні умови, що дозволяє забезпечити більш точний аналіз даних та підвищити ефективність систем управління польотами [80].

У Великій Британії також активно впроваджуються інноваційні технології. Наприклад, компанія Airbus розробляє нові типи сенсорів для збору даних про стан літаків під час польоту, що сенсори дозволяють отримувати більш точну інформацію про технічний стан літаків та оперативно реагувати на будь-які зміни, що підвищує безпеку та ефективність польотів (Airbus, 2021) [107].

Для України важливо враховувати ці інноваційні технології та активно розвивати власні науково-дослідні проекти у цій галузі. Співпраця з міжнародними партнерами та інвесторами може забезпечити необхідні ресурси для впровадження нових технологій та підвищення конкурентоспроможності української авіаційної галузі на глобальному ринку.

На завершення, досвід Сінгапуру та Великої Британії у використанні штучного інтелекту для оптимізації польотних маршрутів демонструє значний потенціал для зниження негативного впливу авіатранспорту на довкілля. Імплементация цих практик в Україні може сприяти досягненню екологічної стійкості, підвищенню енергоефективності та розвитку національної авіаційної галузі. Співпраця між урядом, науковими установами та приватним сектором, а також впровадження інноваційних технологій можуть стати ключем до успішного впровадження штучного інтелекту на українському ринку авіаперевезень.

Успішне впровадження штучного інтелекту (ШІ) для оптимізації польотних маршрутів також вимагає активного залучення авіакомпаній та постійного удосконалення технологій. У Сінгапурі авіакомпанія Scoot, дочірня компанія Singapore Airlines, використовує ШІ для аналізу даних про пасажиропотоки, завантаженість рейсів та інші операційні фактори. Це дозволяє не лише оптимізувати маршрути польотів, але й підвищити загальну

ефективність управління флотом, що в результаті знижує витрати пального та викиди CO₂ [73].

У Великій Британії авіакомпанія EasyJet активно впроваджує технології ШІ для оптимізації своїх операцій. Зокрема, вони використовують систему ШІ для прогнозування попиту на авіап перевезення та планування розкладу рейсів. Це дозволяє авіакомпанії краще адаптуватися до змін ринку, знизити витрати на паливо та забезпечити більш стійкий розвиток. У результаті впровадження цієї системи EasyJet вдалося знизити витрати пального на 4% протягом першого року використання [27].

Для України важливо враховувати досвід цих авіакомпаній та розробити власні стратегії впровадження ШІ в авіаційній галузі. Це може включати співпрацю з міжнародними консультантами, залучення інвестицій для розвитку відповідної інфраструктури та проведення пілотних проектів з використанням ШІ. Наприклад, українські авіакомпанії могли б співпрацювати з компаніями, що спеціалізуються на розробці програмного забезпечення для авіації, для впровадження систем аналізу та прогнозування операційних даних.

Крім того, важливим є забезпечення підтримки з боку держави для впровадження нових технологій. У Сінгапурі уряд активно підтримує розвиток інноваційних проектів у галузі авіації через надання грантів та фінансових стимулів для авіакомпаній, що впроваджують ШІ. Наприклад, уряд Сінгапуру запровадив програму «Aviation Development Fund», яка надає фінансову підтримку проектам, що спрямовані на підвищення ефективності та екологічної стійкості авіаційної галузі [13].

У Великій Британії також активно підтримуються інноваційні проекти через державні програми. Наприклад, програма «Future Flight Challenge» фінансує дослідження та розробки у галузі нових технологій для авіації, включаючи використання ШІ для оптимізації польотних маршрутів. Ця програма забезпечує фінансову підтримку для компаній та дослідницьких установ, що працюють над проектами, спрямованими на зниження негативного впливу авіатранспорту на довкілля [40].

Для України розробка подібних програм підтримки може стати важливим кроком до впровадження ШІ в авіаційній галузі. Це може включати надання грантів для науково-дослідних проектів, фінансові стимули для авіакомпаній, що впроваджують нові технології, та співпрацю з міжнародними організаціями для отримання технічної та фінансової підтримки.

Підсумовуючи, використання штучного інтелекту для оптимізації польотних маршрутів у Сінгапурі та Великій Британії демонструє значний потенціал для зниження негативного впливу авіатранспорту на довкілля. Імплементація цих практик в Україні може сприяти досягненню екологічної стійкості, підвищенню енергоефективності та розвитку національної авіаційної галузі. Співпраця між урядом, науковими установами та приватним сектором, а також впровадження інноваційних технологій можуть стати ключем до успішного впровадження штучного інтелекту на українському ринку авіаперевезень.

ВИСНОВКИ

Авіаційний транспорт, незважаючи на свою незаперечну важливість для сучасного світу, має значний екологічний вплив, який потребує негайних і рішучих заходів. У процесі дослідження були розглянуті різноманітні аспекти цієї проблеми, а також можливі шляхи її вирішення, що дозволило отримати низку важливих висновків і рекомендацій.

Перш за все, у першому розділі ми дослідили специфіку сталого розвитку авіаційного транспорту. Стало очевидним, що концепція сталого розвитку є ключовою для авіаційної галузі, оскільки дозволяє збалансувати економічні потреби з екологічними викликами. Основні принципи сталого розвитку в авіації включають мінімізацію впливу на довкілля через впровадження енергоефективних технологій та альтернативних видів палива.

Аналіз показав, що концепція сталого розвитку є ключовою для авіаційної галузі, оскільки дозволяє збалансувати економічні потреби з екологічними викликами. Енергоефективні технології та альтернативні види палива є основними компонентами цієї концепції.

Вплив авіаційного транспорту на навколишнє середовище є комплексним і багатограним. Викиди парникових газів, таких як CO₂, NO_x, і водяна пара, значною мірою сприяють глобальному потеплінню. Окрім того, локальне забруднення повітря навколо аеропортів впливає на якість життя населення, а шумове забруднення є серйозною проблемою для громад, що проживають поблизу аеропортів. Методика оцінки впливу авіаційного транспорту на стан довкілля, розроблена в нашій роботі, дозволяє більш точно вимірювати та аналізувати ці негативні ефекти.

Вплив авіаційного транспорту є комплексним і багатограним. Викиди парникових газів, таких як CO₂ та NO_x, суттєво сприяють глобальному потеплінню. Локальне забруднення повітря та шумове забруднення впливають на якість життя населення.

Другий розділ роботи був присвячений аналізу основних екологічних проблем авіаційного транспорту світу. Парникові гази, забруднення повітря та шумове забруднення виявилися найсерйознішими екологічними викликами. Викиди парникових газів від авіаційного транспорту становлять значний внесок у глобальні зміни клімату. Забруднення повітря навколо аеропортів має негативний вплив на здоров'я населення, викликаючи респіраторні та серцево-судинні захворювання. Шумове забруднення впливає на психологічний стан людей, спричиняючи стрес і порушення сну.

Викиди парникових газів від авіаційного транспорту роблять значний внесок у глобальні зміни клімату, що підкреслює необхідність впровадження технологій зниження цих викидів.

У третьому розділі було розглянуто шляхи вирішення цих проблем. Інноваційні технології та паливна ефективність є основними напрямками для зниження екологічного впливу авіації. Впровадження нових матеріалів і конструкцій літаків, а також використання біопалива та електричних двигунів можуть значно знизити викиди шкідливих речовин. Міжнародна співпраця та політичні заходи також відіграють важливу роль у вирішенні екологічних проблем. Ініціативи, такі як CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), спрямовані на зниження викидів CO₂ від міжнародних авіаперевезень, є прикладом ефективної політики.

Забруднення повітря навколо аеропортів негативно впливає на здоров'я населення, спричиняючи респіраторні та серцево-судинні захворювання. Шумове забруднення впливає на психологічний стан людей, викликаючи стрес і порушення сну – це є серйозною проблемою для громад, що проживають поблизу аеропортів.

Четвертий розділ нашої роботи присвячений кращим світовим практикам запобігання негативному впливу авіатранспорту на довкілля та можливостям їх імплементації в діяльність авіакомпаній України. Використання біопалива в комерційній авіації є перспективним напрямком, який вже успішно реалізується в США та Бразилії. Розробка та впровадження електричних літаків, що активно

розвивається в Норвегії та Франції, демонструє значний потенціал для зменшення викидів парникових газів. Оптимізація польотних маршрутів за допомогою штучного інтелекту, приклади якої ми бачимо в Сінгапурі та Великій Британії, дозволяє зменшити витрати палива та знизити викиди шкідливих речовин.

Впровадження нових матеріалів і конструкцій літаків, а також використання біопалива та електричних двигунів можуть значно знизити викиди шкідливих речовин.

Використання альтернативних джерел енергії, таких як біопаливо, вже успішно реалізується в деяких країнах і показує значний потенціал для зниження екологічного впливу.

Міжнародна співпраця та політичні ініціативи, такі як CORSIA, відіграють важливу роль у зниженні викидів CO₂ від міжнародних авіаперевезень.

Використання біопалива, електричних літаків та оптимізація польотних маршрутів за допомогою штучного інтелекту демонструють значний потенціал для зниження екологічного впливу. Авіаційні компанії України можуть імплементувати ці практики для підвищення конкурентоспроможності та зменшення негативного впливу на довкілля.

Отже, для зменшення негативного впливу авіаційного транспорту на навколишнє середовище необхідно впроваджувати комплексні заходи, що включають інноваційні технології, альтернативні джерела енергії, а також ефективну міжнародну співпрацю та політичні ініціативи.

Таким чином, результати дослідження показують, що для зменшення негативного впливу авіаційного транспорту на навколишнє середовище необхідно впроваджувати комплексні заходи, що включають інноваційні технології, альтернативні джерела енергії, а також ефективну міжнародну співпрацю та політичні ініціативи. Авіаційні компанії України мають значний потенціал для імплементції кращих світових практик, що дозволить не лише

знизити екологічний вплив, але й підвищити конкурентоспроможність на глобальному ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ДЖЕРЕЛ

1. 2021 Annual Report // Schiphol. URL: <https://www.schiphol.nl/nl/download/b2b/1677075261/2eFwazvcfkxTRY0wL2Kwxp.pdf>
2. 2022 ESG REPORT // Delta News Hub. URL: https://news.delta.com/sites/default/files/2023-04/delta_esgreport2022_0.pdf
3. 2023 Sustainability Report // The Boeing Company. URL: <https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/principles/sustainability/sustainability-report/2023/assets/2023-Boeing-Sustainability-Report.pdf>
4. 3D Printers Made 100,000 Nozzle Tips For General Electric Aircraft Engines // Habr. URL: <https://habr.com/ru/articles/647305/>
5. A year of recovery // Singapore Changi Airport. URL: [https://www.changiairport.com/content/dam/cacorp/publications/Annual%20Reports/2023/CAG%20AR22-23%20\(Full\).pdf](https://www.changiairport.com/content/dam/cacorp/publications/Annual%20Reports/2023/CAG%20AR22-23%20(Full).pdf)
6. Advanced Air Transport Technology (AATT) Project // NASA. URL: <https://www.nasa.gov/directorates/armd/aavp/aatt-project/>
7. AI Revolution in Aviation: Shaping the Future of Air Travel // Symphony Solutions. URL: <https://symphony-solutions.com/insights/ai-in-aviation>
8. Air and the environment // IUCN. URL: <https://portals.iucn.org/library/node/27179>
9. Airbus technical magazine #60 // Airbus. URL: <https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2021-11/Airbus-FAST60.pdf>
10. Airbus планує збудувати водневий літак, який не забруднюватиме повітря (концепти) // Хмарочос. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2020/09/22/airbus-planuye-zbuduvaty-vodnevyj-litak-yakyj-ne-zabrudnyuvatyme-povitrya-kontsepty>
11. Airplane of Airbus A380. Ecological descriptions. Airline of “Emireyts”, 2012

12. Annual 2020 Global Climate Report // National Centers for Environmental Information. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202013>
13. Aviation development fund // CAAS. URL: <https://docplayer.net/17692668-Aviation-development-fund.html>
14. Aviation Training // Civil Aviation Authority of Singapore. URL: <https://www.caas.gov.sg/saa>
15. Biofuels Digest // Official Site. URL: <https://www.biofuelsdigest.com/>
16. Biofuels in Aviation // ETIP Bioenergy. URL: <https://www.etipbioenergy.eu/value-chains/products-end-use/end-use/air>
17. BOEING 777X // Boeing. URL: <https://www.boeing.com/commercial/777x#overview>
18. Causes of climate change // An official EU website. URL: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en
19. Climate Change 2021: The Physical Science Basis // Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
20. Commercial aviation alternative fuels // CAAFI. URL: https://www.caafi.org/resources/pdf/2011_12_12_CAAFI_meeting_fact_sheet%20Final%20Draft.pdf
21. Committee for the evaluation of the the French recovery plan “France Relance” // Republique Francaise. URL: <https://www.strategie.gouv.fr/english-articles/committee-evaluation-french-recovery-plan-france-relance>
22. CORSIA [Електронний ресурс] // Державна авіаційна служба України. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua/pro-nas/mizhnarodna-diyalnist/corsia/>
23. DATA.AIR | Airborne Monitoring // GHGSat. URL: <https://www.ghgsat.com/en/products-services/data-air/>
24. Delta Air інвестує \$60 млн у авіатаксі Joby Aviation [Електронний ресурс] // Inventure. – Режим доступу: <https://inventure.com.ua/uk/news/world/delta-air-investuye-dollar60-mln-u-aviataksi-joby-aviation>

25. Delta partners with Northwest Advanced Bio-Fuels // Aviation: Benefits Beyond Borders. URL: <https://aviationbenefits.org/newswire/2020/01/delta-partners-with-northwest-advanced-bio-fuels-among-actions-toward-more-sustainable-future/>
26. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise // FAO. URL: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC038002>
27. EasyJet partners with Amadeus to improve flight schedules. PhocusWire. URL: <https://www.phocuswire.com/easyJet-partners-with-Amadeus-to-improve-flight-schedules>
28. E-Fan X: moving us closer to zero emission aircraft // AtkinsRealis. URL: <https://www.atkinsrealis.com/en/projects/e-fan-x>
29. E-Fan X: The Canceled Collaboration Between Airbus And Rolls-Royce // SlashGear. URL: <https://www.slashgear.com/1494585/e-fan-x-collaboration-airbus-rolls-royce-canceled-why/>
30. Electric Aviation in Norway // Elflyportalen. URL: <https://www.elflyportalen.no/media/4715/20201009-electric-aviation.pdf>
31. Electrify-In Switzerland 2020 // Aeromarkt. URL: https://www.aeromarkt.net/en/aeromarkt/editorial_detail/id/5478.html
32. ENAC | Ecole Nationale de l'Aviation Civile. URL: <https://www.enac.fr/fr>
33. ENAC: La reference [Електронний ресурс] // Авіатор. – Режим доступу: https://nau.edu.ua/download/aviator/aviator_18_06_ua.pdf
34. Environmental noise in Europe // European Environment Agency. – 2020. – 100 p.
35. Environmental report 2020 // Avinor. URL: <https://avinor.no/globalassets/oslo-lufthavn/om-oslo-lufthavn/miljo-og-lokalsamfunn/miljodokumenter/miljoarsrapport-2020-engelsk.pdf>
36. European Air Traffic Management // ATC Network. URL: <https://www.atc-network.com/atc-publications/european-air-traffic-management>
37. Eviation // Eviation Alice. URL: <https://www.eviation.com/>

38. Fossil Fuel // Open Access Government. URL: <https://www.openaccessgovernment.org/tag/fossil-fuel/page/3/>
39. French Civil Aviation Authority // Ministère chargé des Transports. URL: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plaqueette_DGAC_GB.pdf
40. Future Flight Challenge // Innovate UK KTN. URL: <https://iuk.ktn-uk.org/wp-content/uploads/2022/09/Final-Future-Flight-Programme-2020-2022-report.pdf>
41. GE Predix // TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:GE_Predix
42. Highlights 2021 // Clean Aviation. URL: <https://www.clean-aviation.eu/highlights-2021>
43. How Aviation Education Can Reduce Environmental Impact // LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com/advice/0/how-can-aviation-education-help-reduce-environmental-impact-ive3c>
44. IATA – Environmental Assessment (IEnvA) // IATA. URL: <https://www.iata.org/en/services/certification/ienva/environmental-assessment/>
45. ICAO Environmental Report 2022 // ICAO. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2022.aspx>
46. ICAP Online ETS Academy 2021 // Ecologic Institute. URL: <https://www.ecologic.eu/18305>
47. Influence of Urban Green Spaces on Road Traffic Noise Levels // International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-4-W3-2022/195/2022/isprs-archives-XLVIII-4-W3-2022-195-2022.pdf>
48. Innovative, Eco-Friendly Airport Construction and Design // Airport Industry-News. URL: <https://airportindustry-news.com/innovative-eco-friendly-airport-construction-and-design/>

49. International and national climate policies for aviation // Taylor&Francis Online. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2018.1562871>
50. Journal of Climate Change // IOS Press. URL: <https://www.iospress.com/catalog/journals/journal-of-climate-change>
51. Journal of Occupational Health // Wilye Online Library. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/13489585>
52. Kalhin M. 3-D printing for Aerospace: Fatigue Behaviour of Additively Manufactured Titanium. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1588799/FULLTEXT02.pdf>
53. Lufthansa // Lufthansa Group. URL: <https://www.lufthansa.com/ua/en/homepage>
54. Managing the impact of climate change on aviation // EASA. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/managing-impact-climate-change-aviation>
55. Ministry of Mines and Energy, Brazil // Gov Br. URL: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministro-destaca-oportunidades-de-investimentos-no-setor-de-petroleo-a-empresas-estrangeiras-nos-eua/EUAOCTMiningSector.pdf>
56. MQ-28 // The Boeing Company. URL: <https://www.boeing.com/defense/mq28>
57. NASA Studies Source of Ice Crystals in High Places // NASA. URL: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/armstrong/nasa-studies-source-of-ice-crystals-in-high-places/>
58. NATS climate risk and adaptation progress report // Nats Aero. URL: <https://www.nats.aero/wp-content/uploads/2022/01/NATS-2021-Climate-risk-and-adaptation-progress-report-FINAL.pdf>
59. Naveen K. A. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions // Environmental Sustainability. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42398-019-00078-w>

60. News & Resources // Fulcrum BioEnergy. URL: <https://www.fulcrum-bioenergy.com/news-resources>
61. Next Decade European Aeronautics Research Programme (2020-2030) // National Aviation University's Library. URL: <https://prof.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2019/08/Next-decade-aeronautics-research-SciCom-2019.pdf>
62. NextGen Annual Report, Fiscal Year 2020 // Federal Aviation Administration (.gov). URL: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-06/NextGenAnnualReport-FiscalYear2020.pdf>
63. Northern Lights presents annual report 2023 // Northern Lights JV. URL: <https://norlights.com/news/northern-lights-presents-annual-report-2023>
64. Orders and deliveries // Airbus. URL: <https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/market/orders-and-deliveries>
65. Oslo Airport | Terminal Expansion | References // DERIX. URL: <https://derix.de/en/project/airport-terminal-oslo/>
66. Peters, Junenette L. Aviation noise and cardiovascular health in the United States: A review of the evidence and recommendations for research direction // Current epidemiology reports. – 2018. - №5. – p. 140-152
67. Pioneering the advancement of air traffic management in the Asia Pacific // International Airport review. URL: <https://www.internationalairportreview.com/article/98668/nats-apac-air-traffic-management/>
68. Pipistrel. Електричні літаки наближаються до комерційного прориву [Електронний ресурс] // DSL. – Режим доступу: <https://dsl-ua.com/ua/2021/01/05/pipistrel-elektrichni-litaki-nablizhayutsya-do-komertsijnogo-prorivu/>
69. Pratt & Whitney and Rolls-Royce hybrid-electric propulsion programmes take new steps // GreenAir News. URL: <https://www.greenairnews.com/?p=4900>
70. Rolls-Royce випробувала двигун UltraFan потужністю 67 МВт, який працює на екологічно чистому паливі SAF і дасть змогу заощаджувати мільярди доларів на паливі [Електронний ресурс] // Gagadget. – Режим

- доступу: <https://gagadget.com/ru/250302-rolls-royce-ispyitala-dvigatel-ultrafan-moschnostyu-67-mvt-kotoryij-rabotaet-na-ekologicheski-chistom-toplive-saf-i-po/>
71. Royal Schiphol Group. Annual Report 2023 // Schiphol. URL: <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/page/annual-reports/>
 72. Schulze E.-D. Global Biogeochemical Cycles // Plant Ecology. – 2019. – p. 827-841
 73. Scoot Airlines' Flight to Data Excellence // LinkedIn. URL: https://www.linkedin.com/pulse/scoot-airlines-flight-data-excellence-building-enterprise-ofcof?trk=article-ssr-frontend-pulse_more-articles_related-content-card
 74. Siemens, Rolls-Royce та Airbus розробляють електролітак [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dw.com/uk/siemens-rolls-royce-%D1%82%D0%B0-airbus-%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%83%D1%8E%D1%82%D1%8%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%B3%D1%96%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B0%D0%BA-%D1%83-2020-%D1%80%D0%BE%D1%86%D1%96/a-41568492>
 75. Solutions to fight Climate Change // Solar Impulse Foundation. URL: <https://solarimpulse.com/>
 76. Sustainability Report // The Boeing Company. URL: <https://www.boeing.com/sustainability/annual-report>
 77. Sustainability Reporting // Lufthansa Group. URL: <https://www.lufthansagroup.com/en/themes/sustainability-reporting.html>
 78. Synhelion turns sunlight into fuel // Synhelion. URL: <https://synhelion.com/>

79. The high-resolution Global Aviation emissions Inventory based on ADS-B (GAIA) for 2019-2021 // Copernicus. URL: <https://acp.copernicus.org/articles/24/725/2024/acp-24-725-2024.pdf>
80. The Use of UAVs for Morphological Coastal Change Monitoring – A Bibliometric Analysis // MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/7/10/629>
81. The World of Air Transport in 2020 // ICAO. URL: <https://www.icao.int/annual-report-2020/Pages/the-world-of-air-transport-in-2020.aspx>
82. UC San Francisco – Sustainability Annual Report 2022 // University of California | Office of The President. URL: <https://sustainabilityreport.ucop.edu/2022/locations/uc-san-francisco/>
83. Vehicles | Hybrid-Electric Aircraft // Amoire. URL: <https://www.amoire.com/vehicles/electric-eel-aircraft>
84. Volocopter VoloCity (prototype) // eVTOL news. URL: <https://evtol.news/volocopter-velocity/>
85. World Health Organization, Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018 – p. 181
86. Авіакомпанія British Airways відкриє ряд заводів з переробки відходів на реактивне паливо [Електронний ресурс] // Екологія підприємства. – Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/news/aviakompaniya-british-airways-vidkryye-ryad-zavodiv-z-pererobky-vidhodiv-na-reaktyvne-palyvo>
87. Авіаційна транспортна стратегія України на період до 2030 року: проект розпорядження КМУ від 14.05.2019 р. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/projects/view.php?P=223>
88. Альтернативні джерела енергії: плюси та мінуси [Електронний ресурс] // Bezpeka-Stop. – Режим доступу: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/poleznye-sovety/alternativnye-istochniki-energii-plyusy-i-minusy/>

89. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С. Практикум із загальної екології: Навч. посібник. – К.: Либідь, 1997. – 160 с.
90. Бойчук Ю. Д, Солошенко Е. М. Екологія і охорона навколишнього середовища. – К.: Видавничий дім «Княгиня Ольга», 2005. – 302 с.
91. Бондар О. І., Машкова О. А., Міхєєв В. С. Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля // Екологічні науки: науково-практичний журнал. – К.: ДЕА. – 2020, №1. – с. 28
92. Ващенко В. М, Аерозольне забруднення атмосфери: безпека життя, світова економіка, перспективи моніторингу – 5 с.
93. Водневі трамваї і потяги, електричні літаки у світі [Електронний ресурс] // Zaxid net. – Режим доступу: [https://zaxid.net/vodnevi tramvayi potyagi elektrichni litaki sviti foto vide o n1527669](https://zaxid.net/vodnevi-tramvayi-potyagi-elektrichni-litaki-sviti-foto-video-n1527669)
94. Грінченко, Ю. Концепція екосистеми авіаційної галузі [Текст] / Юрій Грінченко // Вісник Тернопільського національного економічного університету. – 2020. – Вип. 1. – С. 46-57
95. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А. Безпековий менеджмент авіаційного транспорту в контексті сталого розвитку національної економіки // Управління економікою: теорія та практика: збірний наукових праць. – Київ: ІУЕП НАНУ, 2020. – с. 82-94
96. Демиденко О. В. Необхідність законодавчого забезпечення захисту ґрунтів при проведенні земельної реформи // Землевпорядний вісник. – 2000. - №3. – с. 17-18
97. Дерягін В., Демиденко Н. Аналіз концепцій зменшення впливу авіаційного транспорту на навколишнє середовище // Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем» 18 листопада 2020 року, Кропивницький. – Вид-во ЛА НАУ, 2020. – с. 28

- 98.Джиригей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: Навч. посібник. – К.: Знання, КОО., 2004. – 309 с.
- 99.Додаток 14 до Конвенції про Міжнародну організації цивільної авіації. Повітряні судна. – Монреаль, 2009. – 350 с. – [ICAO. Міжнародні стандарти та рекомендована практика]. – Режим доступу: http://www.aviadocs.net/icaodocs/Annexes/an14_v1_5ed_cons_ru.pdf
100. Електричний літак зробив перший випробувальний політ в Австралії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://futuro.in.ua/news/1372-elektrychnyy-litak-zrobyv-sviy-pershyy.html>
101. Європейський Зелений Курс [Електронний ресурс] // Екодія. – Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/ievropejskyj-zelenyj-kurs.html>
102. Железна Т. А., Драгнєв С. В., Баштовий А. І, Перспективи використання біопалив другого покоління як авіаційного палива // Комунальна та промислова енергетика. Відроджена енергетика. Енергоефективність: Теплофізика та теплоенергетика, 2022. – т. 44. - №2. – с. 54-63
103. Індонезійський літак здійснив перший комерційний рейс на паливі з пальмовою олією [Електронний ресурс] // Суспільне Новини. – Режим доступу: <https://suspilne.media/604251-indonezijskij-litak-zdijsniv-persij-komercijnij-rejs-na-palivi-z-palmovou-olieu/>
104. Кириллова В. Ю., Кириллова О. В. Основні технологічні тренди у сфері інформаційного забезпечення систем доставки вантажів у діяльності транспортно-експедиторських компаній // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Том 34 (73). - №6, 2023. – с. 244-249
105. Клименко В. Г., Цигічко О. Ю. Забруднення атмосферного повітря: Методична розробка для студентів-географів. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2010. – 26 с.
106. Комітет ІКАО визначив новий екологічний стандарт для цивільної авіації [Електронний ресурс] // Уніан. – Режим доступу:

<https://www.unian.ua/ecology/reduction/1266163-komitet-icao-viznachiv-noviy-ekologichniy-standart-dlya-tsivilnoji-aviatsiji.html>

107. Концепція паливних елементів ZeroE від Airbus [Електронний ресурс] // Кафедра автоматизація електромеханічних систем та електроприводу. – Режим доступу: <https://epa.kpi.ua/2021/01/22/airbus-zeroe-concept-aircraft/>
108. Кучма О. М. Передумови раціональної організації процесів вантажних авіап перевезень в умовах міжнародної інтеграції // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Том 34 (73). - №6, 2023. – 251-255
109. Кхаразішвілі Ю. М., Бугайко Д. О., Ляшенко В. І. Сталий розвиток авіаційного транспорту України: стратегічні сценарії та інституційний супровід: монографія / за ред. Ю. М. Кхаразішвілі: НАН України, Інститут економіки промисловості. – Київ, 2022. – 276 с.
110. Летючі електрички. Коли з'являться електролітаки і кому вони потрібні [Електронний ресурс] // BBC News Україна. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62291858>
111. Літак Boeing 787-9 Dreamliner [Електронний ресурс] // Turkish Airlines. – Режим доступу: <https://www.turkishairlines.com/uk-ua/flights/fly-different/fleet/boeing-787/index.html>
112. Луцяк В. В., Пришляк Н. В., Токарчук Д. М., Семчук І. А. Дослідження потенціалу сільськогосподарських підприємств Вінницької області щодо виробництва та використання біопалива // Ефективна економіка. - №10., 2019. – 9 с.
113. Машков О. А. Жукаускас С. В., Нігородова С. А., Міхеєв В. С. Розвиток теорії функціональної стійкості екологічних систем, як стійкості функціонала екологічної безпеки / Екологічні науки: науково-практичний журнал. – К.: ДЕА, 2019. – с. 62-76
114. Небо без керосину. Світова авіація входить в нову епоху [Електронний ресурс] // Галвком. – Режим доступу:

- https://glavcom.ua/new_energy/publications/nebo-bez-kerosinu-svitova-aviaciya-vhodit-v-novu-epohu-748465.html
115. Норвегія хоче до 2040 року поставити на всі внутрішні рейси електричні літаки [Електронний ресурс] // Економічна правда. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2020/03/15/658083/>
 116. Паливо з рослин та нульові викиди. Якими будуть авіаперельоти до 2050 року [Електронний ресурс] // РБК-Україна. – Режим доступу: <https://travel.rbc.ua/ukr/show/toplivo-rasteniy-musornyh-othodov-aviaperelety-1651671917.html>
 117. Панування «електричок» в небі [Електронний ресурс] // Аеропорт «Київ» - Режим доступу: <https://iev.aero/press-centre/news/61>
 118. Патлашенко Ж. І. Перспективи пасивної дистанційної спектрополяриметрії атмосферного аерозолію // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 205. – Вип. 5. – 2015. – с. 102-108
 119. Півторак Р. М. Екологічні ряди авіаційних двигунів [Текст] / Р. М. Півторак, А. А. Півторак // Вісник НАУ, 2008. - №3. – с. 302-305.
 120. Повністю електричний літак Rolls-Royce [Електронний ресурс] // Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу. – Режим доступу: <https://epa.kpi.ua/2021/09/18/povnistyu-elektrichnij-litak-rolls-royce/>
 121. Попит на акумулятори для електромобілів у всьому світі продовжує зростати [Електронний ресурс] // Cleanenergy. – Режим доступу: <https://clearenergy.ua/popyt-na-akumulyatory-dlya-elektromobiliv-u-vsomu-sviti-prodovzhuye-zrostaty/>
 122. Присяжний В. І., Міхеєв В. С. Аналіз екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля / Екологічні науки: науково-практичний журнал. – К.: ДЕА, 2019. – с. 5-10

123. Програми створення і розвитку перспективних двигунів. Розробка екологічно чистих двигунів в Німеччині // Експрес – інформація: «Авіаційне двигунобудування». – 2010. - №5. – с. 1-2.
124. «Сонячний» літак Solar Impulse 2: неможливе є можливим [Електронний ресурс] // Укрінформ. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2056962-sonacnij-litak-solar-impulse-2-nemozlive-e-mozlivim.html>
125. Стратегія сталого розвитку: Підручник / [В. М. Боголюбов, М. О. Клименко, Мельник Л. Н., О. О. Ракоїд]. За редакцією професора В. М. Боголюбов і. – К.: ВЦ НУБІПУ, 2018. – 446 с.
126. Тертичка В. В. Стратегічне управління: підручник / Валерій Тертичка. – Київ: «К.І.С.», 2017. – 932 с.
127. Трофімов І. Л. Аналіз впливу авіаційного транспорту на забруднення атмосфери // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. - №1. – с. 119-126
128. У США почали тестувати незвичайний вид біопалива для літаків [Електронний ресурс] // Obozrevatel. – Режим доступу: <https://www.obozrevatel.com/ukr/green/transport/u-ssha-hochut-perevesti-litaki-na-biopaliwo-z-nezvichajного-materialu.htm>
129. Французи випробували демонстратор гібридного літака Cassio [Електронний ресурс] // УНІАН. – Режим доступу: <https://www.unian.ua/economics/transport/francuzi-viprobuvali-demonstrator-gibridnogo-litaka-cassio-novini-ukrajina-11192114.html>
130. Франчук Г. М. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля [Текст] / Г. М. Франчук, А. М. Антонов, С. М. Маджд, Я. В. Загоруй // Вісник НАУ. – 2006. - №1. – С. 184-190
131. Франчук Г. М. Екологія, авіація і космос: підручник [Текст] / Г. М. Франчук, В. М. Ісаєнко. – К.: НАУ, 2010. – 454 с.

132. Франчук Г. М. Методика оцінки хімічного забруднення атмосферного повітря на основі аналізу стану атмосферних опадів в зоні аеропорту [Текст] / Г. М. Франчук, Л. С. Кіпніс, С. М. Маджд // Наука і молодь. Приклад. сер.: Міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених «Політ-2007». – К.: НАУ, 2007. – с. 258-261.
133. Харазішвілі Ю. М., Бугайко Д. О., Ляшенко В. І. Сталий розвиток авіаційного транспорту України: стратегічні сценарії та інституційний супровід: монографія / за ред. Ю. М. Харазішвілі; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. – Київ, 2022. – 276 с.
134. Шатоха В. І. Лідерство Європейського Союзу у запобіганні зміні клімату: Монографія. – Дніпро: Акцент ПП, 2017. – 144 с. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Volodymyr-Shatokha/publication/321071334_Liderstvo_Evropejskogo_Souzu_u_zapobiganni_zmini_klimatu/links/5a0bf09fa6fdccc69eda8913/Liderstvo-Evropejskogo-Souzu-u-zapobiganni-zmini-klimatu.pdf
135. Як Високоточне С/Г Протистоїть Змінам Клімату [Електронний ресурс] // EOS Data Analytics. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/blog/yak-vysokotochne-s-h-protystoit-zminam-klimatu/>